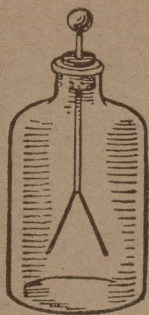


Daplum



FÜÜSIKA

KESKKOOLI VII KLASSILE

JUHAN LANG

RK

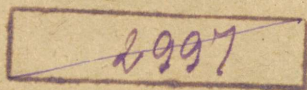
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946

2-25105

JUHAN LANG

FÜÜSIKA

VII KLASSILE



RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946



A=16142

Magnetism.

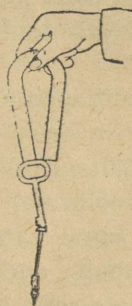
Magnetilised põhinähtused.

1. **Magnet.** Nõukogude Liidus ja ka mujal leidub maapõues suurel hulgal rauamaaki, millel on omadus tõmmata enda külge raua- ja terasetükke ning neid seal kinni hoida. Niisugust rauamaaki nimetatakse **magnetraauakiviks** ehk **loomulikuks magnetiks**.

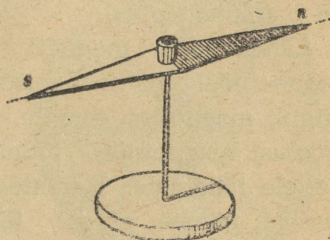
Magnet oli tuntud juba õige ammu hiinlastele, samuti ka vanaeale kreeklastele. Magnetraauakivi leidsid kreeklased Väike-Aasias, Magneesia linna lähedal, mille järgi hakatigi kutsuma seda isesuguste omadustega kivi magnetiks ja seda magnetraauakivi omadust magnetismiks.

Loomulikule magnetile külge puutudes ilmnevad ka raual ja terasel magnetilised omadused: nad tõmbavad enda külge raud- ja terasasju. Raud kaotab magnetilised omadused kohe, kui ta magnetist eemaldata, teras aga säilitab saadud omadused.

Sel teel on võimalik terast muuta magnetiks ehk magnetida. Niiviisi magnetitud terast nimetatakse **kunstlikuks magnetiks**.



1. joon. Magnet.



2. joon. Magnetnõel.

Kunstlikkudele magnetitele antakse tavaliselt kas varva või hobuseraua kuju. Õhukesest terasplekist valmistatud piklikku, harilikult teravate otstega magnetit, mida võib asetada ka teravikule, nimetatakse **magnetnõelaks**.

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

2. Kuidas võib hõlpsasti eraldada rauapuru vasepurust?

2. Magneti poolused. Magnetit rauapurusse või peenikesesse raudnaeltesse asetades näeme, et mitte kõik magneti osad ei tõmba raud- ja terasasju külge sama tugevusega. Magneti otste külge jääb rauapuru või raudnaelu suurel hulgal, kuna keskmine osa on sellest vaba. Magneti otsi, kus külgetõmbetus on kõige suurem, nimetatakse **magneti poolusteks**.

Riputame magneti niidi otsa või asetame ta teravikule, nii et ta vabalt võib oma keskkoha ümber pöörelda. Siis võtab magnet pärast mõningaid võnkumisi ühele ja teisele poole alati kindla sihi: üks poolus näitab põhja, teine



3. joon. Magneti poolused.

lõuna poole. Seda poolust, mis on suunatud põhja, nimetatakse **põhjapooluseks**, lõunasse suunatud poolust aga nimetame **lõunapoolu-**

seks. Igal magnetil on seega kaks poolust, põhja- ja lõunapoolus. Neid märgitakse sageli tähtedega N (põhjapoolus) ja S (lõunapoolus).

Lähendades magneti põhjapoolust teravikul asetseva magnetnõela põhjapoolusele, näeme, et magnetnõela poolus liigub magnetist eemale. Lähendame aga magneti põhjapoolust magnetnõela lõunapoolusele, siis liigub magnetnõel sellele lähemale. Korrates sama katset magneti lõunapoolusega, näeme, et see tõmbab enda poole magnetnõela põhjapoolust ja tõukab eemale selle lõunapoolust. Siit järeldame, et **sanimelised magnetipoolused tõukavad teine-**

teist eemale, isenimelised aga tõmbavad teineteist külge. Eelmised katsed õnnestuvad ka siis, kui magneti ja rauatüki vahele asetada pappi, klaasi, puud jne. Ainult raudvõi terasplaadi vaheleasetamine vähendab magneti mõju.

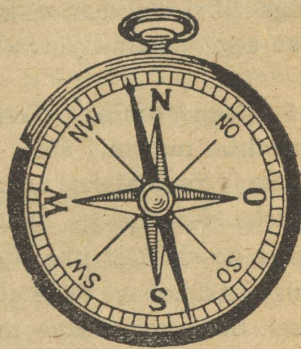
Peale raua ja terase tõmbab magnet veel niklit ja koobaltit.

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

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

3. Kompas. Teravikule toetatud magnetnõel, mis vabalt võib pöörelda, asetub **alati põhja-lõuna** suunas, nii et magnetnõela põhjapoolus on suunatud põhja, lõunapoolus lõuna poole. 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 N kohal. Ilmakaared loetakse siis otseselt karbi astmikult,

Kompassi tarvitavad eeskätt meremehed laevade juhtimisel. Samuti kasutavad kompassi pio-



4. joon. Kompas.

neerid rännakuil, punaarmeelased rännakuil ja kõik teised teekäijad tundmatuis kohtades, eriti siis, kui ei paista päike.

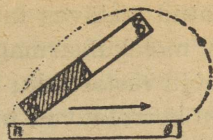
Kompass oli vanas Hiinas tuntud juba ammu enne meie ajaarvamise algust, kus teda kasutati reisidel, eriti kõrves. Eurooplastest tutvusid kompassiga esimestena itaallased 13. või 14. sajandil ning rakendasid seda laeva sõidusuuna (kursi) määramisel pilvise või uduse ilmaga, samuti ka öösel. Suurte maade-avastamiste ajal oli kompass juba üldiselt tarvitusel reisidel meredel.

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

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

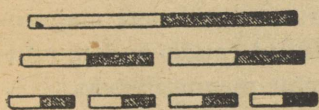
5. Magneetimine. Teraspulka saab magneetida tugeva kunstliku magneti abil. Seks asetatakse magneeditav pulk lauale ja tõmmatakse umbes 20 korda magneti ühe poolusega, näiteks N-poolusega, magneeditava teraspulga pinda mööda pulga keskkohast ühe otsani, siis samuti S-poolusega teraspulga keskkohast teise otsani, nagu see on kujutatud 5. joonisel. Seda korratakse mitu korda, viies magnetit läbi õhu keskkoha juurde tagasi. Siis tekivad teraspulga otstes poolu-

sed, teisenimelised neile poolustele, mil-
ledega nende peal tõmmati. Niiviisi
võib magneetida lõpmatu hulga uusi
magneteid, ilma et seejuures magnee-
tiiv magnet nõrgeneks. Magneetida võib
terast ainult teatud piirini (magneti-
lise küllastuseni). Kauase seismisega
nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet põrutamisel.



5. joon. Magne-
tiseerimine.

6. Magneti poolitamine. Molekulaarmagnetid. Magneedime
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 magneeditud varda keskelt pooleks ja pistame
mõlemad pooled rauapurusse. Sealt neid välja võttes näeme,
et kummalgi poolel on jälle kaks poolust, sest kummagi



6. joon. Magneti poolitamine.

poole otste külge on jäänud raua-
puru. Ka magnetnõela abil võib
näha, et igal vardaosal on kaks
poolust. Seega tekkis murdumis-
kohal juurde kaks uut poolust,
üks põhja-, teine lõunapoolus, ja
igal poolitatud osal on oma põhja-

ja lõunapoolus. Niiviisi magneti poolitamist jätkat-
tes saame magnetid, millel on ikka kaks magnetipoolust.
Ühe poolusega magneti saamine on võimatu. Väikseimalgi
magneti osal on kaks poolust, nii et iga magneti osa on ise-
seisev magnet.

Niisugust nähtust, samuti ka raua ja terase magneeti-
mist seletatakse järgmise oletusega: iga magneti, samuti ka
raua ja terase väikseimad osakesed (moleku-
lid) on iseseisvad magnetid. Neid magneteid nime-
tatakse **molekulaarmagneteiks**. Niiviisi iga magnet koosneb
väga suurest hulgast molekulaarmagneteist, mis on korral-

datud teatavas kindlas sihis. Magneetimata rauas ja terases on molekulaarmagnetid korraldamata olekus, mistõttu nende mõju vastastikku hävib. Magneetimisel 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 ja satuvad kohe korraldamata olekusse, kui kaob välise magneti mõju.

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

Kuid magneetimise ajal aitab põrutamine kaasa magneetimisele. Kauemat aega paigal seisnud raudkehad muutuvad maakera magnetismi mõjul nõrgalt magnetilisteks.

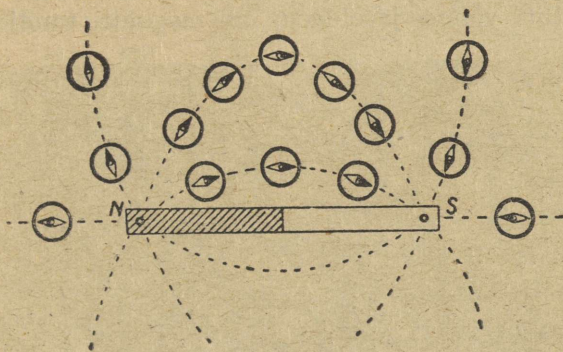
Magnetiväli.

7. Magnetiväli. Tungjooned. Võtame tugeva magneti ja hoiame tema ümber mitmesuguses kauguses tundlikku magnetnõela (kompassi). Siis võime tähele panna, et magnetnõel näitab magnetiliste tungide mõjul igas kohas ise sihti (7. joon.). Piirkonda magneti läheduses, kus tema magnetilised tungid veel mõjuvad, nimetatakse selle **magneti väljaks**. Mida tugevam on magnet, seda suurem ja tugevam on tema mõjupiirkond ehk magnetiväli.

Magnetnõela abil otsustame magnetitungi suuna üle igas magnetivälja punktis. Nii viisi magnetilise tungi suundi jälgides, põhjapoolusest alates, jõuame kõverjoont mööda

lõunapooluseni. Kõverjoont, mis näitab magnetilise tungi mõjumise suunda, nimetatakse **magneti tungjooneks**. 7. joon. kujutab näitlikult magnetilisi 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. Magnetiväljas muutuvad



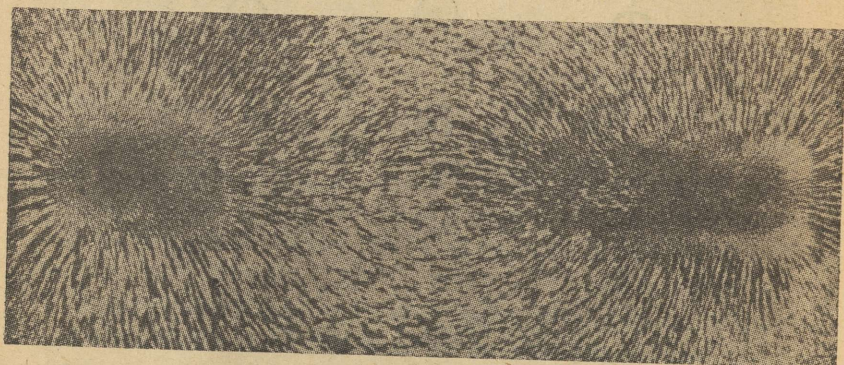
7. joon. Magneti tungjooned.

rauapuru osakesed väikesteks magnetnõelakesteks, mis kõik, kui paberit pisut raputada, asetuvad ketina magneti tungjoonte suunas. Kokkuleppe põhjal loetakse seejuures magneti tungjoonte suunaks suund põhjapoolusest lõunapoolusesse.

Asetame lauale kaks magnetit nii, et nende isenimelised poolused oleksid teineteise vastas. Rauapuru abil nende pooluste vahel olevaid magnetilisi 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 tei-

sest otsast väljuvad. Seejuures rauas sel 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, sest murtud kohal tekib ühel poolel põhjapoolus, teisel poolel lõunapoolus. Siit võime järeldada, et magneti tungjooned ei



8. joon. Rauapuru abil nähtavaks tehtud magnetiväli.

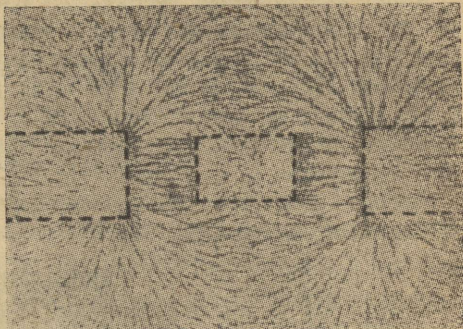
katke ka magneti sees. Niisiis on magneti tungjooned suletud kõverad, mis väljuvad põhjapoolusest ja suubuvad lõunapoolusesse.

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

8. Maakera magnetiväli. Vaba magnetnõel näitab alati kindlat suunda, millest järeldame, et **Maakera ümber on magnetiväli.** Täpsemad tähelepanekud näitavad, et rõht-tasapinnas vabalt pöörleva magnetnõela siht ei ühti

täpselt põhja-lõuna suunaga ehk geograafilise meridiaaniga. Nurka magnetnõela põhjasuuna ja geograafilise meridiaani põhjasuuna vahel nimetatakse **magnetiliseks deklinatsiooniks** ehk **käändeks**.

Selle järgi, kas magnetnõela põhjapoolus kaldub põhjasuunast ida või lääne poole, räägitakse ida- või läänedeklinatsioonist. Magnetiline deklinatsioon muutub kohaga Maakera pinnal: eri kohtades on ta ka eri suurune. Samuti



9. joon. Raud magnetiväljas.

muutub magnetiline deklinatsioon aja kestel. Nõukogude Eesti alal on praegu magnetiline deklinatsioon ligikaudu null. 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 pööruda. Asetame nõela vertikaalsesse tasapinda, mis ühtib deklinatsiooninõela suunaga. Siis paneme tähele, et ta pole horisontaalne, vaid põhja-poolkeral on põhjapoolus, lõunapoolkeral lõunapoolus kaldu alla maa poole. Nurka magnetnõela ja horisontaal-tasapinna põhjasuundade vahel nimetatakse magnetiliseks inklinatsiooniks ehk kaldeks. Tartus on magnetiline inklinatsioon ligikaudu 70° .

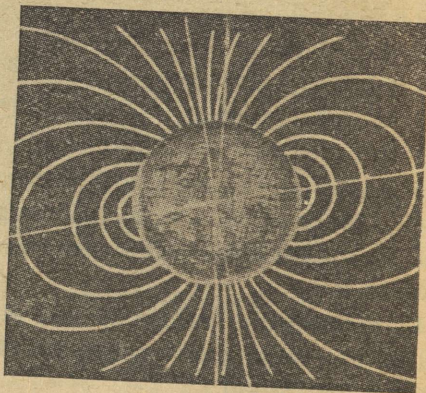
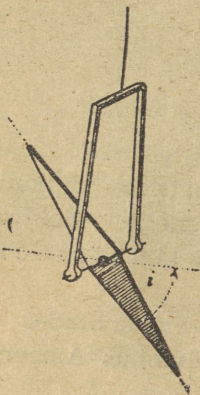
Magnetilise inklinatsiooni määramiseks eriti ehitatud magnetnõela nimetatakse inklinatsiooninõelaks.

Ka magnetiline inklinatsioon on Maakera eri kohtades eri suurune: magnetilisel ekvaatoril on magnetiline inklinatsioon null, Maakera põhjapoolmikul kaldub magnetnõela põhjapoolus, Maakera lõuna-

poolmikul magnetnõela lõunapoolus allapole. Kalle suureneb kaugenemisel ekvaatorist. Tähelepanekud deklinatsiooni- ja inklinatsiooni-nõelaga näitavad, et Maakera on suur kerakujuline magnet.

Kohti, kus kaldenõel vertikaalselt seisab, s. o. kus magneti kalle on 90° , nimetatakse Maakera magnetipoolusteks. Maakera kui magneti lõunapoolus asub 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.). Nii asetsevad Maakera magnetipoolused geograafiliste pooluste lähedal, kuid ei ühti viimastega.

Maakera magnetilise lõunapooluse avastas kapten Ross 1831. a., põhjapooluse maadeuriija Shackleton 1909. a.



10. joon. Inklinatsiooninõel.

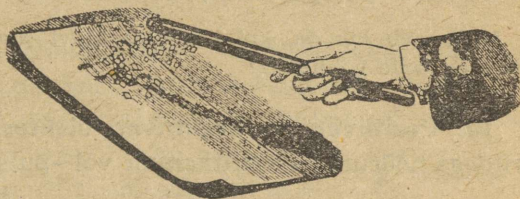
11. joon. Maakera magnetilised poolused.

1. Mispärast antakse magnetile sagedasti hobuseraua kuju?
2. Kuidas on võimalik magnetnõela abil määrata, kas antud rauatükk on magneeditud või mitte?
3. Kuidas on võimalik määrata, kumb kahest antud täitsa ühesugusest teraspulgast on magnet?
4. Kuidas peab magnetid kokku panema, et nende mõju oleks kõige tugevam?
5. Mispärast ei tehta kompassikarbikest rauast?
6. Mispärast põrutamisel ja kuumutamisel magnet kaotab oma magnetilised omadused?
7. Põhja-lõuna suunas asetatud raud- ja terasesemed magneetuvad. Mispärast?

Elekter.

Hõõrdumiselekter.

9. Elektrilaeng. Hõõrume villase riidega eboniitkammi või kirjalakipulka ja lähendame ta siis lauale puistatud paberitükikestele: eboniitkamm tõmbab enda külge paberitükikesi, kuid veidi aja pärast langevad need alla. Võtame samuti riba hari-likku ajalehepaberit, paneme sooja ahju vastu ja hõõrume teda riideharjaga. Kui ahi on küllalt soe ning tuba kuiv, siis võime tähele



12. joon. Villase riidega hõõrutud eboniitpulk tõmbab paberitükikesi külge.

panna, et juba mõne harjatõmbe järel jääb paber ahju külge kinni ja iseenesest maha ei lange. Paberit ahju küljest ära tõmmates kuuleme nõrka raginat. Kui seda teha pimedas toas, siis võib äratõmbamiskohal märgata koguni väikesi sädemekesi. See pole veel kõik. Hõõrumisel on ajalehepaberist riba saanud mitmed uued omadused: ta jääb seina külge kinni igas kohas, tõmbab enda külge kergeid asjakesi, näiteks paberiraasukesti, ja kui teda käes hoida keskelt, siis tõukavad otsad teineteist eemale. Neid erilisi omadusi, mis tekkisid eboniitkammi ja pabeririba hõõrumisel, nimetatakse **elektrilisteks**

omadusteks, nende põhjust elektriks ja selle esilekutsumist — elektriseerimiseks.

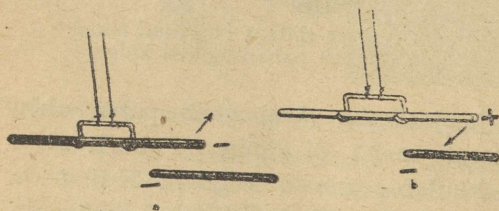
Eriti selgesti esinevad need nähtused klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga. Et merivaik hõõrumisel saab erilised omadused, seda teadsid juba vanad kreeklased. Kui uuemal ajal (umbes a. 1600) hakati neid nähtusi jälle uurima, siis nimetati neid nähtusi merivaigu kreekakeelse nimetuse järgi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

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

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

Mida võib kuulda, kui kammida kuivi juukseid eboniitkammiga? Mis on selle põhjuseks?

10. Positiivne ja negatiivne elekter. Riputame villase riidega hõõrutud eboniitkammi või -pulga 13. joonisel kujutatud konksu otsa ja



13. joon. Tõukamine ja tõmbumine.

lähendame sellele siis teise, samuti hõõrumisega elektriseeritud eboniitpulga: näeme, et need teineteisest eemalduvad. Samuti eemalduvad teineteisest kaks klaaspulka, mis on hõõrutud amalgaamitud nahaga. Seevastu hõõrutud eboniitpulk ja klaaspulk tõmbuvad teineteist lähemale.

Korrates samasuguseid katseid elektrilaengutega, mis saadud mitmesuguste teiste kehade hõõrumisel, leiame, et need kas tõukavad klaaspulga elektrilaengut eemale ja tõmbavad

eboniitpulga laengut ligemale või, vastuoksa, tõmbavad klaaspulga laengut ja tõukavad eboniitpulga laengut.

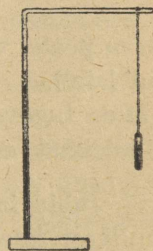
Sellest järeldame, et on ainult kahte liiki elektrit: üks, mis tekib klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga, ja teine, mis tekib eboniitpulgal, kui teda hõõruda villase riidega.

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

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

Siidniidi otsas ripuvad kaks täiesti ühesugust kuulikest — üks laetud, teine mitte. Kuidas saab kindlaks teha, kumb neist on laetud?

11. Elektrilaengu edasiandmine. Elektrilaengut võib üle anda ka teistele kehadele. Selle näitamiseks tarvitame kahte **elektripendlit**, mille valmistame järgmiselt. Õhukest siidpaberist keerame kokku torukujulise silindri ja seome selle siis siidniidi otsa. Siidniidi teise otsa seome kõveraks painutatud klaastoru külge, mis on kinnitatud alusele (14. joon.). Lähendades ühele elektripendlile elektriliselt laetud klaaspulka, näeme, et ta algul tõmbab elektripendli silindri enda külge, siis aga tõukab selle eemale. Kordame sama katset teise elektripendliga. Lähendades nüüd mõlemaid pendleid teineteisele, näeme, et nad teineteisest eemalduvad. Kui aga puudutame ühte pendlit positiivselt laetud klaaspulgaga ja teist elektripendlit negatiivselt laetud eboniitpulgaga, siis näeme, et nad teineteisele lähenevad. Neist katseist järeldame, et keha võib

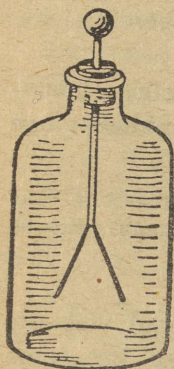


14. joon.
Elektripendel.

omandada elektrilaengu kokkupuutumisel teise elektrilise kehaga.

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

12. 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 ühennimelise elektrilaenguga laetud keha tõukavad teineteist eemale. Ühte niisugust lihtsat elektroskoopi kujutab 15. joon. Selle tähtsamaks osaks on metallvarb, mille alumise otsa küljes ripuvad õhukesest siidpaberist või metallist (kullast või alumiiniumist) lehekeseid. Metallvarb läbib eboniidist või merivaigust korgi, mis suleb klaasanuma pudelikujulise kaela.



15. joon.
Elektroskoop.

Tõmbame elektriseeritud kehaga, näit. klaaspulgaga, mööda elektroskoobi metallvarba. Kokkupuutumisel läheb osa elektrit varva peale, varva kaudu lehekestesse — ja lehekeseid lähivad laiali.

Mida tugevamini on elektroskoop laetud, seda kaugemale teineteisest eemalduvad elektroskoobi lehekeseid.

13. Juhid ja mittejuhid. Puudutame laetud elektroskoobi kuulikest käega. Lehekeseid langevad kohe alla. Elektrilaeng kadus elektroskoobist. Puudutamisel ühendasime elektroskoobi keha kaudu määga. Elektroskoobis olev elekter läks keha kaudu maasse ja maa peal olevaisse esemisse. Elektroskoopi jäi elektrit niivõrd vähe, et ta ei suuda enam lehekesi laiali ajada.

Niisugust elektroskoobi tühjendamise viisi nimetatakse maandamiseks. Maandamise katsest selgub, 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 elektroskoobi ja katsume temast elektrit mitmesugusest materjalist esemete abil (puu, kivi, kriit, riie jne.) maasse juhtida. Siis näeme, 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 elektrilaengut juhi peal hoida, et ta maasse ei läheks, siis peame selle juhi isolaatori abil maast eraldama ehk isoleerima. Nii isoleeritakse elektroskoobi metallvarb ühes lehekestega eboniidi, merivaigu või mõne teise isolaatori abil.

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

2. Miks niiskelt elektroskoobilt laeng kiiresti ära kaob?

14. Elektrilaengute neutraliseerimine. Kui laadida elektroskoop kas positiivselt või negatiivselt ja siis ühendada laetud elektroskoop metallvarda kaudu teise samasuguse, kuid laadimata elektroskoobiga, siis jaotub elektrilaeng mõlema elektroskoobi vahel. Kui laadida üks elektroskoop positiivselt, teine samasugune elektroskoop negatiivselt, nii et mõlemad elektroskoobid annavad ühesuurused hälbed, siis mõlemat elektroskoopi metallvarda abil ühendades kaovad laengud elektroskoopidest. See tähendab, et kaks ühesuurust isenimelist elektrilaengut hävitavad vastastikku teineteist, nad **neutraliseeruvad**.

Kui laadida üks elektroskoop positiivse elektrilaenguga, teine negatiivse elektrilaenguga, kuid mitte ühesuuruse hälbeni, milline laeng jääb siis elektroskoopidele pärast nende ühendamist metallvardaga?

15. 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 elektriseerimata, mittelaetud olekus on neutraliseeritud. Seetõttu pole tema olemasolu märgatav.

Teadlased on avastanud, et aine algosake ehk aatom sisaldab positiivset elektrilaengut ja niisama suurt negatiivset elektrilaengut. Negatiivse laengu algosakesi nimetatakse elektronideks.

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 amalgaamitud nahaga hõõruda klaaspulka, siis omandab klaaspulk positiivse elektrilaengu, amalgaamitud nahk niisama suure negatiivse elektrilaengu. Hõõrumisel rebitakse osa elektrone klaaspulgast lahti. Need lähevad üle amalgaamitud nahale. Seetõttu omandavadki klaaspulk ja nahk vastupidise märgiga, kuid võrdsed elektrilaengud.

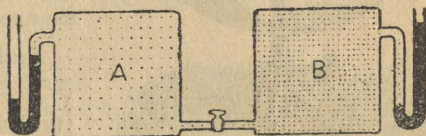
16. Elektri pinge. Laeme kaks ühesugust elektroskoopi ühe ja sama elektriga nii, et nende lehekeste hälbed pole võrdsed, ja ühendame siis elektroskoobid isoleeriva hoidja külge kinnitatud metallvardaga: kohe omandavad elektroskoobid ühesuurused hälbed, sest ühe elektroskoobi lehekese hälve väheneb, teisel suureneb. See tähendab, et osa elektrit voolab ühelt elektroskoobilt teisele.

Teame, et vesi voolab ühest anumast teise siis, kui vee-pinnad (tasemed) anumais pole ühekõrgused. Loomulikult voolab vesi kõrgema tasemega anumast madalama tasemega anumasse. Gaasikraani avamisel voolab gaas kraani kaudu välja seetõttu, et gaasi rõhk gaasitorustikus on 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 **laadimis-aste** ehk **elektri pinge**. Elektri pinget võime võrrelda veepinna kõrguse ehk veerõhu vahega. Samuti võime võrrelda elektri pinget gaasirõhu vahega gaasitorustikus jne.

Olgu kahes anumus A ja B (16. joon.), mis on ühendatud omavahel toru kaudu, gaasirõhk erikõrgune, näiteks anumus B kõrgem ja anumus A madalam kui atmosfääri rõhk. Toru kraani avamisel voolavad molekulid anumast B anumasse A seni, kuni gaasirõhk neis ühtlustub. Samuti on kahe elektriliselt laetud keha



16. joon. Gaasi voolamine.

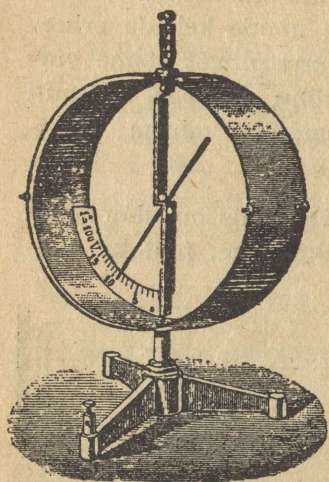
vahel **pinge**, kui nende laadimis-aste pole ühekõrgune. Kui ühendame kaks eri pingeni laetud elektroskoopi metalljuhtmega, hakkab elekter voolama ühelt elektroskoobilt teisele, kuni nendevaheline pinge muutub nulliks.

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 katsekuulikesega traadi kaudu kaugel oleva elektroskoobiga ja puudutame siis katsekuulikesega isoleerivale alusele paigutatud elektriliselt laetud kandilist keha. Millises

punktis me katsekuulikesega laetud keha ka puudutame, näitab elektroskoop ikka ühte ja sama hälvet, olgugi et elektri jaotus kehal pole ühtlane, nagu varem nägime.

Seega on laetud elektrijuhi pinge kõigis punktides üks ja sama.



17. joon. Elektromeeter.

Tarvitades sõna „pinge“ tuleb meelles pidada, et pinge määramisel võrdleme keha elektrilist olekut mõne teise keha elektrilise olekuga. Keha elektrilist pinget maa suhtes nimetatakse potentsiaaliks. Ka termomeetriga keha temperatuuri mõõtes määrame ainult keha soojuseastet, võrreldes termomeetrit 0-kraadiga.

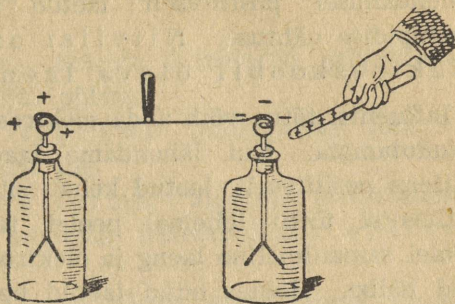
Elektri pinge ühikuks on **volt** (V); see nimetus on tuletatud itaalia füüsiku A. Volta nimest. 1 volt on võrdne ligikaudu nn. volta elemendi pooluste vahel oleva pingega. Astmikuga varustatud elektroskoopi, mis näitab

otseselt pinge suurust, nimetatakse **elektromeetriks**. Ühte niisugust elektromeetrit kujutab 17. joonis.

17. Mõjuelekter. Elektriliselt neutraalsed juhtivad kehad ehk konduktorid omandavad elektrilaengud juba seega, kui nende lähedale tuua elektriliselt laetud kehi. Nii viisi tekkinud elektrilaengut nimetatakse **influentse** ehk **mõjuelektriks**.

Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse. Ühendame kaks elektroskoopi isoleeriva hoidja külge kinnitatud metallvardaga (18. joon.). Elektriseeritud klaaspulga lähendamisel lähevad lehekused laiali, olgugi et me pulgaga otseselt elektroskoope ei puudutanud. Kui viia klaaspulk eemale, siis langevad mõlema elektroskoobi lehe-

kesed. Kui aga eraldada mõlemad elektroskoobid metallvarda äravõtmisega enne klaaspulga eemaldamist, siis jäävad mõlemale elektroskoobile elektrilaengud. Lähemalt nende laengute märke uurides leiame, et klaaspulgale lähemal elektroskoobil on klaaspulgal oleva elektrilaenguga võrreldes vastupidise märgiga elektrilaeng, kaugemal elektroskoobil samanimeline elektrilaeng.



18. joon. Mõjuelekter.

Kui enne klaaspulga eemaldamist puudutada metallvardaga ühendatud elektroskoobe, siis kaob samanimeline laeng sealt maasse. Pärast klaaspulga eemaleviimist jaotub isenimeline laeng mõlema elektroskoobi vahel ühtlaselt.

Kokkuvõttes: 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 elektroskoop laengut näitab, kui talle lähendada elektriliselt laetud keha.

Lähendame näiteks positiivselt laetud elektroskoobile positiivselt laetud keha, siis suureneb elektroskoobi lehekete hälve, sest lisaks endisele positiivsele laengule tekkis elekt-

roskoobil influentsi tõttu positiivne laeng. Nõnda suurenebki elektroskoobi lehekeste hälve. Negatiivse laengu lähendamisel positiivselt laetud elektroskoobile saame vastupidise nähtuse. Niiviisi on kerge määrata elektroskoobil oleva laengu märki.

Influentsi tõttu võib anda elektroskoobile laengu ka teda puudutamata. Kui lähendame laadimata elektroskoobile näiteks positiivselt laetud keha, siis tekib elektroskoobil influentsi tõttu lähemal poolel teisenimeline, kaugemal poolel samanimeline laeng ja elektroskoobi lehekesed annavad hälbe. Hoides nüüd laetud keha elektroskoobi lähedal paigal, puudutame sõrmega elektroskoopi: seejuures juhime samanimelise, kuid vaba elektri maasse. Kui eemaldame nüüd laetud keha elektroskoobist, jääb teisenimeline elektrilaeng vabaks ja elektroskoop näitabki uuesti laengut. Nii võime laadida positiivse laenguga elektroskoopi negatiivselt ja ümberpöörduvalt — negatiivse laengu abil võime elektroskoopi laadida positiivselt.

Niisugust laadimisviisi tarvitatakse sageli väga tundlikkude elektroskoopide puhul.

18. Influentsmasin. Mõjuelektril põhineb **influents-elektrimasina** (19. 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.

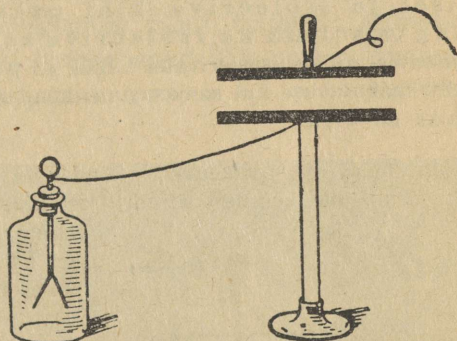
Influentsmasin annab väga kõrge pinget. Selle mõõtmine tavalise elektromeetri abil pole võimalik, viimane on selleks liiga väikese ulatusega. Kui masina ketast ümber ajada, siis tekib masina pooluste ehk konduktorite vahel kõrge pinget tõttu elektri üleminek **elektrisädemena**, mis võib olla kuni 20 cm pikk. See näitab, et kõrge pinget toimet kaotab õhk isoleerimisomaduse.

Elektrisädet saadavad järgmised nähtused ja toimed:

- 1) Valgusenähtus. Elektrisädemel nagu välgulgi on sakiline kuju ja sinakasviolettne värvus.
- 2) Ragin.
- 3) Soojusetoime. Eetriga niisutatud puuvillatükk süttib sädeme mõjul põlema.
- 4) Mehaaniline tegevus. Elektrisäde võib läbi lüüa papist, klaasist 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.



19. joon.
Influents-elektrimasin.



20. joon. Kondensaatori printsiip.

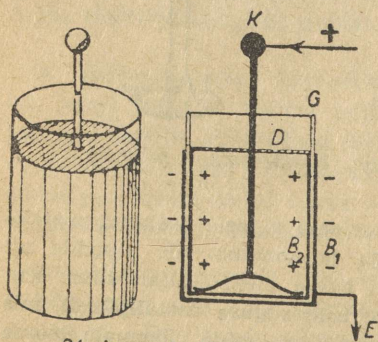
19. Kondensaator. Ühendame isoleerivale alusele asetatud metallplaadi traadi kaudu elektroskoobiga ja anname siis plaadile nii suure elektrilaengu, et elektroskoobi hälve oleks küllalt suur. Kui lähendame nüüd metallplaadile teise samasuguse metallplaadi, mis traadi kaudu maandatud, siis näeme, et mida 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 esialgset hälvet, seega niisama kõrget pinget.

Seda nähtust võime seletada järgmiselt. Metallplaadil olev elektri-laeng 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.

Järelikult: Keha, mille lähedal on teine, maaga ühendatud keha, mahutab suurema elektrilaengu kui üksik metallkeha. Sel puhul öeldakse, et keha omab suuremat **elektrimahutavust**. Riista, mis koosneb kahest isoleeriva kihiga eraldatud metallplaadist ja mille elektrimahutavus on võrdlemisi suur, nimetatakse **kondensaatoriks**. Kondensaatori elektrimahutavus suureneb plaatide suurendamisel ja isoleeriva kihi paksuse vähendamisel ning ta sõltub ka isoleeriva kihi ainest. Näiteks kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on parafiin, omab suuremat elektrimahutavust kui samasugune kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on õhk.

Tuntumaid ja vahemaid kondensaatoreid on **leideni purk** (21. joon.). See koosneb silindrilisest klaasanumast, mille väline ja



21. joon. Leideni purk.

sisemine pind kuni $\frac{3}{4}$ kõrguseni on kaetud tinapaberiga. Ülemine vaba äär on isolatsiooni suurendamiseks lakitud. Kaaneks võetakse kasvatatud puu- või pappketast läbib metallvarb, mille alumine ots on ühenduses sisemise tinapaberiga, väline ehk ülemine ots aga lõpeb metallkuuliga.

Leideni purk laetakse niiviisi, et influentsmasina üks konduktor ühendatakse leideni purgi sisemise kihiga, s. o. metallkihiga, kuna samuti ühendatakse maaga ka leideni purk tühjendatakse erilise isoleeriva käepidemega varustatud tühjendaja abil. Leideni purgi

tühjendamisel tekkinud sädet saadab tugev ragin. Ka võib see säde läbi lüüa papist, klaasist jne.

Õhuelekter.

20. Välg. Et välg on suur elektrisäde, seda näitas esimesena ameerika teadusemees B. Franklin aastal 1752.

Õhus on alati elektrit, nii selge kui ka pilves ilmaga. Seejuures on õhk ja pilved harilikult positiivselt, maa aga negatiivselt elektriline. Äikesepilved on mõnikord positiivselt, teinekord jälle negatiivselt laetud. On pilvesse kogunenud suured elektrihulgad, siis tekib hiiglasuur elektrisäde, **välg**. 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.



22. joon. Õine välg.

Välk võib tekkida kahe pilve või pilve ja maapinna vahel. Kui välk tekib pilve ja maapinna vahel, siis lööb ta sisse härilikult kõrgematesse kohtadesse: tornidesse, postidesse, puudesse, majadesse, eriti aga kõrgetesse metallkehadesse. Äikeseajal pole soovitatav üksiku kõrge puu alla varju minna.

Samal 1752. a., mil Franklin julgete katsetega tõestas, et välk on hiiglasuur elektrisäde, uurisid õhuelektrit ka vene teadlased akadeemik Richman ja Mihhail Vassiljevits Lomonossov. Ühe katse tegemisel äikeseajal sai Richman õnnetult surma. Ta oli ehitanud „piksemasina“: 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 lähenes Richman äikeseajal ettevaatamatult oma „masinale“. Sellest lõi tugev elektrisäde ja surmas teadlase.

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

21. Piksevarras. Välk, tabades puid ja hooneid, purustab neid või süütab põlema, inimestesse või 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 metallvarb. (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 otskas sügavasse märga mulda või lähedalolevasse kaevu, et elekter paremini võiks levida mööda maad. Kui piksevarda kohale ilmub äikesepilv, mis on näit. positiivselt elektriline, siis tõmbab ta enda poole maapinna negatiivset elektrit; see läheb piksevarda teraviku kaudu õhku ja ühineb pilve elektriga. Nii jääb pikselööök tulemata või ilmub ainult nõrgal kujul. Piksevarras kaitseb ainult piirkonda, mille raadius võrdub piksevarda (vastuvõtva osa) pikku-

sega. Suurtel hoonetel on seepärast mitu piksevarrast. Seejuures kõik hoones olevad suuremad metallimassid, nagu keerdtrepid, vee- ja gaasitorustikud, tuleb ühendada maaga.

Varemini arvati, et piksevarda ülemine ots ei tohi olla roostes, mispärast seda sageli kullati. Uuemal ajal on leitud, et seda pole tarvis, sest rooste just hõlbustab elektri üleminekut piksevarda teravikust õhku.

1. Millega seda 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.

22. Elektrivoolu mõiste. Elektrivoolu kasutatakse igapäevases elus ja tehnikas laialdaselt: elektrihõõglambis paneb elektrivool hõõguma peenikese metallniidi, mida tarvitatakse valguseallikana; triikraua kuumaks ajamiseks juhime triikrauast elektrivoolu läbi; elektrivoolu abil saadame teateid kauge maa taha (telegraaf) jne. Elektrivoolu võime võrrelda, nagu juba varemini nägime, veevooluga. Et vesi voolaks toru kaudu ühest anumast teise, seks peavad olema veepindade kõrgused (tasemed) anumais erisugused. **Elektrivoolu tekkimiseks on tarvilik pinge.** Eripingeliste konduktorite ühendamisel tekib lühikese kestusega elektrivool. Et saada kestvat veevoolu anumate vahel, tuleb pumbata vett ühest anumast teise, s. o. hoida anumais alal veepindade kõrguste vahe. Et saada kestvat elektrivoolu, on selleks tarvilik kestev elektripinge.

23. Galvaani element. Kestva elektrivoolu annavad seadised, mis põhinevad järgmisel nähtusel.

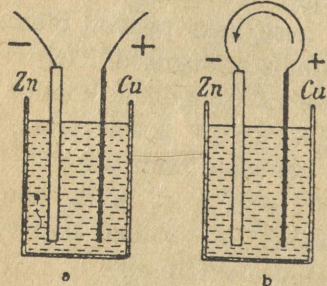
Asetame nõrka väävelhappe-lahusesse vask- ja tsinkplaadid. Väga tundliku elektroskoobiga võib näidata, et vaskplaadil on siis nõrk positiivne laeng, kui tsinkplaat ühendada maaga, ja tsinkplaadil on nõrk negatiivne laeng, kui vaskplaat maandada. Tsink- ja vaskplaadi vahel on nõrk pinge, umbes 1 volt. Kui ühendame vaskplaadi tsinkplaadiga metalltraadi ehk nn. juhtme kaudu, tekib selles **kestev elektrivool**.

Lahjendatud väävelhappesse asetatud vask- ja tsinkplaadi vahel püsib pinge keemilise reaktsiooni tõttu plaatide ja vedeliku vahel. Kestev pinge annab ka kestva elektrivoolu. Siinkirjeldatud seadist kestva elektrivoolu saamiseks nimetatakse **elektri- ehk galvaani elemendiks**. Elektrielemendis tekitab alalist pinget nn. **elektromotoorne jõud**. Elektromotoorse jõu suurust mõõdame pinge kõrguse abil, seega voltides (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.

Galvaani elemendi positiivse laenguga metallplaati (antud juhul vask) nimetatakse **anoodiks**, teist,

negatiivselt laetud plaati nimetatakse **katoodiks**, mõlemaid aga elemendi **elektroodideks**. Vedelikust välja ulatuvad elektroodide otsad, millega vahel püsib elektripinget,



23. joon.

Galvaani element katkestatud ja suletud vooluringiga.



24. joon.

L. Galvani (1737—1799).

on elemendi **poolused**. Eristatakse positiivset ja negatiivset poolust vastavalt nende pingele.

Elemendi elektromotoorne jõud ei sõltu elemendi plaatide suurusest, vaid ainult elektroodide ainesest ja vedeliku koostisest.

Elektrimasina käitamisel ta konduktoreid omavahel ühendades saame ka kestva elektrivoolu, kuid voolava elektri hulk on liiga väike ja vool on nõrk.

Elektrivoolu suunaks loetakse kokkuleppe põhjal suunda **positiivselt pooluselt negatiivsele poolusele**.

24. Voolu tugevus. Veevoolu, samuti ka gaasivoolu tugevust mõõdetakse vee või gaasi hulgaga, mis 1 sekundi kestel läbi toru voolab. Nii avaldatakse sageli veevoolu tugevus kuupmeetrites või liitrites 1 sek. kohta. Analoogiliselt võime määrata ka elektrivoolu tugevust kui elektri hulka, mis 1 sek. kestel läbi juhtme voolab. Sel teel defineeritud elektrivoolu tugevuse ühikuks on 1 amper (A), mis on tuletatud prantsuse füüsiku A. M. Ampère'i nimest; 0,001 amprit nimetatakse **milliampriksi (mA)**.

Elektrivoolu puhul me kujutleme, et see, mida me elektriks nime-tame, vooluallika 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 näiteks korgipuru. Elektrivoolu aga pole üldse võimalik nähtavaks teha või teisel teel otseselt tajuda. Elektrivoolu olemasolu märkame ainult ta toimete kaudu (näiteks soojuslik ja magnetiline toime).

Elektrivoolu kandjaks metallides pole ka metalli molekulid.

Kui tarvitada elektrijuhtmena traati, mis koosneb kahest osast, näiteks vasest ja alumiiniumist (25. joon.), siis näitavad aastatepikkused vaatlused, et voolu läbimisel ei tungi alumiiniumi molekulid vasesse ega vase molekulid alumiiniumisse.

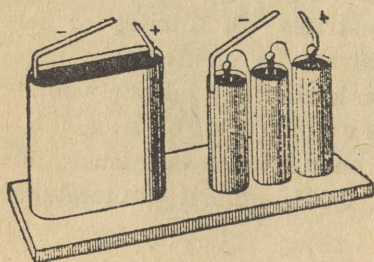
vask	alumiinium
------	------------

25. joon.

Uuemad uurimused viivad oletusele, et elektrivoolu metallides moodustavad metallides vabalt liikuvad elektri algosakesed ehk elektronid. Et elektronidel on negatiivne elektrilaeng, siis elektronide liikumise suund on vastupidine suunaga, mis tehnikas kokkuleppe põhjal on võetud elektrivoolu suunaks, nimelt: elektronid voolavad negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele.

25. Galvaani elemente. Kirjeldatud elektrielemente (vt. § 23) tegelikult ei tarvitata, sest nende pinge pole püsiv, vaid langeb tarvitamisel. Tarvitatavamad galvaani elemendid on järgmised.

Leklanšee element. Selle katoodiks on tsink, anoodiks süsi, mida ümbritseb mangaani ülihapend. Vedelikuks on salmiaagi-lahus. Leklanšee elementi tarvitatakse elektri-



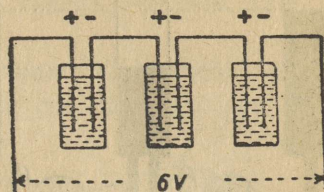
26. joon. Taskulambi-patarei.

kõlistites, 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 leklanšee elemendiga, ainult ta vedelik on saepuruga ja muu sellise materjaliga paksuks pudruks muudetud. Tavaliselt on kuivelement pealt pigiga kaetud. Kuivelemente tarvitatakse vooluallikana telefoni- ja telegraafiaparaatides, elektrikõlistites ja mujal. Laialdaselt tarvitatakse kuivelementi ka elektritaskulambis. Selles on vooluallikaks nn. taskulambi-patarei, mis koosneb tavaliselt 3 kuivelemendist.

Lõhkuda tarvitatud taskulambi-patarei ja vaadata, millest koosnevad ja miskujulised on selle elektroodid.

Galvaani elementides muundub keemiline energia elektrienergiaks. Lõhkudes tarvitatud taskulambi-patarei, leiame selles kolm elementi. Üksikute elementide tsinkelektroode järelle vaadates paneme tähele, et need on „läbi põlenud“, s. o. tsink on ühinenud elemendi vedelikuga, kusjuures vabanevad keemilise energia arvel tekkiski elektrivool.



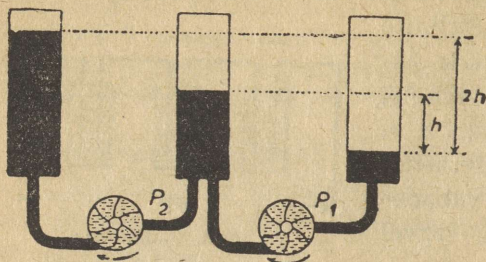
27. joon. Jadalülitus.

26. 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. Vabaks jäävad esimese elemendi negatiivne poolus ja viimase elemendi positiivne poolus. Nende vahel olev pinge on võrdne kõikide elementide pingete summa.

Olgu kõikide ühendatavate elementide elektromotoorsed jõud 1 volt. Siis on esimese elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel pinge 1 volt. Et esimese elemendi positiivse pooluse ühendasime teise elemendi negatiivse poolusega, siis esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi negatiivse pooluse vahel on pinge ka 1 volt. Samuti 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 pinge 2×1 volti jne.

1. Kui kõrge pinge annab patarei, mis koosneb 15 järjestikku ühendatud lekklanšee elemendist?
2. Mitu lekklanšee elementi tuleb ühendada järjestikku, et patarei pinge oleks 110 volti?

Järjestikku ühendatud elementide tegevust võib võrrelda järjestikku ühendatud veepumpade tegevusega, milledest igatüüki suudab anda teatava suurusega veetasemete vahe, seega hoida ka vastavat rõhuvahet (28. joon.).



28. joon. Järjestikku ühendatud veepumpad.

Mitimest elektrielemendist koosnev vooluallikat nimetatakse **elektripatareiks**.

Küllalt suure elementide arvuga patareid pinget võib näidata juba tavalise elektromeetri abil.

Taskulambi-patarei koosneb 3 kuivelemendist, iga elemendi elektromotoorne jõud on 1,5 volti; kogu patareid elektromotoorne jõud on siin 4,5 volti.

Elektripatareid tarvitatakse voolu- ja pingelallikatena laialdaselt raadiotehnikas ning mujal. Raadiotehnikas tarvitatakse nn. anoodipatarei koosneb mitimest järjestikku ühendatud kuivelemendist.

Galvaani elemente võib ühendada patareiks ka **paralleelselt** ehk **kõrvuti**. Nii-sugusel lülitamisel ühendatakse kõikide elementide positiivsed poolused isekeskis, samuti ka kõik negatiivsed poolused isekeskis. Nii-sugune patareid on nagu üks suur element samast liigist: paralleelselt ühendatud elementide patareid pingel pole kõrgem kui iga üksiku elemendi pingel.

Paralleelselt ühendatud elektripatareid tarvitatakse seal, kus on vajalik madala-

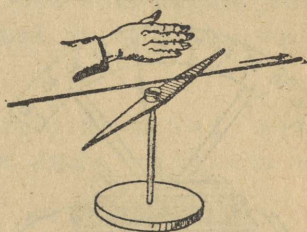


29. joon.

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

pingeline, kuid tugev vool, sest sellise ühenduse puhul liituvad kõikide elementide voolud, nii et patarei koguvool on suurema voolutugevusega kui üksiku elemendi vool.

27. Elektrivoolu magnetiline toime. Elektrivoolu ei saa me otseselt tajuda. Näiteks ei saa me nägemise ega kuulmise kaudu otsustada, kas juhet läbib elektrivool või mitte. Elektrivoolu olemasolu märkame ainult kaudselt ta toime järgi. Hoiame magnetnõela kohal voolujuhtme rööbiti magnetnõelaga, kuid viimasest pisut kõrgemal, nagu kujutatud 30. joonisel. Niipea kui seda juhet läbib vool, kaldub magnetnõel oma tavalisest põhja-lõuna suunast kõrvale.



30. joon. Voolu mõju magnetnõelale.

Korrates sama katset, kui voolu juhe on allpool, paremal või vasakul magnetnõela, näeme, et magnetnõel iga kord voolu mõjul püüab asetuda risti voolusuunale.

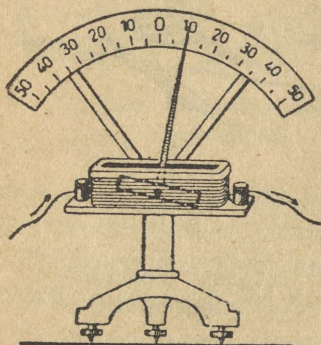
Seda magnetnõela kõrvalekaldumise suunda võime väljendada järgmiselt (Ampère'i parema käe reegel): Kui parem käsi välja sirutada voolu suunas, hoides peopesa magnetnõela poole juhtme kohal, siis kaldub magneti põhjapoolus sinna poole, kuhu näitab põial. Magnetnõela kõrvalekaldumine on seda suurem, mida suurem on juhet läbiva voolu tugevus. Selle nähtuse avastas taanlane Ørsted 1820. aastal.

28. Galvanoskoop, galvanomeeter, ampermeeter. 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.

Lihtsaks galvanoskoobiks on kompassinõel, mille ümber on tõmmatud rida isoleeritud traadikeerde.

Vertikaal-galvanoskoopi kujutab 31. joon. Selle galvanoskoobi magnet kannab osutit ja võib kaalukangi-taoliselt



31. joon. Vertikaal-galvanoskoop.

horisontaalse telje ümber pöördueda. Ta on asetatud paljudest keerdudest koosnevasse traatpooli. Niipea, kui pooli läbib vool, kaldub magnet oma tavalisest horisontaalsest tasakaaluasendist välja. Nii näitab galvanoskoop, kas vooluahelas on voolu. Galvanoskoopi, mis on varustatud astmikuga voolutugevuse lugemiseks, nimetatakse **galvanomeetriks**. Näitab galvanomeetri astmik voolu-

tugevust amprites, nimetatakse teda **ampermeetriks**.

29. Takistus. Veevoolu tugevus torus on seda nõrgem, mida peenem on toru. Võime rääkida, et peenes torus on suur takistus veevoolule. Analoogiline nähtus ilmneb 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 lühikese, sama raudtraadi osa abil ja paneme uuesti tähele voolutugevust, mis on endisest

juba märksa suurem, näiteks 0,8 amprit. See katse näitab, et pikk raudtraat on elektrivoolule suuremaks takistuseks kui lühike. Mida pikem on 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, et mida peenem on traat, seda suurem on ta takistus ja seda väiksem on voolutugevus.

Takistuse ühikuks on võetud **1 oom** (Ω).

Sõna „oom“ tuleneb saksa füüsiku Ohm'i nimest. Oom on takistus, mida omab **elavhõbedasammas kõrgusega 106,3 cm ja ristilõikega 1 mm²**. Niisuguse elavhõbedasamba saame sama pika ja sama läbilõikega klaastoru abil. Niisiis sõltub juhtme takistus juhtme pikkusest ja juhtme ristilõike suurusest: juhtme takistus on võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline juhtme ristilõikega.

Lülitades vooluahelasse enne näiteks raudtraadi ja 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.

See tähendab, et juhtme takistus oleneb ka juhtme materjalist. 1 m pikkuse ja 1 mm² ristilõikega traadi takistust nimetatakse vastava aine **eritakistuseks**.

Mis on erikaal? erisoojus?

Järgmises tabelis on antud mõnede ainete eritakistused:

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

Sellest tabelist näeme, et vase, samuti ka alumiiniumi eritakistused on väikesed. Seetõttu valmistataksegi juhtmed peamiselt vasktraadist, harvemini alumiiniumist (sest vasktraat on vastupidavam).

1. Kui suur on takistus 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?

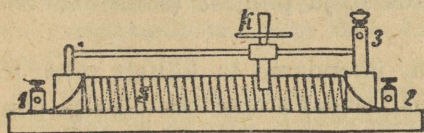
5. Kui suur on vasktraadi takistus, mille läbimõõt on 0,5 mm ja traadi kogukaal on 2 kg?

6. Kui pikk on 1-mm^2 ristilõikega vasktraat, mille takistus on 1 oom? Kui pikk on samasuure ristilõike ja takistusega raudtraat?

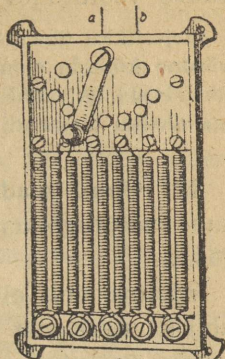
30. Reostaat. Et voolutugevus väheneb vooluahela takistuse suurenemisega, ja ümberpöörduvalt, siis tarvitatakse sageli tehnikas voolutugevuse reguleerimiseks erilisi riistu, mis lülitatakse vooluahelasse ja mille takistust võib soovi järgi muuta. Niisuguseid takistusi nimetatakse **reostaatideks**. Eriti pidevalt võimaldab takistust muuta nn. rullreostaat (32. joon.). See koosneb spiraalina isoleerivale silindrile keritud nn. takistustraadist. Spiraali üksikud keerud ei puutu üksteisega kokku. Takistustraadi üks

ots on 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.

Näidata voolu tee selles reostaadis.



32. joon. Rullreostaat.



33. joon. Väntreostaat.

33. joonis kujutab väntreostaati. Seletada selle tegevust!

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

31. Sisetakistus. Galvaani elemendi tarvitamisel tuleb arvestada ka seda, et elemendi vedelikul ja elektroodidel on oma takistus: seda nimetame elemendi **sisetakistuseks**. Kogu vooluahela takistus koosneb seega välisjuhtmete takistusest ja sisetakistusest. Kui tarvitada suure sisetakistusega elementi, siis ei saa suure tugevusega voolu ka siis, kui 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 elemendi pooluste pinge on võrdne elemendi elektromotoorse jõuga. Suletud elemendi pooluste pinget nimetatakse sageli **klemmide pingeks**.

Klemmide pingelangeb tunduvalt suure sisetakistuse ja suure voolutugevuse puhul.

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.

32. Ohmi seadus. Nüüd vaatame lähemalt, kuidas sõltub voolutugevus takistusest ja pingest (elektromotoorsest jõust).

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 asemele kaks järjestikku ühendatud elementi, siis saame kaks korda suurema pinget. Takistuse jätame endiseks. Voolutugevust märkides leiame, et ta on 0,8 amprit. Niisiis: kui pinget kaks korda suurendada, siis suureneb kaks korda ka voolutugevus. Alati, kui kõik muud tingimused samadeks jäävad, on voolutugevus võrdeline pingega.

Nüüd uurime voolutugevuse muutumist, kui muutumatu pinget, näiteks 4 volti, puhul lülitame üksteise järel takistused 2 oomi, 4 oomi, 8 oomi jne. Voolutugevuse mõõtmised annavad vastavalt 2 amprit, 1 amper, 0,5 amprit jne.

Järeldus: Voolutugevus on pöördvõrdeline takistusega.

Voolutugevuse sõltuvust takistusest ja pingest üheks lauseks koondades saame nn. **Ohmi seaduse:** Elektrivoolu tugevus on võrdeline pingega (elektromotoorse jõuga) ja pöördvõrdeline takistusega, ehk lühidalt:

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

kui I on voolutugevus, U pinget, R takistus.

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

1. Kui suur on hõõglampi lähiva voolu tugevus, kui pinge on 220 V ja takistus 1100 Ω ?
2. Kui suur on elektritriikraua takistus, kui 220-voldisel pingel on voolutugevus 2 A?
3. Metallniidiga elektrihõõglamp, mille takistus on 440 oomi, on lülitatud valgustusvõrku; 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 leklanšee elementi on ühendatud järjestikku. Kui suur on voolutugevus, kui iga üksiku elemendi sisetakistus on 0,8 oomi ja vooluahela välistakistus on 10 oomi?

33. Mõõduriistad. Tavaliselt on galvanomeetri ja ampermeetri mähised valmistatud peenikesest traadist, mis suure voolutugevuse puhul võib läbi põleda. Et mõõta ka suuri voolutugevusi, lülitatakse riista klemmide vahele harutakistus. Siis läheb osa voolu läbi harutakistuse, osa voolu läbi riista mähise. Kui harutakistus on nii valitud, et $\frac{1}{100}$ kogu voolust läbib riista mähise, $\frac{99}{100}$ voolu läbib harutakistuse, siis astmiku iga kriipsuvahe tähendab 100 korda tugevamat voolu. Sedaviisi on võimalik haruvoolu järgi määrata peavoolu tugevust.

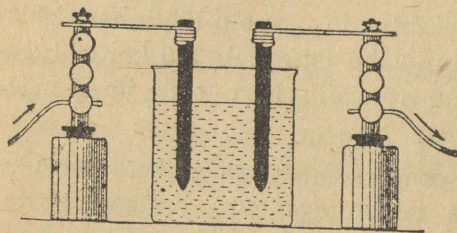
Ampermeetri takistus peab olema väga väike, võrreldes vooluahela muude osade takistusega, sest vastasel korral selle lülitamine vooluahelasse avaldaks mõju voolutugevusele.

Voolutugevuse mõõtmisel ampermeetriga lülitatakse ampermeeter vooluahelasse järjestikku.

Pinge mõõtmiseks tarvitatakse erilisi riistu, pinge mõõtjaid. 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 riistatahistusega). Niisuguse 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.

34. Vasevitrioli elektrolüüs. Kallame klaasanumasse, näiteks keeduklaasi, vasevitrioli-lahust ja asetame sellesse kaks söepulka (34. joon.). Ühendame söepulgad vooluallika



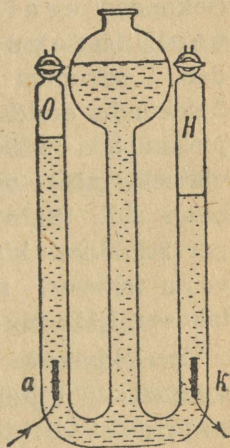
34. joon. Vasevitrioli elektrolüüs.

poolustega ja juhime elektrivoolu läbi vasevitrioli-lahuse. Lühi-kese aja pärast paneme tähele, et üks söepulka, mis on ühendatud vooluallika negatiivse poolusega, on kattunud metalse vasekihiga. See

katse näitab, et **elektrivool lahutab keemiliselt vasevitrioli** (CuSO_4) lahust. Niisugust keemilist lahutamist nimetatakse **elektrolüüsiks**, lahutatavat vedelikku, antud juhul vasevitrioli-lahust, nimetatakse **elektrolüüdiks**. Söepulki, millede kaudu juhitakse vool elektrolüüti, nimetatakse **elektroodideks**. Negatiivse poolusega ühendatud elektrood on **katoodiks**, positiivse poolusega ühendatud elektrood **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 elektrivool lahutab keemiliselt hapet, soola või leelist.

35. Vee elektrolüüs. Juhime elektrivoolu läbi vee, millele on juurde lisatud väävelhapet, teiste sõnadega, läbi väävelhappe-lahuse. Niipea kui voolu ühendame, algab elektroodidel elav gaasimullide tekkimine, mis sealt vee-pinnale tõusevad. Et paremini uurida tekkinud gaase, seks tarvitame riista, nagu seda 35. joon. kujutab. Riista mõlemasse harusse on juhitud plaatinast elektroodid. Elektrivoolu läbimisel tekivad elektroodidel gaasimullikesed, mis mööda torusid üles tõusevad ja suletud kraanide puhul torude ülemistesse otstesse kogunevad, surudes vedeliku pinda allapoole. Torus, kus on katood (k), tekib ruumala poolest kaks korda rohkem gaasi kui selles torus, kus asub anood (a). Neid



35. joon. Vee elektrolüüsi riist.

gaase järele katsudes leiame, et katoodil on tekkinud vesinik (H), anoodil hapnik (O). Esimene põleb nõrga, sinise leegiga, teine paneb hõõguva söe heledalt leegitsema. Et vesi koosneb hapnikust ja vesinikust ruumala vahekorras 1:2, siis järeldame sellest katsest, et elektrivool, läbides väävelhappelahuse, lahutab vee keemilisteks algosadeks — hapnikuks ja vesinikuks.

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

Elektrivoolu läbimine elektrolüütides on seotud aine osakeste liikumisega. Seetõttu erineb elektrivool elektrolüütides põhiliselt elektrivoolust metallides. Viimastes ei tekita elektrivool aine osakeste liikumist.

36. Voolutugevuse ja elektri hulga mõõduühikute määramine. Elektrolüüsi katsed näitavad, et ühes ajaühikus (sekundis) eraldunud aine hulk on võrdeline voolutugevusega. Kui näiteks 1-amprine vool eraldab 1 sekundis vasevitrioli-lahusest 0,329 mg vaske, siis 2 sekundis eraldab ta $2 \times 0,329$ ehk 0,658 mg, 3 sekundi jooksul $3 \times 0,329$ mg jne. Selle korrapärasuse põhjal on võimalik mõõta voolutugevust elektrolüüsil eraldunud ainehulga abil. Rahvusvaheliselt ongi voolutugevuse ühik amper sel alusel kindlaks määratud järgmiselt: **1 amper on voolu tugevus, mis 1 sek. kestel eraldab hõbedasoolalahusest 1,118 mg hõbedat.**

Et elektrivoolu tugevuse ühik amper on määratud ühes sekundis läbi juhtme voolanud elektri hulgaga, siis saame amprist ka elektri hulga ühiku. Elektri hulga ühik kulon on selline elektri hulk, mis voolab läbi juhtme 1-amprise voolu puhul 1 sek. jooksul, ehk teisiti: **1 kulon**

on selline elektriühik, mis elektrolüüsil eraldab hõbedasoola-lahusest 1,118 mg hõbedat.

Kui 1 kulon elektrit läbib mõne teise elektrolüüdi, siis eraldab ta ka vastavalt teise hulga selle ainet, näiteks vaske — 0,329 mg, niklit — 0,305 mg, vesinikku — 0,01036 mg jne.

Näidis 1. Mitu kulonit elektrit peab voolama läbi hõbedasoola-lahuse, et eraldada sellest 1 g hõbedat?

Otsitav kulonite arv sel juhul on $1 \text{ g} : 1,118 \text{ mg} = 1000 \text{ mg} : 1,118 \text{ mg} = 894$ (kulonit).

Näidis 2. Millise tugevusega elektrivool annab meile 5 min. jooksul 900 kulonit elektrit?

1-amprise voolu puhul voolab läbi juhtme ühes sekundis 1 kulon elektrit, ühes minutis — 60 kulonit ja viie min. jooksul 5×60 kulonit. Seega on otsitav voolutugevus: 900 kulonit : (5×60) kulonit ehk 3 amprit.

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

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

37. Elektrolüüsi rakendamine. Elektrolüüsi nähtusi kasutatakse laialdaselt kehade katmisel õhukese metallikihi (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 läbimisel 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 hõbedaga, siis elektrolüüdiks võetakse hõbedasoola-lahus, hõbetatav ese asetatakse sinna vedelikku ja ühendatakse vooluallikaga negatiivse poolusega. Anoodiks võetakse hõbeplaat. 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 metallalumiinium elektrolüüsi abil alumiiniumiühendeist.

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

Võtame nüüd elektrodideks seatinapleki ribad ja paigutame need 10—15% väävelhappe-lahusesse kui elektrolüüti. Vooluahelasse lülitame ka galvanomeetri (ampermeetri). Voolu läbimisel tekib anoodil seatina-ülilhapend (superoksüüd), mis katab seda pruuni kihina, kuna katoodil sadestub seatina, moodustades seal poorse kihi. Katoodi värvus on selletõttu hall. Lülitame vooluahelast vooluallika välja ja ühendame elektrolüüdis olevad elektrodid juhtmetega läbi galvanomeetri. Galvanomeeter näitab nüüd vastassuunalist elektrivoolu. Selle voolu allikaks on elektrolüüt seatina-elektrodidega. Voolu läbimisel tekki-

sid 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-plaadidest, mis on paigutatud 20% väävelhappe-lahusesse. Need plaadid on võretalised. Võrede vahed on täidetud vastavate seatina-ühenditega. Et aku annaks voolu, seks tuleb temast enne elektrivool läbi lasta. Seda toimingut 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. Niiviisi võib värvuse järgi 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 laetud või mitte.

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

Aku mahutavust mõõdetakse elektriulgaga, mis ta võib anda tühjenemisel. Aku mahutavuse ühikuks on ampertund, s. o. elektriühik, 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 pingeline tühje-

nemisel 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 hoida rikete eest. 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. leelisaakud. Th. A. Edisoni leiutatud leelis-aku elektrolüüdiks on 20% sööbekaaliumi-lahus, elektrodideks nikkel- ja raudplaadid. Leelis-aku pinge pole nii püsiv kui seatina-aku pinge. Leelis-aku pinge on umbes 1,35 volti. Leelis-akud annavad tühjenemisel väiksema osa laadimisel kulu- tatud elektrienergiast tagasi kui seatina-akud.

Kõrgema pinge saamiseks lülitatakse mitu akut järjes- tikku ühiseks patareiks nagu galvaani elementegi.

Akusid tarvitatakse laialt autode ja vagunite valgustami- sel, 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?

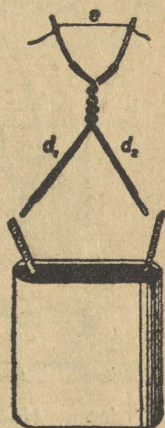
Voolusoojus.

39. Elektervalgustus. Hõõglamp. Taskulambi-pirnis olev metallniit hakkab hõõguma, kui temast läbi lasta elektrivool. Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse: kinnitame kahe klemmi või traadi vahele peenikese kroomnikkel- või mingi muu takistustraadi ja juhime temast läbi elektrivoolu (36. joon.). Elektrivoolu läbimisel traat soojeneb ja hakkab hõõguma. Ta hõõgub seda heledamalt, mida suurem on voolutugevus.

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 toimetel ei soojene märgatavalt, peenike vasktraat soojeneb pisut, kuna kroomnikkeltraat hakkab hõõguma.

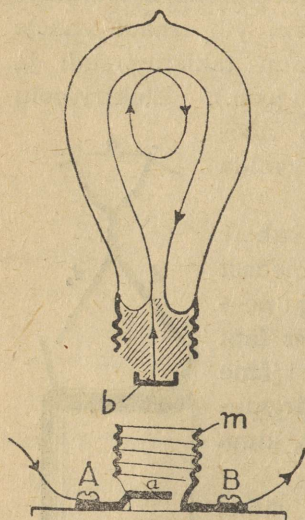
Et jämeda vasktraadi takistus on väike, peenikese vasktraadi takistus pisut suurem ja kroomnikkeltraadi takistus on võrdlemisi suur, siis järgneb sellest katsest, et elektrivoolu toimetel soojeneb see osa juhtmest, mille takistus on suur (näiteks hõõgniit elektripirnis), kuna see osa juhtmest, mille takistus on väga väike, ei soojene märgatavalt (juhtmed, millede kaudu juhitakse vool tarvitajaile). Sellel nähtusel põhineb elektrihõõglampide ehitus.

Elektrihõõglamp ehk -pirn koosneb õhutühjast klaaspirnist, millesse on paigutatud peenike söest või metallist hõõgniit. Õhk on pinnist välja pumbatud, et takistada hõõgniidi läbipõlemist. Jälgida 37. joonise järgi, kuidas juhitakse vool hõõgniiti.



36. joon.
Voolusoojus.

Ainult väga väike osa elektrienergiast muutub hõõglambis valgus-energiaks, suurem osa sellest muutub soojuseks. Kui hõõgniidi temperatuur on kõrgem, siis on suurem ka energiahulk, mis muutub valguseks. Seega — mida



37. joon. Hõõglamp.

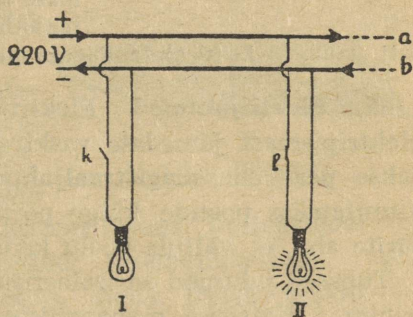
kuuem on hõõgniit, seda odavam tuleb valgus. Esimeste elektrilampide hõõgniidid valmistati söest, praegusajal tarvitatakse metallniidiga hõõglampe. Neis on hõõgniit valmistatud raskesti sulavaist metallidest: tantaalist, osmiumist ja eriti volframist. Viimase sulamistemperatuur on 3500° . Volframist hõõgniiti võib kuumendada kuni 2600° . Ka hõõguv metallniit võib ära põleda, seepärast pumbataksegi pirn õhutihjaks. Kuid kõrge temperatuurini kuumendatud metallniit pihustub aja jooksul, s. o. muutub tolmuks, mis sadestub elektripirni klaasseintele. Kaitseks pihustu-

mise vastu täidetakse pirn gaasiga, mis keemiliselt hõõgniidiga ei ühine, näiteks lämmastiku või argoniga.

Hõõgniidi pikkus ja jämedus valitakse nii, et antud pinges juures hõõgniit paraja tugevusega hõõguks, näiteks 15-vattise 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 selleks, et vähendada soojuse kadu täitegaasile, sest hõõgniidi spiraalid kuumendavad üksteist vastastikku. Elektrihõõglampidel on märgitud alati, millise pinge jaoks on antud elektripirn

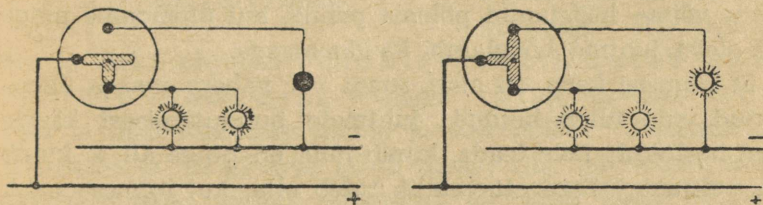
ehitatud. Elektripirne võib tarvitada ainult selle pingega, millise jaoks nad on ehitatud. Kui juhtida näiteks 110-voldisesse elektripirni 220-voldise pingega vool, siis põleb elektripirn läbi, ümberpöörduvalt aga 220 voldi tarvis valmistatud elektripirn 110-voldisel pingel hõõgub nõrgalt. Elektripirnid kruvitakse vastavasisse **pesadesse**, millede kaudu juhitakse vool elektripirni. Kõik elektripirnid lülitatakse vooluvõrku rööbiti, mis võimaldab neid üksikult „süüdata“ ja „kustutada“. Selleks on igal lambil tavaliselt oma **lülit**i ehk **kustutaja**, mille abil elektripirni läbiv vool kas ühendatakse (süüdatakse) või katkestatakse (kustutatakse).

Rühmlüliti võimaldab süüdata ja kustutada hõõglampe osade kaupa ja kõiki korraga. Rühmlülitil on kolm klemmi (39. joon.). T-kujulise metallüliti abil võib kahte neist omavahel ühendada, samuti kõiki kolme.



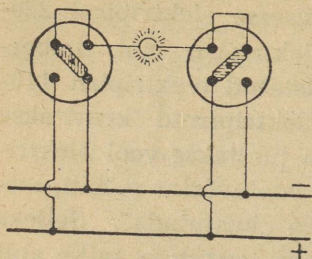
38. joon. Hõõglampide lülitus, *k* ja *l* on lülitid.

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



39. joon. Rühmlüliti.

Elektrihõõglambi leiutas esimesena a. 1876 vene leidur A. N. Lodõgin (1847—1923), alles a. 1879 valmistas ka Edison hõõglambi. Elektervalgustust kasutati esmakordselt samal 1876. a.: vene leidur ja elektrotehnik Pavel Jablotškov (1847—1894) süütas oma „küünla“ ja hakkas sellega valgustama Pariisi kesklinna tänavaid. Järgnevail aastail võeti elektervalgus tarvitusele ka teistes linnades — Londonis, Peterburis jt. Jablotškovi „küünla“ südamikuks on isoleeraine (savi), kummalgi pool sellest söepulgad. Nende otste vahel tekitatakse kaarleek, mis jääb püsima, põletades ühtlasi sütt ja savi. Hiljem asendati „küünal“ kaarleek-lampidega ja suurte hõõglampidega.



40. joon. Lülitamise mitmest kohast.

40. Elektrijuhtmed. Elektrivool juhitakse tarvitajale elektrijaamast jämedate vasktraatide kaudu, mida nimetatakse **pea-** ehk **magistraaljuhtmeiks**. Need vaskjuhtmed kinnitatakse postide külge portselanist või klaasist **isolatorite** abil, et vältida voolu kadu.

Tubased juhtmed on isoleeritud traati ümbritseva kummi kihiga. Kaitseks mehaaniliste vigastuste vastu paigutatakse sageli tubased juhtmed seestpoolt isoleeritud metalltorudesse.

Harilikult on elektervalgustus-seadme juures üks juhtmeist ühendatud maaga, järelikult selle juhtme pingeline suhte on null. Seda juhet nimetatakse ka nulljuhtmeiks. Ainult teisel juhtmel on nullist erinev pingeline. Seetõttu võime hõõglambi põlema panna, kui ühendame pingeline all oleva juhtme hõõglambi kaudu maaga.

Et inimese keha on alati enam või vähem maaga ühendatud, siis tuleb hoiduda juhtmete puudutamisest käega, sest harilikult pole teada, kumb juhe on pingeline all ja kumb on nulljuhe. Eriti ettevaatlik tuleb olla, kui inimese nahk on märg, sest märg nahk juhib elektrit paremini kui

kuiv nahk. Samuti võib tugeva elektrilöögi saada siis, kui palja jalu märjal põrandal olles puudutada pinge all olevat juhet.

Kui vannis olles puudutada pinge all olevat juhet, võib elektrilöök olla nii tugev, et inimese silmapilkselt surmab.

1. Lõigata isoleeritud traadi küljest tükike ja vaadata, mitmekordne kummikiht on ta ümber!

2. Missugused paremused on elektrivalgustusel võrreldes petrooleumvalgustusega?

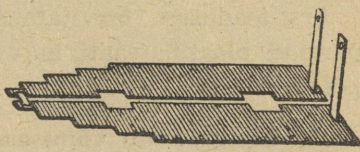
3. Mispärast elektrilamp kustub kohe, kui kest katki läheb?

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

Ex bibl. univ. Tart.

41. Elektritriikraud. Elektrikeetjad ja -pliidid. Elektriahj.

Voolusoojust kasutatakse elektritriikraudades, elektripliitides, elektriahjudes ja paljudes teistes riistades.

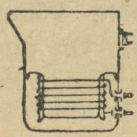
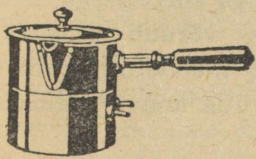


41. joon. Küttekeha.

Elektritriikraua küttekehaks on vilgukiviplaadi ümber keritud kroomnikkeltraat, mis elektrivooluga kuumaks aetakse. Selle traadi pikkus ja jämedus on nii valitud, et traat vooluallikaga ühendamis-

sel kuumeneb paraja temperatuurini. Küttekehalt levib soojus mööda triikrauda laiali.

Samasugused küttekehad on ka elektrikeetjates, elektripliitides ja elektriahjudes.



42. joon. Elektrikeetja.

Elektrikeetja tuleb enne voolu ühendamist veega täita, vastasel korral võib ta liiga kuumaks minna ja läbi põleda. Elektripliidi küttekeha on paigutatud pliidi plaadi alla. Küttekeha kuumenedes voolu toimel, kuumeneb ka pliidi plaat. Sellele paigutatakse keedunõud.

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

Elektriahju peaosaks on spiraali keeratud takistustraata, mis elektrivoolu abil kuumendatakse paraja temperatuurini. Et juhtida soojuskiiri teatud suunas, paigutatakse hõõguva spiraali taha reflektor, nagu seda tarvitatakse valguseallikategi juures.

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

42. 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 džaul tööd,

s. o. lühidalt $1 \text{ vatt} = 1 \frac{\text{džaul}}{\text{sek.}}$. Ka elektrivool võib

tööd teha ja me võime rääkida elektrivoolu võimsusest. Kose langeva vee võimsus võrdub vee langemise kõrguse ja 1 sekundi kestel läbivoolanud veehulga korrutisega. Analoogiliselt sellega **elektrivoolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega**. On pinge mõõdetud voltides, voolutugevus ampreis, siis nende korrutis annab võimsuse vattides. Seega:

$1 \text{ vatt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ amper}$ ehk $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$

Voolu võimsuse ühikuna tarvitatakse ka kilovatti: **1 kilovatt (kW) = 1000 vatti**.

Et leida elektrivoolu poolt teatud aja jooksul tehtud töö hulka, selleks tuleb voolu võimsus korrutada ajavahemikuga, mille kestel vool töö tegi. On voolu võimsus avaldatud vattides, aeg sekundeis, siis annab nende korrutis voolu töö džaulides. Harilikult mõõdetakse elektrivoolu

tööd kilovatt-tundides. **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.

Näide. Kui palju elektrienergiat tarvitab 600-vatine elektrikeetja 20 minuti kestel?

Lahendus. 600 vatti = 0,6 kilovatti; 20 min. = $\frac{1}{3}$ tundi. Seega tarvitatud elektrienergia hulk on $0,6 \times \frac{1}{3} = \frac{1}{5}$ kilovatt-tundi.

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

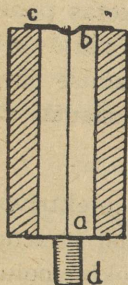
43. Lühiühendus. Juhtmed, mille kaudu elektrivool elektriijaamast juhitakse tarvitajaile, on võrdlemisi jämedad vasktraadid. Seetõttu on nende takistus elektrivoolule väga väike. Pisut peenemad on need juhtmed, mida tarvitatakse tubades elektriseadmes, kuid ka nende takistus elektrivoolule on väike. 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, nii et 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 vi-

gastatud koha kaudu elektrivoolu tugevus liiga suureks. Juhtmed võivad ise hõõguma hakata ja põhjustada tulekahju tekkimist.

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



43. joon.
Kaitsekork.

Elektrivoolu kasutamisel ei tohi tarvitada suurema tugevusega voolu, kui seda lubavad antud kaitsmed. On näiteks kaitsmed määratud ülimalt 6-amprise voolutugevuse tarvis, siis ei tohi 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 olema tarvitatava voolutugevusega kooskõlas.

Tavaliselt voolu tarvitavatel riistadel, elektrihõõglampidel, elektritriikraudadel, elektrikeetjail jne., ei märgita voolutugevust, mida nad tarvitavad, vaid voolu võimsus, s. o. vooluenergia tarvitus 1 sekundis. Et voolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega, siis antud võimsusest ja pingest on kerge arvutada voolutugevus:

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

Voolu võimsus antakse 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 pingel puhul on voolutugevus

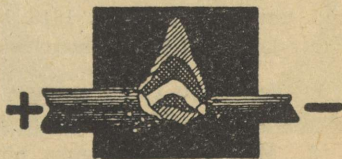
$$\frac{550}{220} = 2,5 \text{ amprit, } 110\text{-voldine pinge aga annab voolu-}$$

$$\text{tugevuse } \frac{550}{110} = 5 \text{ amprit.}$$

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

45. 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 katkestamissädemes traatide otsad ära. Säde värvus sõltub juhtmete aineist, millede vahel säde tekki: vask annab roheka, raud kollakaspunase valguse jne.

Püsivama elektrisäde 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 söepulgad kuumenevad, ühes sellega kuumeneb ka seal lähedal olev õhk. Kui söepulki teineteisest 0,5—2 cm kaugusele eemaldada, ei katke vool, sest kuu-



44. joon. [Kaarleek.]

mendatud õhk juhib elektrit ja tekib kaarekujuline väga hele leek, mida nimetatakse elektri **kaarleegiks** ehk **voltakaareks**. Suurema osa kaarleegi valgusest kiirgab 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 projektsiooniaparaatides, kiirteheitjais (projektoris) ja mujal. 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. **körgustikupäike**, mis on kvartstorus kahe elavhõbedapinna vahel tekitatud kaarleek. Kvarts- ehk ränikivi tarvitatakse siin sellepärast, et kvartsi sulamistemperatuur on väga kõrge. Nii-sugune kaarleek kiirgab suurel määral nähtamatuid, tugeva keemilise toimega **ultravioletseid** kiiri, mida kvarts ei neela. Ultravioletsed kiired mõjuvad kahjulikult silmadele, seepärast tuleb silmi nende eest kaitseda eriliste prillide abil.

Voltakaare ehk kaarleegi avastas a. 1802 vene õpetlane Vassili Petrov (1761—1834). See avastus on elektrotehnikas otse revolutsioonilise tähtsusega, sest temal põhineb metallide sulamine elektriahjus, elektriline keevitamine, elektervalgustus jne. Kuid tsaari-Venemaale 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.

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 lamp põleb iga päev keskmiselt 6 tundi ja üks kilovatt-tund elektrienergiat maksab 40 kopikat?

3. Kui palju maksab 400-vatise elektritriikraua tarvitamine tunnis?

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

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

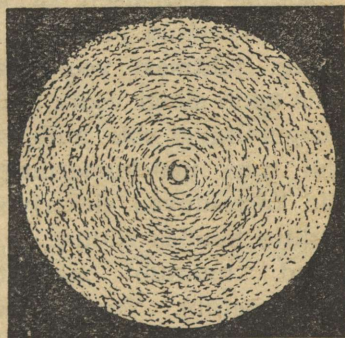
6. Kui suured kaitsmed peavad olema elektriseadmepool, kui vooluenergia tarvitus on 1 kilovatt ja pinge on 220 volti?

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

Elektrivoolu magnetiline toime.

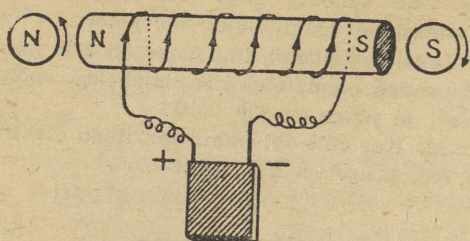
46. **Voolu magnetivälja nähtavaks tegemine.** Et elektrivool avaldab mõju magnetnõelasse, siis peaks ka voolu ümber olema magnetiväli. Selle nähtuse uurimiseks korraldame järgmise katse. Tõmbame läbi papitüki risti jämeda vasktraadi, papitükile puistame rauapuru ja traadist juhime läbi elektrivoolu.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

Tarvitame sirge traadi asemel ringikujulist traati, siis selles voolu mõjul tekkinud magneti tungjooned lähevad risti ringi tasapinnaga. Vooluring moodustab siin väga lühikesel magnetil. Tugevama mag-



45. joon. Magnetivälja voolu ümber.

netivälja annab spiraali keeratud voolujuhe e. solenoid, sest siin kõikide keerdude magnetiväljad liituvad. Nagu



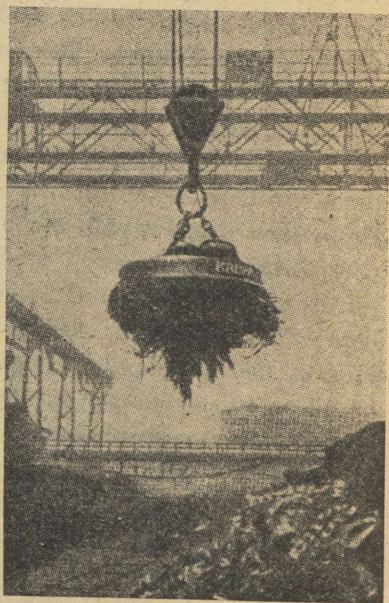
46. joon. Elektromagnet.

le, on vastupidine suunale, ja lõunapoolus selles solenoidi otsas, kus voolu suund ühtib kellaosuti liikumise suunaga.

47. **Elektromagnet.** Palju tugevama magneti saame, kui võtame raudpulga ja mähime spiraalselt ta ümber isoleeritud juhtme. La-
 seme juhtmest voolu läbi, siis tekib siingi voolu ümber magnetitungi väli, mille mõjul raua molekulaarmagnetid korralduvad elektrivoolu suhtes kindlas suunas, s. o. raud muutub magnetiks (magneetub). Voolu katkestamisel kaob tema ümber olev magnetitungi väli, järelilikult ka raua magnetism peaaegu täiesti.

igal teisel magnetil, nii on ka solenoidil, mida läbib elektrivool, kaks poolust. Põhjapoolus asetseb selles otsas, kus voolusuund, vaadates solenoidi otsa pool-

kellaosuti liikumise



47. joon. Kellakujuline elektromagnet.

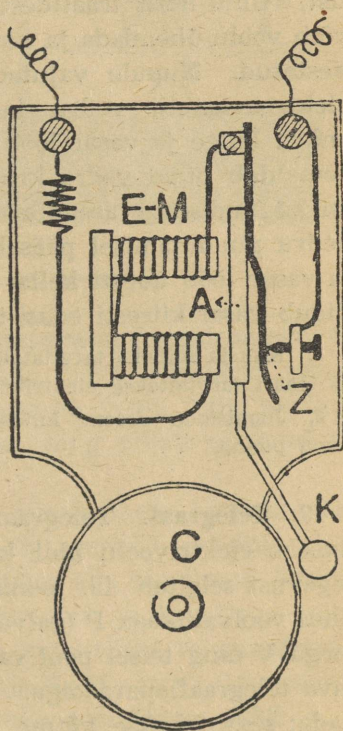
Raudpulka, mille ümber on mähitud isoleeritud juhe, mida mööda läheb elektrivool, nimetatakse **elektromagnetiks**. Elektromagneti poolused määrab voolu magneti tungjoonte suund. Põhjapoolus on seal, kus voolu tungjooned elektromagnetist väljuvad, s. o. selles otsas, kus voolu suund on ümber elektromagneti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

Elektromagnetid on märksa tugevamad kui niisama suured terasmagnetid. Kujult on elektromagneteid väga mitmesuguseid: sirgeid, hobuseraua-kujulisi jne.

Ühte niisugust kella-kujulist elektromagnetit kujutab 47. joonis. Selle magneti üks poolus on pehmest rauast valmistatud kella sees, kuna teiseks pooluseks on teda ümbritsev väline kest. Niisuguseid elektromagneteid kasutatakse tehastes ja mujal rauatükkide eraldamiseks teistest metallitükkidest.

Veel kasutatakse elektromagnetit laialdaselt mitmesuguste riistade ja masinate ehitamisel, nagu elektrikõlisti, telegraaf, telefon, elektrimootor jt.

48. Elektrikõlisti. Elektrikõlisti ehitust ja tegevust kujutab 48. joon. Elektrikõlisti tähtsamaks osaks on elektromagnet E-M. Elektromagneti pooluste lähedal on vedru



48. joon. Elektrikõlisti.

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 elektromagnetist. Ühte neist traatidest on asetatud nupp, mille abil võib voolu ühendada ja katkestada. Harilikult on vool katkestatud. Nupule vajutades ühendatakse vool. Ta läbib elektromagneti, vedru ja kruvi; elektromagnet tõmbab ankru külge ja vasar lööb vastu kella C. Ühes sellega aga eemaldub nüüd vedru kruvist; vool katkeb ja vedru rõhub ankru endisesse asendisse vastu kruvi tagasi. Kruvi ja vedru puudutamisel pääseb vool jälle elektromagnetist läbi ja vasar lööb uuesti kella. Niikaua kui nupule vajutatakse, liigub vasar kiiresti edasi-tagasi — kell kõliseb.

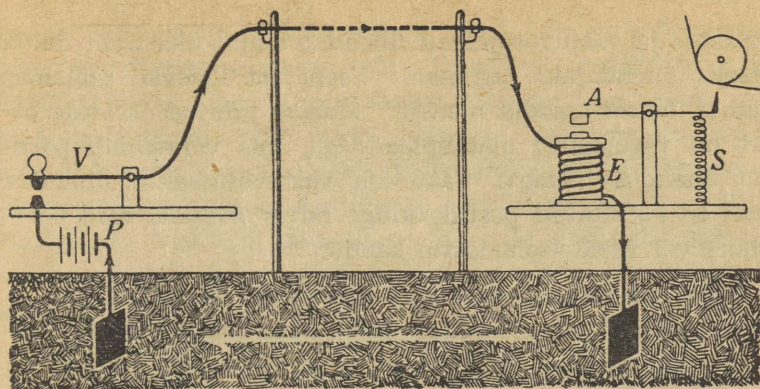
1. Kus ja milleks tarvitatakse elektrikõlistit? Missugust elementi ja traati tarvitatakse elektrikõlistis?

2. Joonistada skeem, kuidas elektrikõlistit mitmest kohast helisema panna.

49. Telegraaf. Telegraafi tarvitatakse teadete edasisaamiseks elektrivoolu abil kauge maa taha. Telegraafiijaama tegevust selgitab 49. joonis, kus ühel pool on **saatejaam** ühes vooluallikaga P (galvaani elementide patareiga) ja võtme V ning teisel pool **vastuvõtuojaam** sõnumeid üleskirjutava telegraafiaparaadiga. **Võtme** ülesanne on voolu ühendada; seda tehakse võtme allavajutamisega.

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

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



49. joon. Telegraafijaama kavand.

jaama 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 **morsetähestikuks**. Selle leiutise tegi Morse 1832. a.

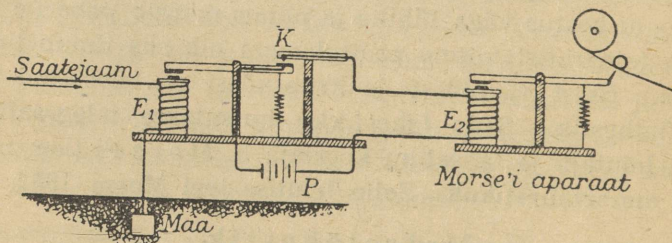
Morsetähestik.

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 vastuvõtujaamu 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 vastuvõtujaamu ühendav traat on kinnitatud postide külge mitte otseselt, vaid portselan- või klaas-isolaatorite kaudu.

Telegraafi-saateaparaat on ühendatud vastuvõtuaparaadiga metalljuhtmete kaudu. Mida kaugemal on vastuvõtujaam 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 pikuse 1 mm² ristlõikega vasktraadi takistus on 0,017 oomi. Tallinna ja Tartu vahel tõmmatud 1 mm² ristlõikega vasktraadi takistus on juba üle 3000 oomi.

Seetõttu muutub voolutugevus niivõrd väikeseks, et see enam ei suuda liikuma panna telegraafiaparaadi kirjutamis-seadist. Et kõrgepingelise vooluallika tarvitamine on kallis



50. joon. Relee: E_1 — relee elektromagnet, E_2 — Morse'i aparaadi elektromagnet.

(nõuab paremat juhtme isolatsiooni), siis selle asemel tarvitatakse vastuvõtujaamas nn. **releed**. Relee tarvitamisel läbib vool elektromagneti E_1 (50. joon.), mille ülesanne on ainult kohapealse voolu ühendamine. Kirjutamiseseadise

paneb liikuma juba kohapealne vool. Telegraafijuhtmeteks tarvitatakse vask- või tsingitud raudtraati. Et vältida voolu kadu, isoleeritakse traadid portselan- või klaas-isolaatorite abil nagu tehnilise elektrivoolu seadmetegi juures. Üle mere telegraafimisel 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 tarvitusele võetud maa-aluseid juhtmeid õhujuhtmete asemel, sest vastasel korral tuleks linna tänavail 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.

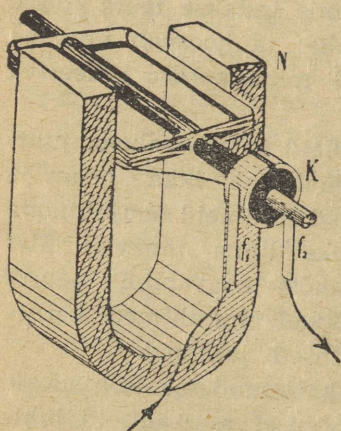
Telegraafiaparaadid on nii ehitatud, et üks ja sama aparaat on ühtlasi saate- ja vastuvõtuaparaadiks.

Praegusajal tarvitatakse laialt Hughes'i (loe: juuz) nn. **tüüprõhu-telegraafiaparaate**, mis otseselt edasi annavad tavalisi kirjamärke.

Traadita telegraafi (raadio) leiutajaks on vene füüsik Aleksander Popov (1859—1905), kes juba a. 1895 ehitas traadita- ehk säde-telegraafi aparaadi. Tsaarivalitsus ei pidanud seda leiutist tähtsaks ega toetanud Popovi aineliselt. Nii ei saanud Popov oma leiutist täiendada. Seda tegi itaallane Marconi, keda ekslikult loetakse traadita telegraafi (raadio) leiutajaks. Aastal 1945 võisime tähistada juba raadio 50-ndat juubeliaastat.

1. Mis tähtsus on telegraafil?
2. Miskujulised on telegraafitraatide isolaatorid?
3. Mis paremused ja halbused on maa-alustel kaablitel võrreldes postidele tõmmatud nn. õhuliinidega?

50. Elektrimootor. Magnetnõel kaldub oma tavalisest põhja-lõuna suunast kõrvale, kui asetada temaga rööbiti juhe ja siis sellest juhtmest läbi lasta 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.



51. joon. Raami liikumine magnetiväljas.

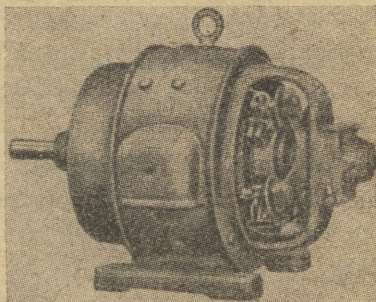
Asetame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, mis võib horisontaalse telje ümber pöörelda (51. joon.). Raamile on keritud rida traadikeerde ehk mähis.

Olgu esialgu raami tasapind horisontaalne. Kui nüüd juhtida raamile keritud mähisest läbi elektrivool, siis pöörduv raam magnetivälja toimele ja võtab vertikaalse asendi. Seda liikumist võime järgmiselt

seletada. Iga pooli ehk mähist, mida läbib elektrivool, võime vaadelda kui magnetit (vt. § 46), mille põhjapoolus asub selles otsas, kus, vaadates mähise poole, voolusuund on vastupidine kellaosuti liikumise suunale, ja lõunapoolus selles mähise otsas, kus voolusuund ühtib kellaosuti liikumise suunaga. On raam horisontaalne, siis on selle üks poolus mähise ülemises otsas, teine alumises otsas. Nendes poolustesse mõjuvad kahel pool olevad magnetipoolused tõmbavalt või tõukavalt, mistõttu mähis ühes raamiga liikuma hakkab.

Et raami liikumist magnetiväljas kestvaks muuta, tuleb iga kord, kui raam võtab vertikaalse asendi, muuta raamile keritud mähise voolusuunda. Selleks on raami pöör-

lemisteljel seadis, mida nimetatakse **kollektoriks**. Kollektoriks on teljega ühendatud isoleeriv silinder, millele on kinnitatud üksteisest isoleeritud metallpoolringid ehk lamellid. Need lamellid on ühendatud mähise traadi otstega. Lamelle puudutavad vetruvad harjad ja nimelt kumbagi lamelli ise hari, mille kaudu juhitakse vool raamile keritud mähisesse. Harjad ja lamellid on nii paigutatud, et iga kord, kui raam jõuab vertikaalsesse asendisse, libisevad harjad ühelt lamellilt teisele (51. joon.), nii et muutub voolu suund mähises. Nüüd ei jää raam selles asendis



52. joon. Elektrimootor.

seisma, vaid liigub edasi. Nii saavutataksegi raami kestev 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, mida tugevam on magnetiväli. Kõik magneti tungjooned koonduvad ankrumähisesse, kui ta tehakse raamsüdamiku ümber, millel on omadus koondada magneti tungjooni. Ühe mähisega ankru käik on ebahütlane, samuti on sellel vertikaalses asendis surnud punkt, s. o. asend, kus magnetiväli ei mõju ankrusse teda pöörates. Seepärast varustatakse ankur rohkem kui ühe mähisega, vastavalt sellele suurendatakse kollektori lamellide arvu: kahe mähisega ankru puhul on kollektoril neli lamelli jne. Elektrimootori magnetitena tarvitatakse elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja kui terasmagnetid.

Elektrimootor on seadis, mis muundab elektrienergia mehaaniliseks energiaks.

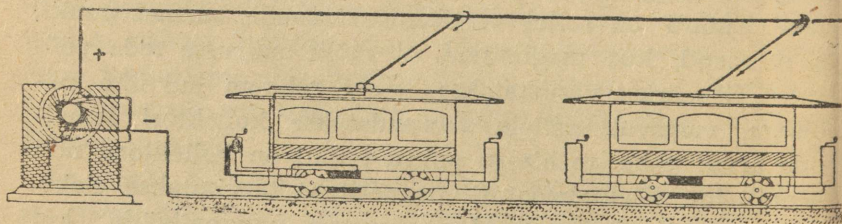
Elektrimootoreid ehitatakse väga mitmesuguses suuruses, $\frac{1}{10}$ ja isegi vähemast hobusejõust kuni mitme tuhande hobusejõuni. Tavaliselt märgitakse elektrimootori võimsus kilovattides.

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

Mootorisse, mis paneb liikuma elektritrammi, juhitakse elektrivool postide külge kinnitatud juhtmete kaudu, mida puudutab tramm liikumisel trammivaguni laele kinnitatud metallvibu. Mootorit läbinud vool juhitakse vaguni rataste ja tramm rööbaste kaudu tagasi elektrijaamas olevasse dünamosse.

Uuemal ajal tarvitatakse elektritrammi ühenduse pidamiseks mitte üksnes ühe ja sama linna osade vahel (Eestis näiteks Tallinna ja Nõmme vahel), vaid ka kaugel olevate linnade vahel. Siis lastakse käiku mitmest vagunist koosnevad elektrirongid. Eriti laialt tarvitatakse elektrironge aururongide asemel seal, kus elektrienergia on odav. Nõukogude Liidus on elektrifitseeritud raudteid üle 3000 km.

Elektrimootori ankru takistus on üldiselt väga väike. Et suurte elektrimootorite ankrud kohe pärast voolu ühendamist ei saavuta



53. joon. Voolu juhtimine elektritrammi.

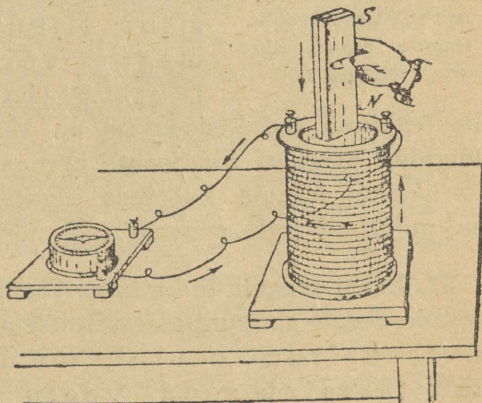
küllalt suurt kiirust, siis algul lülitatakse vooluahelasse reostaat, mille takistust pikkamööda vähendatakse, ja kui ankru pöörete arv on juba küllalt suur, siis lülitatakse reostaat välja. Sellega kaitsakse elektrimootori ankrut läbipõlemise eest, mis võib tekkida väga suure voolutugevuse puhul. Niisugust reostaati nimetatakse ka käivitajaks. Kui aga ankur pöörleb suure pöörete arvuga, siis, nagu järgmises peatükis näeme, tekib vastusuunaline induktsoonipinge, mis mõjub pidurdavalt voolu suurenemisele.

1. Missugused paremused on elektrimootoril võrreldes aurumasinaga ja plahvatusmootoriga?
2. Mitu amprit elektrivoolu tarvitab elektrimootor võimsusega 1,1 kilovatti, kui see mootor on ehitatud pinge jaoks 220 volti?
3. Kui suur on elektrivoolu võimsus, kui ta 110 V pinge puhul tarvitab 20 amprit voolu?

Induktsioonvool ja generaator:

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

Ühendame pooli mähise (mitmest traadikeerust koosneva spiraali) traadi otsad tundliku galvanoskoobiga (54. joon.). Pistame nüüd poolisse tugeva magnetipooluse: magnetipooluse liikumise hetkel paneme tähele, et galvanoskoop näitab voolu. Kui magnet poolist välja võtta, siis näitab gal-

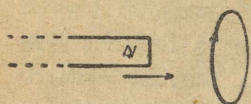


54. joon. Induktsioonvoolu tekkimine poolis.

vanomeeter magneti liikumise hetkel vastusuunalist elektrivoolu. 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. Siis suuremas poolis tekib iga kord elektrivool, kui väiksemas poolis voolu ühendada või katkestada, suurendada või vähendada.

Need ja teised sellelaadilised katsed näitavad, et kinnises poolis tekib alati elektrivool, kui muutub poolist läbiminevate magneti tungjoonte hulk. Nii viisi juhtmes tekitatud elektrivoolu nimetatakse **indutseeritud** ehk **induktsioonvooluks**, nähtust



55. joon.

Lenzi reegel.

Arvesse võttes voolu suunda, esineb siin tõukumine.

ennast aga **elektromagnetiliseks induktsooniks**. Katsed näitavad ka, et induktsoonvool poolis on seda tugevam, mida suurem on pooli keerdude arv ja mida kiiremini liigub pooli lähedal magnet või teine pool, mida läbib elektrivool. Üldse **poolis** tekkinud induktsoonvool on võrdeline ajaühiku kestel

lõigatud magneti tungjoonte arvuga. Induktsioonvool tekib ka üksikus traadis, kui teda liigutada magnetiväljas, kuid sel puhul on indutseeritud vool nõrk.

52. Lenzi reegel. Induktsioonvoolu suunda võib määrata mitme reegli abil, milledest lihtsam on Lenzi reegel: Indutseeritud voolul on niisugune suund, mis takistab seda voolu tekitavat liikumist. Lähendame poolile näiteks magneti põhjapooluse,

siis tekib poolis induksioonvool, mille suund on säärane, et magneti põhjapoolusele lähemas pooli otsas tekib põhjapoolust tõukav poolus, s. o. põhjapoolus. Ümberpöördult, viime poolist magneti põhjapooluse eemale, siis induksioonvoolu suund on säärane, et pooli lähemas otsas on lõunapoolus, mis takistab magneti põhjapooluse eemaldamist.

Magnetit või pooli liigutamiseks on vajalik töö. Selle mehaanilise töö arvel tekib induksioonvool. Nii muundub siin mehaaniline energia elektrienergiaks.

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

53. Generaator. Tehnikas tarvitatakse kahte liiki elektrivoolu: **alalisvoolu** ja **vahelduvvoolu**. Alalisvool on niisugune, kus voolu suund ei muutu, kuna vahelduvvoolu suund muutub perioodiliselt. Vooluallikatena 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 (§ 50). Pöörame raami seal telje ümber, siis tekib raamile keritud traadis induksioonvool, sest pöörlemisel lõikavad traadid magneti tungjooni. Et liikuvalt raamilt võtta elektrivoolu, seks ühen-



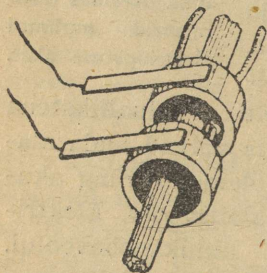
56. joon.

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

dame mähise traadi otsad raami teljel olevate metallrõngastega. Neid rõngaid puudutavad metallvedrud või harjad, millede kaudu juhitakse tekkinud elektri- vool välisjuhtmetele.

Raamile keritud mähises raami pöörlemisel tekkinud induktsioonvool muudab iga kord oma suunda, kui raam jõuab vertikaalsesse asendisse, mida võib järeldada ka Lenzi reeglist. Seega tekib siin vahelduvvool. Et saada alalis- voolu, selleks asendame pöörlemisteljel olevad metall- rõngad üksteisest isoleeritud poolrõngastega ehk lamelli- dega ja paigutame need pöörlemisteljele nii, et iga kord, kui muutub induktsioonvoolu suund raamis, libiseb hari ühelt lamellilt teisele. Viimast seadist nimetame **kollektoriks**. Nii- viisi muutub voolu suund küll mähises, kuid välise ahela osas jääb ta muutumatuks. Kirjeldatud viisil ongi ehi- tatud alalisvoolu generaator ehk **dünamo**.

Dünamomasin koosneb seega nagu elektrimootorgi väl- jamagnetitest, mis annavad tugeva magnetivälja. Selles magnetiväljas liigub nn. **ankur**, mil- lele keritud traatmähis lõikab tung- jooni ja milles siis tekib indukt- sioonvool.



57. joon. Rõngaskollektor.

Väljamagnetitena tarvitatakse pea- miselt elektromagneteid, mis anna- vad tugevama magnetivälja kui terasmagnetid. Alalisvoolu dünamo väljamagneteid ergutatakse see- juures sama vooluga, mis tekib ank- rus ankru pöörlemisel.

Vahelduvvoolu generaatori kollektor koosneb rõngas- test (kontaktrõngastest), mida puudutavad kestvalt harjad (57. joon.).

Vahelduvvoolu generaatoris tavaliselt pöörleb väljamagnet, mida nimetatakse rootoriks, kuna raudsüdamikkuudele keritud poolid, milledes indutseeritakse elektrivoolu, 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. Rotoorit, mis samuti koosneb raudsüdamikkuudele keritud poolidest, ergutatakse alalisvooluga, mis juhitakse sinna rõngaskollektorite kaudu.

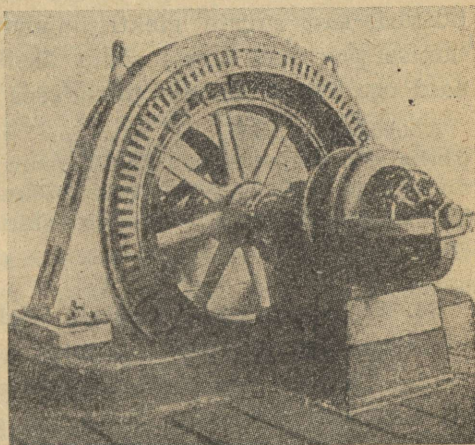
Tehnikas tarvitatavas vahelduvvoolus liigub vool 50 korda sekundes ühes suunas, 50 korda vastassuunas. Seega on ta sagedus 50 herti.

Dünamo ehitus on samasugune nagu elektrimootorilgi. Seepärast võib dünamomasinat tarvitada elektrimootorina, ja ümberpöördult: elektrimootor, kui ta ankrut ringi ajada, töötab dünamona. Mõlemaid neid nimetatakse elektrimasinaiks.

Generaatoreid kasutatakse elektrivoolu andjatena elektrijaamades ja mujal. Praegusajal ehitatakse Nõukogude Liidus generaatoreid kuni mitmekümne tuhande kilovattise võimsusega.

Elektrijaamades pannakse **generaato**reid käima auru, vee jne. jõul. Traatide kaudu juhitakse elektrivool sealt tarvitajaile.

Võrreldes auru, veekose ja teiste energia-allikatega on elektrienergiat see paremus, et teda võib hõlpsasti juhtida traatide kaudu



58. joon. Vahelduvvoolu generaator.

kauge maa taha, kuna näiteks veekose energia abil liikuma pandud veeturbiini energiat võib otseselt kasutada ainult kohapeal. Selletõttu muudetakse viimase ajal suuremate jõumasinate energia 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 energiaga töötavad masinad käivad või seisavad. Seepärast muundatakse suuremates tehastes ja vabrikutes ka kohapealsete jõumasinate energia elektrienergiaks 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 üksikult seisma panna. Muidugi on seejuures tarvilik iga üksiku masina käimapanemiseks omaette elektrimootor.

Ka väiksematele töökodadele toob elektrivool suuri hõlbustusi, sest suurte elektrijõujaamade elektrivoolu tarvitamisel pole neil tarvis enam üksikult muretseda jõumasinaid ega kanda sellega ühenduses olevaid lisakulusid.

Nõukogude Liidus on hiiglasuur elektrijõujaam Dnepri jõel (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.

54. Transformaator. Energia ülekanne kauge maa taha. Elektrienergia praktilisel kasutamisel on iga riist ehitatud teatud kindla pingega jaoks. Elektrijaama poolt antav pinge on harilikult 220 volti. Niisuguse pingega jaoks on ehitatud ka hõõglambid, triikraud, keetjad, mootorid ja teised riistad. On aga mõni riist kasutatav väiksema pingega juures,

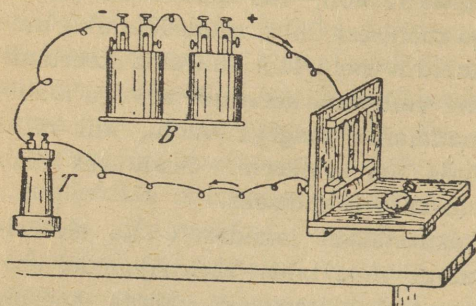
näiteks elektrikõlisti, mis tarvitab ainult mõnevoldist pinget, siis tuleb kõrgem pinget (220 V) ümber muuta ehk transformeerida madalamaks. Seda tehakse eriliste riistade, nn. **transformaatorite** abil, mis koosnevad kahest erineva keerdude arvuga mähisest ühise raudsüdami ümber. Laseme näiteks vahelduvvoolu läbi suurema keerdude arvuga mähise, siis saame väiksema keerdude arvuga mähisest nii mitu korda madalama pingega voolu, kui mitu korda on tema keerdude arv väiksem. Seejuures jääb aga voolu võimsus enam-vähem endiseks.

Transformaatoreid kasutatakse laialdaselt ka elektrienergia ülekandmisel kauge maa taha. Elektri jaamad ehitatakse sinna, kus generaatori käitamiseks vajalik energia on turba, kivisöe või veejõu näol kohapeal olemas.

Elektri jaamades tekitatakse generaatorite abil elektrivool pingega 1000—5000 volti. See elektrivool transformeeritakse elektri jaamades transformaatorite abil kõrgepingevooluks pingega kuni 100 000 V ja vahel veel enam. Elektri jaamast juhitakse elekter tarvitamiskohtadesse traatide abil. Kõrgepingevooluks transformeeritakse elektrivool sellepärast, et kõrgepinge puhul võib peenemaid traate tarvitada, mis on majanduslikult kasulik. Elektrienergia edasisaatmisel traatide kaudu esineb paratamatult energia kadu juhtmete soojenemise tõttu, mis on kõrgepinge puhul väiksem. Kõrgepingevool juhitakse eriliste kõrgepinge isolaatorite abil isoleeritud juhtmete kaudu tarvitamiskohtadesse, kus ta vastava transformaatoriga muudetakse madalapingeliseks, tavaliselt 220- või 110-voldiseks vooluks.

Kõrgepinge juhtmete puudutamine on surmav. Ka kaudne, näiteks puuteiba abil, kõrgepinge puudutamine on elukardetav. Et vahelduvvoolu pinget on transformaatori abil hõlpus muuta, siis eelistatakse tehnikas vahelduvvoolu alalisvoolule.

55. **Telefon.** Telefoni tarvitatakse kõne edasisaatmiseks traadi kaudu. Telefoni kaudu kõneldes hoiame suu **mikrofon** ees. Lihtsat mikrofoni kujutab 59. joonis. Siin on puu-
lauakesele kinnitatud



59. joon. Mikrofon.

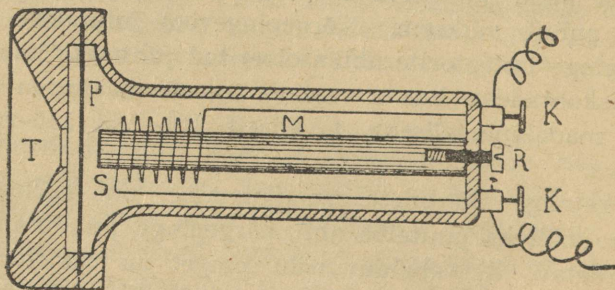
lauakesele kinnitatud kaks söepulka, mis on ühenduses elektripatareiga. Neile söepulkadele tuginevad lõdvalt kaks teist söepulka.

Rääkimisel tekivad häälelained, mis panevad pisut liikuma ka söepulki. Liiku-

des puudutavad nad rohkem või vähem teineteist, nii et pulgakesi läbiv elektrivool leiab kord suurema, kord väiksema takistuse. Tekib muutliku tugevusega elektrivool, mis juhitakse vastuvõtuaparaadi kuuldetorusse.

Nüüdisajal tehnikas tarvitav mikrofon ei koosne söepulkadest, vaid selleks on söekuulikestega täidetud kapsel. Nõnda on siin hulk puutekohti, milledes takistus voolule häälelainete mõjul muutub.

Kuuldetoru läbilõiget kujutab 60. joonis. Ta peaosaks on magnetipulk **M**, mille ühe otsa ümber on mähitud isolee-



60. joon. Telefoniaparaadi kuuldetoru.

ritud 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 külgetõmme raudplekile kord suureneb, kord väheneb, sest elektrivoolu tugevus võngub. Raudplekk hakkab võnkuma, tehes järele kõneleja hääle võnkeid mikrofonis.

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

Et võimalik oleks samast kohast ise rääkida ja teist kuulata, on mikrofon 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 elektrikõlistisse, mis siis kõlisema hakkab.

Nagu telegraafi puhul, nii võib ka siin tarvitada ühte traati, kui teist traati asendab maa.

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

56. 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 kan-

nab telefoniaparaadi numbrit. Soovib abonent (telefonitarvitaja) ühendust teisega, siis kõlistamisega hakkab telefoni-keskjaamas tema numbri kohal olev hõõglamp põlema, mille järel keskjaama ametnik annab ühenduse soovitud telefoniaparaadiga. Selle ühendusega paneb ta ka väljakutsutud telefoniaparaadi kõlisti helisema. Kui väljakutsutud telefoniabonent võtab telefoni-kuuldetoru vastava konksu otsast, siis lülitab ta seega kõlisti voolu välja ja lülitab sisse mikrofoni ja kuuldetoru.

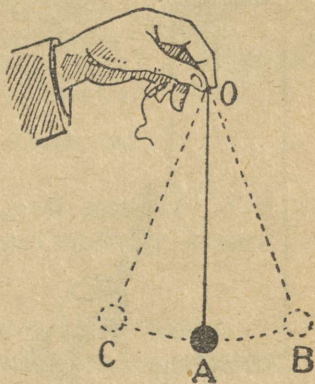
Automaat-keskjaam ühendab telefoniaparaate automaatselt, kui pöörata numbriketast, millega on varustatud iga telefoniaparaat.

Hääl.

Hääle tekkimine ja levimine.

57. **Võnkliikumine.** Valmistame pendli. Selleks võib olla näiteks niidi otsa riputatud tinakuul. Tasakaaluolekus seisab pendel püstloodis (61. 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 vasakul pool pea-aegu 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 **täisvõnkeks**, liikumist ühest äärmisest asendist teise — **poolvõnkeks**. Äärmise asendi kaugus tasakaaluasendist on võnke **amplituud** ehk **ulatus**. Ajavahemikku, mille kestel pendel teeb ühe täisvõnke, nimet. **täisvõnke kestuseks** ehk **perioodiks**. Teeb pendel näiteks ühe täisvõnke 0,5 sek. jooksul, siis on selle pendli täisvõnke kestus 0,5 sek. Tahame teada, mitu võnget teeb keha ühe sekundi jooksul ehk teiste sõnadega, kui suur on ta **võnkearv** ehk **sagedus**,



61. joon. Pendli võnkumine.

siis vaatame, mitu korda mahub täisvõnke kestus ühte sekundisse. Antud juhul saame: $1 : 0,5 = 2$, s. o. võnkearv on 2 ehk keha teeb 2 täisvõnget ühes sekundis. Ümberpöörduvalt, on võnkearv näiteks 10, siis on täisvõnke periood 0,1 sek. Tähistades üldises kujus täisvõnke kestuse sekundites ja võnkearvu vastavalt tähtedega T ja n, leiame, et

$$n = \frac{1}{T} \text{ ehk } T = \frac{1}{n}. \quad \text{Seega } n \cdot T = 1.$$

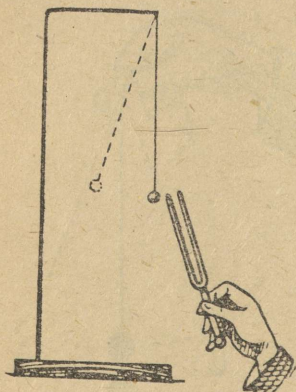
1. Katsuda määrata, kui suur on pendli võnke kestus, kui pendli pikkus on 1 m, 0,25 m, 4 m. Kas pendli võnke kestus sõltub pendli kehast?

2. Kus tarvitatakse pendlit?

58. Hääle tekkimine ja allikad. Lüües heliharki või pingule tõmmatud viiulikeelt, kuuleme nende helisemist. 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 võnguvad.

Lähendame heliseva helihargi peenikese niidi otsa seotud kergele kuulikesele: kokkupuutumisel kargab kuulike eemale. Pistes heliseva helihargi vette, näeme, et ta pritsib vett laiali.

Heliseva helihargi kiiret 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.



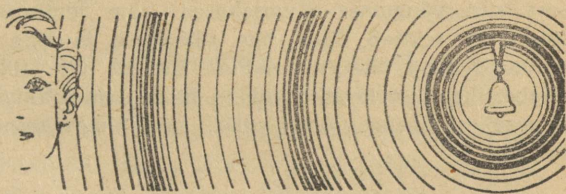
62. joon. Võnkuv helihark.

Hääleallikaks on alati mingisugune võnkuv keha. Kui hääleallikas võngub tugevasti, ent väga lühikest aega, siis kuuleme seda pauguna (piitsalöök, vasaralöök, püssipauk). Pikemat aega võnkuv keha tekitab mürä (vankrimürin, kolin) või heli (toon). Heli tekib, kui võngub ühtlaselt viiulikeel, helihark, ühte otsa pidi kruustangide vahele kinnitatud terasleht või sukavarras. Üldse heli tekib, kui hääleallika võnkumine on korrapärane ja ühtlane.

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. Heli kõrgus sõltub sellest, kui kiiresti helisev keha võngub.

59. Hääle levimine. Kui kivi langeb vaiksesse vette, siis kivi langemise kohast levivad veepinda mööda veelained ringikujuliselt laiali. Veelaine tekitajaks oli siin kivi, mis andis tõuke veepinnale. Veelainete kaudu levib tõukeenergia, mis

kivi andis veele, mööda veepinda edasi. Igas veelaines näeme laineharja, mis ulatub kõrgemale veepinna tasemest, ja



63. joon. Häälelained.

laine põhja, mis on veepinna tasemest madalam. Kaugust laineharja keskkohast kuni järgmise laineharja keskkohani nimetatakse **lainepikkuseks**.

Puistame veepinnale kergeid kehakesi, näiteks puu- või korgipuru. Laine levimisel veepinnal märkame, et veepinnal ujuvad kerged kehakesed võnguvad ainult üles-alla.

Siit järeldame, et laine levimisel veepinnal veeosakesed ei liigu lainega kaasa, vaid võnguvad üles-alla. Nende võnkumine sarnaneb pendli võnkumisega.

Laines veepinnal võngub vesi risti laine levimissuunaga. Säärast lainetust nimetatakse **ristilainetuseks**.

Heliseva keha kiire 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 on täidetud õhuga ja mille ühes otsas võngub mingi keha, näiteks terasplaat. Plaat, liikudes toru sissepoole, lükkab õhusakesi edasi. Seejuures ei liigu kogu õhusammus torus edasi, vaid plaadi lähedal olev õhk surutakse kokku. Kokkusurutud 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 ongi häälelained. Häälelained on **pikilainetus**, sest siin võnguvad õhusakesed laine levimissuunas. Iga plaadi täisvõnge tekitab õhus ühe tihenduse ja ühe hõrenduse, kokku annavad need ühe häälelaine. Kaugus ühe tihenduse keskkohast naabertihenduse keskkohani on hääle **lainepikkus**. Ka siin ei kanta õhusakesi häälega ühes edasi, vaid õhusakesed võnguvad edasitagasi.

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

Võtame elektrikõlisti ja paneme ta õhupumba kupli alla (64. joon.). Paneme kõlisti kõlisema. Hääl on hästi kuulda. Nüüd pumpame kupli alt õhu välja. Mida hõredamaks muutub kupli all olev õhk, seda tumedamaks lä-

heb kõlin. On kuplialune õhust hästi tühjaks pumbatud, kaob kõlin peaaegu hoopis ära, sellele vaatamata, et vasar endiselt kõlisti pihta taob. See katse näitab: hääle kuulmiseks on tarvis, et heliseva keha ja kuulja kõrva vahel oleks mingi aine, näiteks õhk, milles tekivad häälelained. Tühjas ruumis hääle ei teki.

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 jahtunud, võib tähele panna, et kolvi raputamisel kellukese helisemist ei ole kuulda. Kuum aur jahtumisel tihenes veeks, mistõttu kolvis tekkis peaaegu tühi ruum. Lastes äga kolbi õhku, võib selgesti kuulda kellukese helisemist.



64. joon. Hääle ei teki õhuta ruumis.

60. Hääle kiirus. Enne kui kuuleme kaugemal sõitva veduri vile, näeme veduri vilest välja tulevat auru. Puu- või kiviraiujat eemalt vaadeldes näeme, et kirve (vasara) löögi hääle ei levi õhus silmapilkselt, 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 15° temperatuuril on $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ (umbes $\frac{1}{3} \frac{\text{km}}{\text{sek}}$).

Temperatuuri langusega väheneb hääle kiirus, nii et 0° juures on hääle kiirus $331 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Hääle levimiskiirus vedelais ja tahketes keha-des on märksa suurem kui õhus. Nii näiteks on hääle kiirus vees $1450 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, rauds 5100 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ja kuusepuus 5200 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$.

1. Kui kaugele levib hääl õhus 3, 6, 10 sek., 10 min. jooksul?
2. Valguse kiirus on $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Võrrelda seda hääle kiirusega.
3. Katsuda mõõta hääle kiirust! Kaks vaatlejat asugu teineteisest 1 km kaugusele. Hääle ja valguse tekitajaks võib kasutada paukrevolvrit.
4. Mitu korda levib hääl vees (rauas, klaasis) kiiremini kui õhus?
5. Kui kaugel on pikne, kui müristamine kuuldub 6 sek. pärast välgulöömist?
6. Välg 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 sõltub hääle kiirus hääle kõrgusest?
9. Kas Kuu peal tekkinud plahvatuse mürinat võiks kuulda Maa peal?

61. Hääle kõlavärv ehk tämbr. Peale kõrguse ja tugevuse erinevad hääled üksteisest ka oma kõlavärvi 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. 65. joonis kujutab keele võnkumist neljas osas. Punktides A, E, D, C ja B on keele

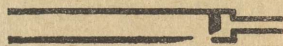


65. joon. Keele võnkumine osade kaupa.

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, siis tuleb selgesti kuuldavale heli, mida

annab keel võnkudes kahes osas. Helid, mis tekivad keele osade võnkumisel, on kõrgemad kui põhitoon, neid nimetatakse ületoonideks. Põhitooni annab võnkumine, milles paispunkt asub keele keskel, kuna mõlemad sõlmpunktid on keele otstes. Põhitooni saadavad alati ületoonid.

Puhudes toru (katseklaasi, võtme, putke jne.) lahtise ava ees, kuuleme heli. Korra sedasid mitmesuguse pikkusega torudega, leiame, et mida pikem on toru, seda madalam on heli.



66. joon. Huulvile.

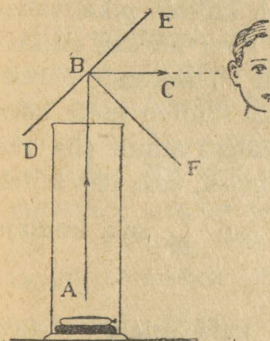
Neis katseis ei helise torud, vaid torudes olev õhk. Käega toru seinu katsudes ei märka me mingit liikumist.

Puhkpillides ehk viledes tekitataksegi hääl sellega, et pannakse võnkuma neis olev õhk.

Viledes on tähtsamad huul- ja keelvile. Oreli huulvilet kujutab 66. joonis. Puhumisel voolab õhk läbi kitsa pilu vastu teravservalist 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 ületoonid. Hääle kõlavärv oleneb sellest, missugused kaashelid on põhitoonil.

62. Hääle peegeldumine. Kaja. Mõõda pörandapinda vee-remas pandud kummipall liigub vastu seina pörgates tagasi.



67. joon. Hääle peegeldumine.

Katsuda määrata katseist, missuguses suunas ja kuidas pörkab tagasi pall tennis-, koroon- 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 häälained, kui nad langevad näiteks müürile, puudele, metsaservale jne. Seda märkame, kui huigata mitte väga kaugel oleva müüri või metsa

ees: hääl kostab sealt kajana tagasi. Kaja on peegeldunud hääl.

Hääle levimissuuna muutumist võime kergesti tähele panna järgmises katses. Asetame lauale taskukella ja katame ta kõrge toruga (67. joon.). Kella tiksumise hääl tungib vabalt üles suunas AB. Rõhtsuunas eemal pole tiksumist kuulda.



68. joon. Kõnetoru.

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

Häälelained, põrgates vastu peeglit DE, muudavad oma levimissuunda ehk peegelduvad. Hääl peegeldub samal viisil kui kummipallgi, s. o. langemissuund ja peegeldumissuund moodustavad peegli tasapinnale langemispunktis B tõmmatud ristjoonega BF võrdsed nurgad ABF ja CBF.

Peegeldunud 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 on enam kui 20 m kaugusel, sest siis kulub peegeldunud häälele $\frac{2 \cdot 20}{340}$ ehk rohkem 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. Võrreldes tasast kõnet kinnises ruumis ja väljas! Kus kohal on see

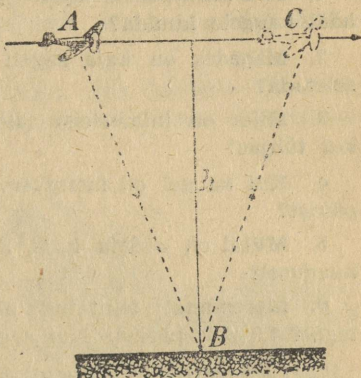
paremini kuuldav? Suurtes ruumides, nagu näit. võimlais, jõuab kaja hiljemini tagasi, mistõttu hääl muutub segaseks (segav järelkõla tühjades saalides).

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

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

Sel nähtusel põhineb nn. kajalood meresügavuse ja lennuki kõrguse määramiseks. Laevapõhjas on hääleallikas, millelt levib hääl mere põhjani, kust ta tagasi peegeldub. Seks kulunud ajavahemiku märgib aparaat automaatselt üles. Nii leitud ajavahemikust ja hääle kiirusest arvutatakse meresügavus. Samuti määratakse lennuki kõrgust. Näiteks kui peegeldunud hääl jõudis maapinnalt tagasi lennukisse 10 sek. pärast (õhu temperatuur 0°), siis on lennuki kõrgus maapinnast $\frac{331 \cdot 10}{2} = 1655$ m.

Hääle peegeldumist kasutatakse **kõne- ja kuuldetorus**. Kõnetorus muutuvad häälelained peegeldumise teel toru seinatel peaaegu ühesuunalisteks. Siis on hääleenergia haju-



69. joon. Lennuki kajaloodi skeem.

mine väike, sest kuuldetorru sattunud häälelained peegeldumisel toru seintel koonduvad ja kõrva satub hääleenergiat rohkem.

1. Kus kasutatakse kõne- ja kuuldetorusid? Miks on toru kaudu häääl 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 plahvatuse häääl kostab merepõhjust 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 häääl jõudis lennukile tagasi 5 sek. pärast. Kui kõrgel umbes on lennuk? (Lahendamisel kasutada 69. joon. Hääle kiirus on $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$.)

Inimese häääl ja kuulmine.

63. **Inimese hääleorgan.** Inimese hääleorgani tähtsamaks osadeks on kaks elastset lihast, mida nimetatakse häälepaelteks. Harilikus olekus on häälepaelad lõdvad ning seetõttu pääseb sisse- ja väljahingatav õhk neist vabalt läbi, hääält tegemata. Rääkimise või laulmise puhul tõmbuvad häälepaelad pingule ja liginevad teineteisele, nõnda et nende vahele jääb ainult kitsas häälepilv. 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 sõltub esijoones häälepaelte pingulolekust, mida võib muuta, samuti ka häälepaelte ehitusest (mehe häääl, lapse häääl). Häälekõla tuleb 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.

64. **Kõrv ja kuulmine.** Inimese kuulmisorganiks on kõrv. Kõrv koosneb kolmest osast: välis-, kesk- ja sisekõrvast. Väliskõrvaks on kõrvaleht ühes kuulmekäiguga.

Mis ülesanne on kõrvalehel? Suruda kuulates kõrvalehed vastu pead! Pöörata nad ettepoole! Hoida peopesad kõrvalehtede kõrva! Katta kuulmekäigu avasused peopesadega! Kuidas muutub hääle-
tugevus?

Kuulmekäik lõpeb kuulmenahaga, mis lahutab väliskõrva keskkõrvast. Keskkõrv peitub pealuu paksemas osas — oimuluus. Keskkõrvas on kuulumeluukesed — vasar, alasi ja alus. Nad on omavahel ühendatud.

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

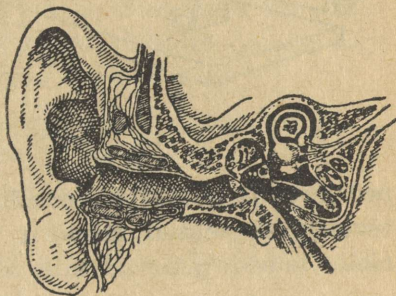
Sulgeda suu ja pigistada sõrmedega nina kinni! Teha katset välja hingata! Mida on tunda?

Keskkõrv on torukese abil kurguga ühendatud. Seetõttu on õhurõhumine keskkõrvas välisrõhumisega ühtlane. 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 kuulmenärv.

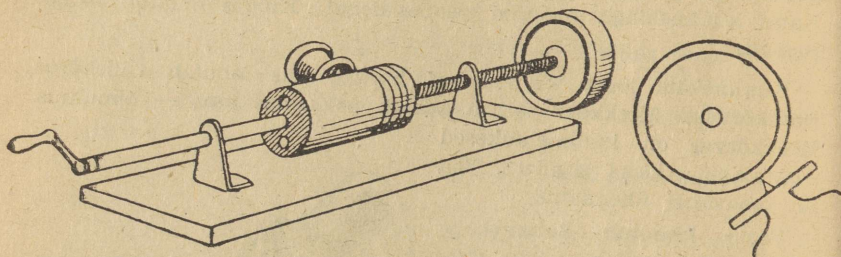
Häälelained tungivad väliskõrva kaudu kuulmenahani ja panevad ta võnkuma. Kuulumeluukesed annavad kuulmenaha võnkumisi edasi sisekõrva vedelikule. Selle laineline liikumine ärritab kuulmenärvi otsakesi. Kuulmenärv annab ärrituse edasi peajaule — ja meie kuuleme häält.

Mitte kõiki võnkumisi ei taju meie kõrv häälena. Võnkumised, millele võnkearv on alla 16 või 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 edasiandmisel on tarvilikud võnkumised 50—5000 võnget sekundis.



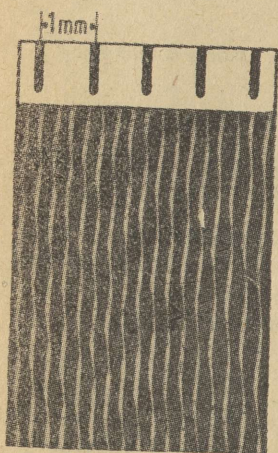
70. joon. Kõrva läbilõige.

65. **Fonograaf ja grammofon.** Th. A. Edisoni leiutatud fonograaf on riist, mille abil saab häält üles kirjutada. Tema peaosaks on õhuke, hästi vetruv kile (membraan), mille keskele on kinnitatud terav nõel. Nõel puudutab



71. joon. Fonograaf.

pöörlevat ja ühtlasi ka edasiliikuvat, sellekohasest pehmest materjalist tehtud silindrit (või plaati). Üleskirjutatava hääle lained panevad kile võnkuma ja nõela ots tõmbab silindrisse soonekese, mille muutlik sügavus vastab membraani võnkumistele. Tahame teada, mis on silindrile kirjutatud, siis paneme nõelaotsa kratsitud jälje sisse ja ajame silindrit ümber. Nüüd järgib nõel kratsitud soonekest ja paneb membraani võnkuma just niisama kui ümberkirjutatava hääle mõjul. Membraani võnkumised tekitavad õhus häälelaineid, mida me kõrva abil vastu võtame.



72. joon. Osa grammofoniplaadist suurendatult.

Üleskirjutatud hääle kuuldavale toomiseks korraldatud riista kutsutakse **grammofoniks**. Grammofonis liigub grammofoninõel nn. grammo-

foniplaadi 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 membraanile, mis omakorda annab selle võnkumise edasi õhule. Et võnkuv membraan annaks võimalikult palju energiat õhule, seks on ta ühendatud kõnetoru-taolise seadeldisega. Uuemais grammofonides on see toru ühes muu mehhanismiga peidetud ühisesse kasti.

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

Määrata soonekese pikkus grammofoniplaadil soonekete arvu ja nende keskmise raadiuse abil.

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

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

Valgus.

Valguseallikad ja valguse levimine.

66. **Valguseallikad.** Tähtsamaks valguseallikaks on Päike. Sageli tarvitatakse kunstlikke valguseallikaid, nagu petrooleumi-, gaasi-, elektrilampe jm.

Kehi, mis endast valgust kiirgavad (Päike, hõõguvad ja põlevad kehad), nimetatakse **isehelendavaiks**. Kehad, mis nähtavaks muutuvad siis, kui neile langeb valgus teistelt kehadelt, on **tumedad** kehad, näiteks toas olev mööbel, Kuu, planeedid.

Kehad muutuvad isehelendavaiks, kui neid kuumendada kõrge temperatuurini (üle 500°). Kuid on olemas ka isehelendavaid kehi, millel on madal temperatuur, nagu jaaniuss, kõdunev puu.

Kui keha laseb valgust läbi, siis on ta **läbipaistev**, näiteks õhk, klaas, vesi jt. Kehad, mis valgust läbi ei lase, on **läbipaistmatud**, nagu nõgi, puu, kivi, raud jt. Hästi õhukese kihina on iga keha enam-vähem läbipaistev.

67. **Valguseallika valgustugevus.** Valguseallikad võivad nende poolt välja saadetava valguse hulga ehk **valgustugevuse** poolest olla väga mitmesugused. Nii annab Päike märksa rohkem valgust kui Kuu, küünal rohkem kui tuletikk, viimane omakorda rohkem kui jaaniussike jne. Tahame valguseallikaid nende valgustugevuse poolest üks-

teisega võrrelda, nende valgustugevust mõõta, siis peab meil olema valgustugevuse ühik.

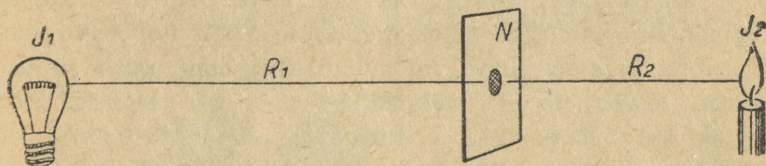
Varemalt tarvitati valgustugevuse ühikuna nn. normaalküünalt, s. o. valguse hulka, mida annab parafiinist küünla leek, kui selle küünla läbimõõt on 2 cm ja leegi kõrgus 5 cm.

Viimasel ajal on valgustugevuse ühikuna üldiselt tarvitusele võetud nn. rahvusvaheline küünal, mis on normaalküünlast ligi 8% väiksem.

Rahvusvaheline küünal on määratud kõrge temperatuurini (1768°) kuumutatud hõõguva keha (plaatina) kiirguse abil. Sellise keha 1 cm^2 pinda kiirgab välja valgust 60 rahvusvahelist küünalt. Tegelikult valgustugevuse mõõtmiseks kasutatakse eriliselt selleks ehitatud, konstantse tugevusega elektripirn.

Valgustugevuse ühikuna kasutatakse sellise pinna valgustugevust, mis tekitab 1 rahvusvaheline küünal temast 1 m kaugusel kiirte sihiga risti asetatud pinnal. See pinna valgustugevuse ühik kannab **luxi** nime.

68. Valgustugevuse mõõtmine. Valguseallikate valgustugevust mõõdetakse eriliste riistade, nn. fotomeetrite abil. Üks lihtsam neist on Bunseni fotomeeter.



73. joon. Bunseni fotomeeter.

Valgest paberist ekraani (joon. 73) keskele on tehtud õlilaik. Seetõttu muutub ekraan laigu kohal valgust läbilaskvamaks kui ülejäänud osa. Ekraan tuleb paigutada võrreldavate valguseallikate vahele nõnda, et õlilaik ära kaoks. Siis on õlilaik mõlemalt poolt ühetugevuselt val-

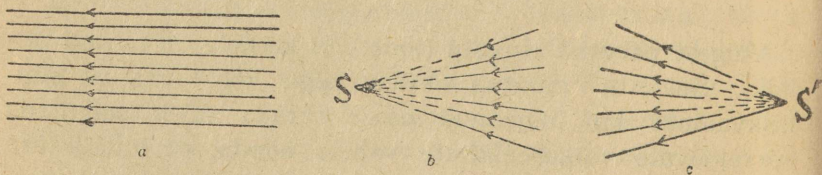
gustatud ja valguseallikate tugevused suhtuvad kui nende õlilaiguni mõõdetud kauguste ruudud. Näiteks kui elektripirni kaugus õlilaigust on 80 cm ja künla kaugus 20 cm, siis elektripirni valgustugevus on suurem künla valgustugevusest $80^2 : 20^2$ ehk 16 korda.

1. Milline on kahe elektripirni valgustugevuse suhe, kui esimene neist valgustab Bunseni fotomeetri õlilaiku 150 cm kauguselt sama tugevasti kui teine 75 cm kauguselt?

Mitu rahvusvahelist künalt on esimese pirni valgustugevus, kui teine neist on 15 r. künalt?

2. Pinnavalgustuse tugevus, väheneb pöördvõrdeliselt valguseallika kauguse ruuduga. Mitme luksi tugevusest valgustab 25 r. künlaline lamp tema kiirtega risti asetatud pinda 40 cm kaugusel sellest pinnast?

69. Valguse levimine ja levimiskiirus. Lamp põleb laual ja valgustab tervet tuba. Samuti valgustab Päike poolt Maakeri korruga. On valguseallika ümber läbipaistev **keskkond**, nagu näit. õhk, siis levib temas valgus valguseallikast 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 nähtavale ka siis, kui päike paisatab tупpa, kus on tolmu või suitsu. Sirgjoont, mille suunas valgus levib, nimet. **valguskiireks**. Kogu valguskiiri on kiirtekimp. Joon. 74 *a* kujutab paralleelset, *b* koonduvat ja *c* hajuvat kiirtekimpu. Punkte *S* ja



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

S¹ kutsutakse koonduva ja vastavalt hajuva kiirtekimbu **tipuks**. Iga helendava või valgustatud keha punkt saadab välja hajuva kimbu valguskiiri, mistõttu ta muutub nähtavaks.

Igapäevaseist tähelepanekuist teame, et kui samal ajal tekivad hääle ja valguse nähtused, näit. müristamine ja välg, püssipauk ja suitsu ilmumine, siis kaugelt seda vaadeldes näeme valgust enne, kui kuuleme häält. Sellest järeldame, et valguse levimiskiirus on hääle omast märksa suurem. Täpsete mõõtmiste abil on leitud, et **valguse levimiskiirus on 300 000 kilomeetrit ühes sekundis**.

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

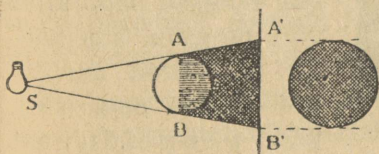
1. Kuu on Maakerast 384 000 kilomeetri kaugusel. Mitu sekundit tarvitab valgus meilt sinnajõudmiseks?

2. Kui kaugel on meist kinnistäht, millest jõuab valgus meieni 100 aasta kestel?

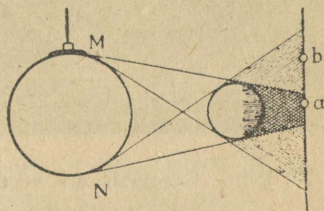
3. Mitu korda on valguse kiirus suurem kui hääle kiirus?

4. Mitu korda jõuaks valgus 1 sekundi kestel ümber Maakerakäia?

70. Vari. Valguse sirgjoonelise levimise tõttu tekib läbi-paistmatu keha taga **vari**. Varju saame jälgida paremini, kui juhime ta valgele ekraanile. On valguseallikas punkti-



75. joon. Täisvari.



76. joon. Pool- ja täisvari.

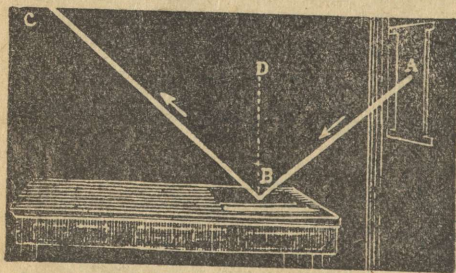
kujuline, siis on varju servad teravad, üleminek valgustatud piirkonnast varju on järsk. Et siin varju piirkonda ei pääse ükski valguskiir, siis nimetatakse seda varju **täis-**

varjuks. Suurema pinnaga valguseallika puhul on täisvari keskel, teda ümbritseb piirkond, kuhu pääseb valguskiiri osaliselt, mitte kõikidest valguseallika punktidest, Seda osaliselt valgustatud piirkonda nimetatakse **poolvarjuks.** Poolvarju tõttu pole täisvarju servad teravad.

Varjude tekkimisega saab seletada ka Päikese ja Kuu varjutusi. Päikese varjutuse ajal on Kuu Päikese ja Maa vahel ning katab Päikese meie eest kinni. Kuu varjutuse ajal on aga Maa Päikese ja Kuu vahel ning Maa vari langeb Kuule. Seepärast esineb Päikese varjutus noorkuu, Kuu varjutus täiskuu ajal.

Valguse peegeldumine.

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



77. joon. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

Laseme päikese või mõne teise tugeva valguseallika kiirte kimbul langeda läbi kitsa pilu peeglile, siis näeme, et kiired muudavad peeglis oma sihti, nad **peegelduvad** tagasi. Valguskiired teeme nähtavaks suitsu või papptahvli abil, mille asetame kaldu peeglipinnale, nii et valguskiired libiseksid mööda papi pinda. Olgu seejuures AB (77. joon.) **langev kiir,** BC **peegeldunud kiir** ja DB **ristjoon** peeglile kiire langemis-

punktis. Nurk ABD — langevate kiirte ja peegli-ristjoone vahel — on **langemisnurk**; nurk DBC — peegeldunud kiirte ja sama ristjoone vahel — on **peegeldumisnurk**. 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?

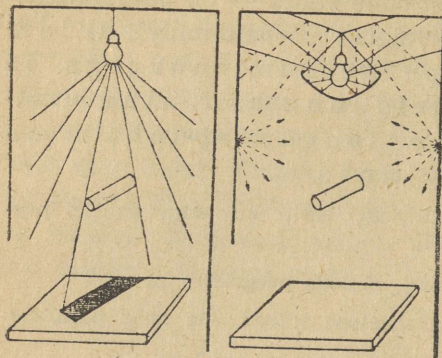
3. Tasapeeglile langevad paralleelsed kiired. On need paralleelsed ka pärast peegeldumist?

4. Kui suur peab olema langemisnurk, kui on tarvis valgust 80° võrra kõrvale juhtida?

72. 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 võimaldab meile ümberolevate esemete nägemist. Samuti teeb hajunud valgus toa valgeks, kuigi päikesekiired otseselt tuppa ei lange.

Mitmesugused pinnad peegeldavad neile langenud valgust tagasi mitmesugusel määral. Näiteks valge paber ja valgeks värvitud lagi peegeldavad tagasi üle 70% neile langenud valgusest, kuna must tahmatud pind peegeldab tagasi temale langenud valgusest väga väikese osa. Hall pind peegeldab tagasi rohkem kui must pind, aga vähem kui valge pind. Alati neelab ehk absorbeerib keha pind osa sellele kehale langenud valgusest.

Valguse hajumine peegeldumisel etendab tähtsat osa ruumide valgustamisel. Toas olevat töölauda valgustab kas otseselt lambilt või päikeselt tulnud valgus

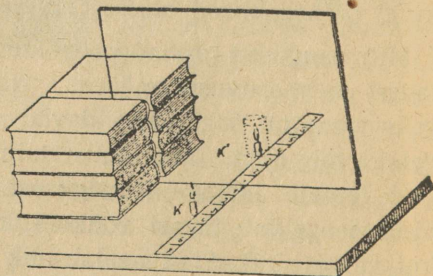


78. joon. Otsene ja kaudne valgustus.

seselt lambilt 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 sealt peegeldunud valgus valgustab tuba. Niisuguse täielikult kaudse valgustuse puhul puuduvad toas teravad varjud (78. joon.).

73. Kujutis tasapeeglis. Peegli ees seistes näeme end peeglis. Meie näost väljunud kiired peegelduvad peegli pinnal ja annavad **kujutise**, mis näiliselt asub peegli taga. Kui kaugel on kujutis peeglist, selle leidmiseks korraldame järgmise katse (79. joon.).

Asetame mõõtpaela (pabeririba cm-jaotistega) lauale. Risti mõõtpaelaga seame ta keskkohale tasase klaasplaadi. Klaasplaadi ette mõõtpaela kõrvale seame põleva küünla K. Klaasplaadil näeme siis küünlaleegi kujutist. Klaasruudu taha, sinna kohta, kus näib olevat küünlaleegi kujutis, asetame teise,



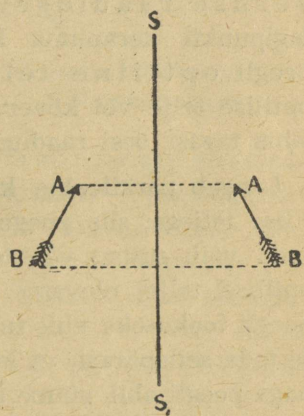
79. joon. Kujutis tasapeeglis.

samasuguse ja niisama pika, kuid mittepõleva künkla K^1 . Põleva künkla poolt vaadates näeme, nagu põleks teine künkal. Künkal K^1 on seega künkla K kujutise kohal. Mõõtes K ja K^1 kaugusi peeglist näeme, et need on võrdsed ja sirge KK^1 on risti peegli tasapinnaga. Künkla K peeglile lähemale või kaugemale nihutamisel nihkub lähemale või kaugemale ka tema kujutis K^1 .

Tasapeegli ees oleva künklaleegi kujutis tasapeeglis on niisama kaugel peegli taga kui künklaleek peegli ees ja mõlemad asuvad sirgel, mis on risti peeglipinnaga. See tähendab, et 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 peeglil peegeldunud kiirte pikendused. Niisugust näilist kujutist nimetatakse **ebakujutiseks**.

On peegli ees mitte punktikuju-line valguseallikas, vaid ulatusega ese, näit. nool (80. joon.), ruumiline keha jne., siis selle iga punkti kujutis, seega ka kogu kujutis, asetseb näivalt peegli taga. Keha ja selle kujutise sümmeetria tõttu on kujutisel kehaga võrreldes parem ja vasak pool ümber vahetatud. Kirjutatud kirja tuleb tasapinnalises peeglis lugeda paremalt poolt vasakule (peegelpilt). Kujutise suurus on seejuures võrdne peegli ees oleva kehaga.



80. joon. Nool kujutis tasapeeglis.

1. Kui kaugel on kujutis vaatlejast, kui vaatleja on peeglist 75 cm kaugusel?

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

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

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

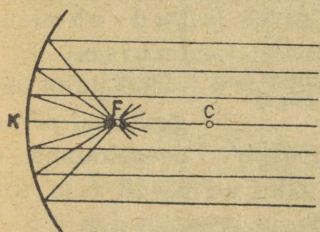
74. Kõverpinnalised peeglid. Nõguspeegel. Kõverpinnalistest peeglitest on eriti tähtsad kerapinnalised ehk sfäärilised peeglid, s. o. peeglid, mille lihvitud peeglipinnad on osa kerapinnast. Nõguspeeglitel on peeglipinnaks kera sisepind, kumerpeeglitel — kera välispind.

Nõguspeegli keskpunkti nimetatakse peegli keskpunktiks ehk lagipunktiks, peeglipinda kui kerapinna keskpunkti, mis on väljaspool peeglipinda, nimetatakse kõveruse keskpunktiks, kerapinna raadiust kõveruse raadiuseks. Sirge, mis ühendab nõguspeegli lagipunkti kerapinna kõveruse keskpunktiga, on nõguspeegli optiline telg. Kiir, mis langeb nõguspeeglile optilise telje või kõveruse raadiuse sihis, peegeldub samas sihis tagasi, sest raadius on alati risti kerapinnaga.

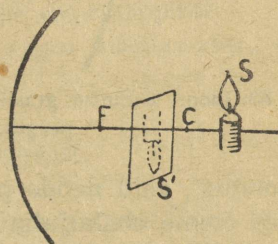
Langeb paralleelne kiirtekimp nõguspeeglile rööbiti optilise teljega, siis peegelduvad kiired ja koonduvad, nagu seda võib suitsu või tolmu abil kergesti nähtavaks teha, optilisel teljel olevasse punkti, mida nimetatakse nõguspeegli **fookuseks** ehk **tulipunktiks**. Tulipunktiks nimetatakse teda sellepärast, et koondades päikesekiiri suurema pinnaga peegli abil võime süüdata tulipunkti asetatud tuletiku või paberi. Selle kaugus FK peeglist (81. joon.) on tulipunkti kaugus.

Mõõtmisel leiame, et tulipunkti kaugus on pool kõveruse raadiust. Kokkuvõttes: Optilise teljega paralleelsed kiired pärast peegeldumist nõguspeeg-

lil koonduvad tulipunkti, mis asub 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. Nõnda on valguskiire käik ümberpööratav (valguskiire ümberpööratavuse lause). Sellest valguskiirte käigu ümberpööratavuse lausest järeneb, et tulipunktis olevast punktikujulisest valguseallikast väljunud kiired pärast peegeldumist nõguspeegil levivad paralleelselt optilise teljega.



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



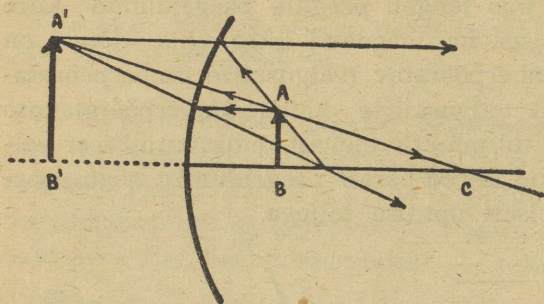
82. joon. Kүүnlaaleegi kujutis nõguspeeglis.

Võtame põleva kүүnla S ja asetame ta nõguspeegli ette keskpunktist C kaugemale (82. joon.). Tulipunkti F ja keskpunkti C vahel väikest ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel kүүnla kujutise. Selles kujutises lõikuvad tõepoolest peegeldunud valguskiired ja teda on võimalik näha ekraanil. Seepärast nimetatakse seda kujutist tõeliseks. Antud juhul on kujutis veel vähendatud ja ümberpööratud.

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

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

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



83. joon. Kujutise graafiline leidmine nõguspeeglis.

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

Sel juhul valguskiired pärast peegeldumist ei koondugi, vaid nende pikendused lõikuvad peegli taga, kus ongi eseme ebakujutis (83. joon.).

Teame kolme valguspunkti lähtuva kiire suunda 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.

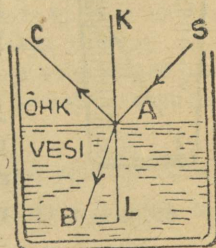
Suuri nõguspeegleid tarvitatakse prožektoreis ehk helgiheitjais. Siin asetatakse nõguspeegli tulipunkti tugev valguseallikas, peeglil peegeldunud kiired on siis ligikaudu paralleelsed ega hajju. Prožektoreid kasutatakse tuletornides,

laevadel ja mujal, kus tahetakse juhtida valgust kauge maa taha. Siin tarvitatakse tugevaid elektervalguseallikaid. Eriti tugevaid valguseallikaid 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. Leida graafiliselt eseme kujutis nõguspeeglis, kui ese on peeglist kaugemal kui tulipunkt.
2. Ese asub 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.

75. Murdumisseedused. Juhime pimedas toas õhust kaldu veepinnale peenikese paralleelkiirte kimbu SA (84. joon.). Osa kiiri, jõudes veepinnani langemispunktis A, peegeldub veepinnal peegeldumisseeduste järgi ja läheb suunas AC endisesse keskkonda, s. o. õhku tagasi. Teine osa kiiri samast kimbust SA tungib langemispunktis A uude läbipaistvasse keskkonda, s. o. vette, ja läheb seal edasi suunas AB, mis endisest suunast SA märksa erineb. Kiire suund muutub ehk kiir murdub langemispunktis A kahe keskkonna (meie katses õhu ja vee) lahutuspinna. Nähtust, kus valguskiired ühest läbipaistvast keskkonnast teise tungides muudavad keskkondade lahutuspinna oma esialgset suunda, nimetatakse **valguse murdumiseks.**

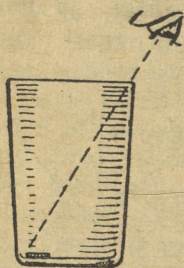


84. joon.
Valguse murdumine.

Kiirt SA nimetatakse **langevaks**, kiirt AB **murdund kiireks**. Tõmbame keskkondade lahutuspinna langemispunktis A ristjoone KL. Nurki SAK ja BAL ristjoone KL, langeva kiire SA ja murdund kiire AB vahel nimetatakse vastavalt **langemis- ja murdumisnurgaks**.

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 tihedamasse keskkonda minekul on murdumisnurk väiksem kui langemisnurk ja murdund kiir läheb ristjoonele.

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



85. joon.

Katsed näitavad ka, et langev kiir ja murdund kiir on langemispunktis lahutuspinnale tõmmatud ristjoonega ühel ja samal tasapinnal.

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

Viimast nähtust selgitab ka järgmine katse. Paneme tuhja teeklaasi põhja mingi väikese asja, näiteks 10-kopikase raha. Asetame silma nõnda, et me raha otseselt ei näe, et ta jääb klaasi ääre taha (85. joon.). Klaasi vett valades hakkab raha varsti paistma. Ta on ühes põhjaga nagu üles kerkinud. Tõepoolest aga ei näe me siin raha otseselt, vaid näeme tema kujutist kiirte murdumise tõttu veest õhku tulekul.

1. Mispärast läbi aknaklaasi vaadates esemed mõnikord 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, muutudes kõveraks. See nähtus võib esineda näiteks ebaühtlases soolalahuses, ebaühtlaselt soojendatud õhus jne. Viimase nähtusega on seletatav ka näit. õhuvirvendus päikesest kuumendatud maapinna ja katuse kohal.

76. 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. Nüüd on ta suund 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?

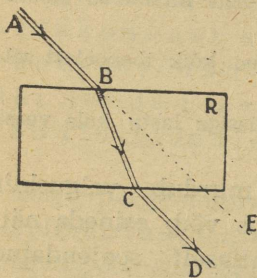
3. Miks läbi tuhmklaasi pole midagi näha?

Valguskiirte kõrvalekaldumist murdumisel klaasplaadis on kerge määrata nõõpnõelte abil. Asetame klaasplaadi lauale valgele pabe-

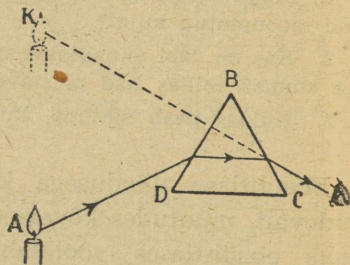
rile (86. joon.). Pistame punktides A ja B lauasse nõõpnõela. Vaatame nüüd, mis sihis paistavad need nõõpnõelad läbi plaadi. Selle sihi märgime jällegi kahe nõõpnõela abil (C ja D). Nüüd tõmbame plaadi äärtest paberile jooned, samuti sirged läbi nõõpnõelte piste-kohtade (A ja B; C ja D).

Sirgete AB ja CD lõikepunktid plaadi äärjoontega (B ja C) ühendame sirgega. Sel viisil saame kiire tee BC plaadis ja kiire tee CD pärast väljumist plaadist.

Võrrelda suunda AB suunaga CD!



86. joon. Murdumine tasaparalleelses plaadis.



87. joon. Valguse murdumine prisma.

77. Prisma. Optiliseks prismaks nimetatakse läbipaistvat keha, mis on kahest küljest piiratud lõikuvate tasapindadega. Joon. 87 kujutab niisugust klaasprismat läbilõikes. Nurka B lõikuvate tasapindade vahel nimetatakse **murdjanurgaks**. Murdjanurga vastas olevat prisma tahku kutsutakse aluseks. Katsetel märkame (87. joon.), et prisma läbivad kiired kalduvad prisma aluse poole. Järelikult, vaadates läbi niisuguse prisma valguspunkti A, paistab see meile murdjanurga poole tõstetuna. Samuti näitavad katsed, et suurem murdjanurk annab ka suurema kiire kõrvalekaldumise oma esialgsest suunast.

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

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

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

Optilised läätsed.

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

Kumerläätsed on keskelt paksemad kui äärest, nõgusläätsed on jaga keskelt õhemad, äärest paksemad. Kumerlääts võib olla kaksikkumer, tasakumer või nõguskumer. Vastavalt sellele eristatakse kaksiknõgusaid, tasanõgusaid ja kumernõgusaid läätsi.

Sirge, mis ühendab mõlema kerapinna kõveruse keskpunkte ja mis läbib ka lätse keskpunkti, on lätse **optiline telg**.

Laseme langeda kumerläätsle paralleelselt optilise teljega paralleelse kiirtekimbu, näiteks kimbu päikesekiiri. Need kiired koonduvad teisel pool lätse ühte punkti optilisel teljel, nagu seda suitsu või tolmu abil kergesti võib nähtavaks teha. Seda punkti nimetatakse kumerlätse **fookuseks** ehk **tulipunktiks** (89. joon.).

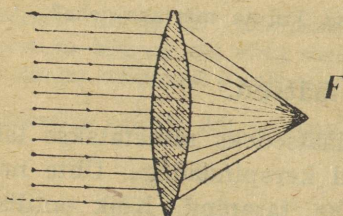
Kiirte käigu seletamiseks kumerläätses võib kujutleda



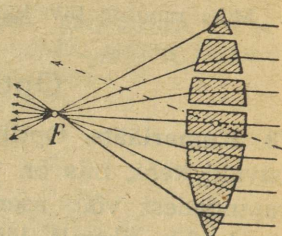
1 2 3 4 5 6

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

kumerläätsse koosnevana üksikuist prismadest, läätsse kesk-
mist osa võib aga vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida
läbides valguskiir oma suunda ei muuda (90. joon.).



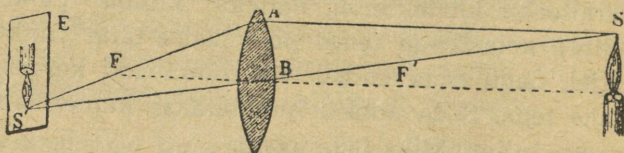
89. joon. Kumerläätsse tulipunkt.



90. joon. Kumerläätsse printsibi selgitamine.

Nagu nõguspeegli puhulgi, süttivad ka läätsse tulipunkti
viidud tuletikk, paber jne. päikesekiirtes põlema. Punkt F
kaugust läätsesest nimetatakse **tulipunkti kauguseks**. Tuli-
punkti kaugus on seda lühem, mida kumeram on lääts; aga
see kaugus sõltub ka läätsse ainest. Igal läätsel on kaks
tulipunkti, üks ühel pool, teine sümmeetriliselt teisel pool
läätsse; nende kaugused läätsesest on võrdsed. Et kumerlääts
koondab valguskiiri, seepärast nimetatakse teda ka **koon-
davaks** läätsesks.

79. Kujutis kumerläätses. Asetame põleva küünla S (91.
joon.) kumerläätsse ette kaugemale tulipunktist, teisele pool
le kumerläätsse seame valgest paberist ekraani. Ekraani



91. joon. Kujutis kumerläätses.

edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünlaleegi ümberpööratud kujutise. See kujutis on tõeline juba seepärast, et võime teda võtta ekraanile. Nihutame küünalt läätsest kaugemale, siis nihkub ta kujutis läätsele lähemale, ja vastupidi, kui nihutame küünalt läätsele lähemale, siis nihkub kujutis läätsest kaugemale. 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:

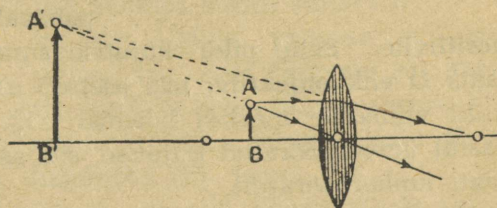
1) Kui ese (küünlaleek) on kumerläätselt kaugemal kui tulipunkt, siis on kumerläätselt poolt tekitatud kujutis teisel pool läätse, ta on tõeline ja ümberpööratud. Suuruselt võib kujutis olla suurendatud, vähendatud või niisama suur.

2) Kui ese on kumerläätsel 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.

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

2. Kiir, mis langeb kumerläätsel tulipunkti



suunas, on pärast kumerläätsel läbimist paralleelne optilise teljega.

92. joon. Kujutise graafiline leidmine.

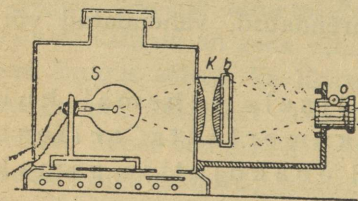
3. Kiir, mis läbib kumerlääts keskpunkti, läheb endises suunas edasi, sest keskosa võib vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiire suund ei muutu.

Kahe kiire abil nendest kolmest võime alati leida graafiliselt eseme kujutise. Joonisel 92 on sel teel kujutis leitudki ja nimelt juhul, kui ese on läätsel lähemal kui tulipunkt.

Optilised riistad. Silm ja nägemine.

Optilisi läätsi kasutatakse laialdaselt mitmesugustes optilistes riistades, nagu projektsiooniaparaadis, mikroskoobis, pikksilmas jm.

80. Projektsiooniaparaat. Projektsiooni- ehk valguspildi-aparaadiga näidatakse valgel linal või seinal (ekraanil) pilte. Projektsiooniaparaat (93. joon.) on seestpoolt mustaks vär-



93. joon. Projektsiooniaparaat.
S — valguseallikas; K — kondensor;
O — objektiiv.

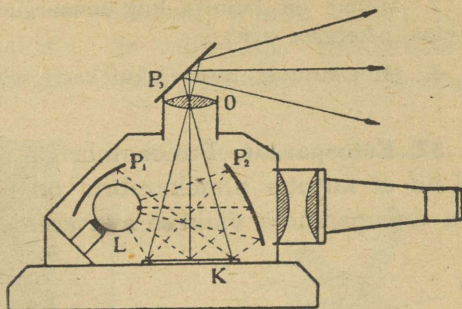
vitud kast, millesse on paigutatud tugev valguseallikas S, näiteks elektrihõõglamp, kaarleek jne. Selle valguseallika ees, kasti avas, on suur kahest poolest koosnev kumerlääts, kondensor K, mis koondab palju valgust klaasile tehtud läbipaistvale pildile (b) — dia-

positiivile. Selle pildi kujutise annab ekraanile kumerlääts 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.

Ka läbipaistmatule paberile joonistatud või trükitud kirja, samuti teisi esemeid võib projitseerida ekraanile, kui tarvitada sel-

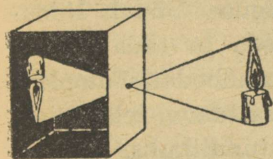
leks eriti ehitatud projektsiooniaparaati. Selles projektsiooniaparadis asetatakse läbipaistmatu pilt aparadi alla ja valgustatakse siis tugeva valguseallikaga.

Pildilt tuleva valguse abil annabki objektiiv pildi kujutise ekraanile. Valgus juhitakse ekraanile kiirte teele vastava nurgi asetatud peegli abil. Projektsiooniaparaati, millega on võimalik projitseerida diapositiive, samuti ka läbipaistmatuid pilte ja esemeid, nimetatakse epidiaskoobiks (94. joon.).



94. joon. Projektsiooniaparaat läbipaistvate ja läbipaistmatute piltide projitseerimiseks (epidiaskoop).

81. Kujutis väikese ava abil. Võtame puu- või pappkasti, teeme ühe külgselja keskele väikese ava. Kasti sisse, vastasoleva seina külge kinnitame valgest paberist või papist ekraani. Kui asetame nüüd ava ette küünlaleegi, siis teisel pool ava valgus ekraanil tuleb nähtavale küünlaleegi ümberpööratud kujutis. Seda kujutise tekkimist väikese ava abil saab seletada valguse sirgjoonelise levimisega. Igast valguseallika punktist pääseb läbi ava peenike kiirtekimp,



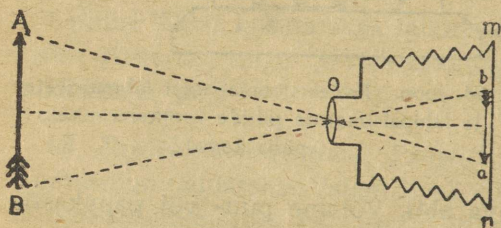
95. joon. Pimekamber.

mis ekraanile langedes tekitab seal valgustatud punkti. Kõik valgustatud punktid kokku annavadki eseme kujutise. Mida väiksem on seejuures ava, seda teravam on kujutis, kuid ka seda valgusvaesem. Nii-sugust riista nimetatakse **pimekambriks** (95. joon.).

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

1. Kuidas muutub kujutis, kui ekraan viia avast kaugemale või tuua sellele lähemale?
2. Milline on kujutis, kui ümmarguse ava asemel teeme kasti seinaga pilkerguse ava?
3. Mitu kujutist saame, kui kasti seinaga teeme 2 või 3 ava?

82. Fotoaparaat. Pimekambriga sarnaneb ka fotoaparaat. Kuid et kujutis pimekambris on nõrgalt valgustatud, siis on fotoaparaadis väikese ava asemel kumerlääts.



96. joon. Fotoaparaat.

Fotoaparaat koosneb seestpoolt mustaks värvitud kastist, mille eesseinast on kumerlääts — objektiiv. Tagaseinas on tuhmklaas. Objektiiv annab aparadi ees-

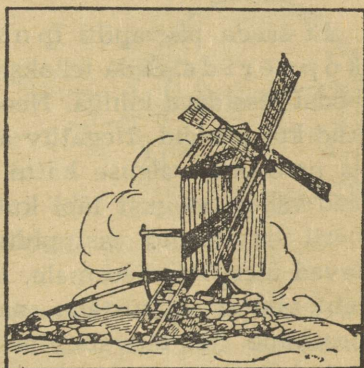
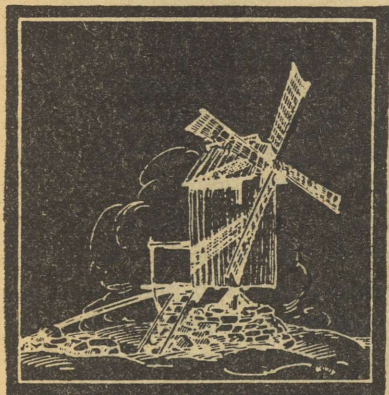
olevate esemete kujutised tuhmklaasil. Et need kujutised tuhmklaasil oleksid teravad ja selged, selleks tuleb objektiivi kaugust tuhmklaasil reguleerida. Seda võimaldavad lõõtsana kokku- ja lahtitõmmatavad aparadi külge seinad.

Fotoaparaati tarvitatakse fotograafias. Viimane põhineb nähtusel, et paljud ained muutuvad valguse toimetel. Niisugused on 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.

Millised kujutised saame esemest tuhmklaasil?

Fotograafimine (päevapildistamine). Algul reguleeritakse fotoaparaadi objektiiv kaugus tuhmklaasist nii, et fotograafitavate esemete kujutised tuhmklaasil oleksid küllalt teravad. Siis kaetakse objektiiv ja tuhmklaas asendatakse valgustundliku fotoplaadiga. Nüüd avatakse lühikeseks



97. joon. Negatiiv ja positiiv.

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. Ilmutamisel eraldub hõbe neil kohtadel, mida valgustati, ja seda rohkemal määral, mida tugevamini seda kohta plaadil valgustati. Nii tulebki pilt nähtavale. Kuid see pilt on vastand pildistatud esemele: valged kohad on siin mustad, mustad kohad — valged. Seda pilti kutsutakse seetõttu negatiiviks. Et negatiiv valguse toimel ei muutuks, selleks tuleb teda kinnistada. Kinnistamisel kõrvaldatakse fotoplaadilt muutumatuks jäänud hõbedasool. 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 on kaetud kloorhõbedat sisaldava kihiga. Need paberid pole nii valgustundlikud kui plaadid. Negatiiv asetatakse päevapildipaberi peale ja pannakse valguse kätte. Negatiivi tumedad kohad lasuvad vähem valgust läbi kui heledamad. Seetõttu on ka paberil värvitoonid vastupidised negatiivi omadele. Nad vastavad ülesvõetud esemele. Paberile kopeeritud päevapilt tuleb samuti kinnistada nagu negatiivgi. Sellele järgneb pesemine ja kuivatamine ning päevapilt ehk foto on valmis.

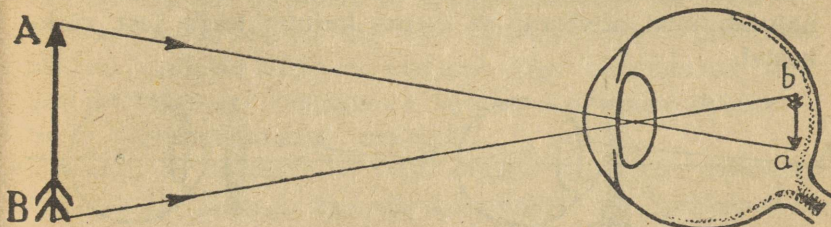
Praegusajal tarvitatakse klaasist fotoplaadi asemel sageli valgustundliku kihiga kaetud tselluloidist filmi. Ühele filmile võetakse enamasti mitu pilti. Seda tehakse nõnda, et valgustatud osa filmist keritakse rullile, kuna objektiiviette tuleb uus valgustamata osa filmist.

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 suuredusaparaadi abil mitmekordselt suurendatud positiiv. Suurendusaparaadi tähtsamaks osaks on kumerlääts, mille abil saadakse pool-läbipaistvast negatiivist suurendatud kujutis positiivpaberile, mis siis ilmutatakse ja kinnistatakse harilikul viisil.

Valmistada pimekamber ja tarvitada seda fotoaparaadina! Et väikese ava abil saadud kujutis on nõrgalt valgustatud, siis tuleb valgustada pikemat aega. Määrata see katseliselt!

83. Silm ja nägemine.

Silma võime võrrelda fotoaparaadiga. Objektiiviks on silmalääts, ekraaniks silma tagaseinas olev võrkkest. Ese annab võrkkestal überpööratud vähendatud kujutise, mida me silmanärvide abil selle asja valgusmuljena vastu võtame.



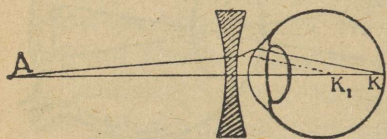
98. joon. Kujutise tekkimine silmas.

Ese on selgesti nähtav, kui tema kujutis tekib just võrkkestal. See on võimalik silmaläätsel, mis võib tarviduse järgi muuta oma kumerust ja ühes sellega kiirte koondamisvõimet. Läheneb ese silmale, siis muutub lääts kumeramaks, kaugeneb ese, siis läheb lääts lamedamaks. Seda silmaläätsel omadust — muuta oma kumerust, et kujutis alati tekiks võrkkestal, nimetatakse kohastumisvõimeks.

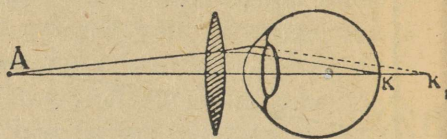
Ühteaegu võib silm kohastuda ainult ühele kaugusele, mis selgub järgmisest katsest. Paneme sõrme silmade ja raamatu vahele umbes keskkoha. Vaatame teraselt sõrme peale, siis paistavad tähed segaselt; vaatame teraselt tähtedele, siis paistab sõrm segaselt.

84. Nägemise puudused. Prillid. Harilik ehk normaal-silm võib lugeda ilma tunduva kohastumisväsimumeta, kui raamatu kaugus silmast on 25—30 cm. See kaugus on normaalsilma parima nägemise kaugus. Lähemal ja kaugemal kui 25—30 cm olevate esemete vaatamisel peab silmalääts kohastumisel tunduvalt pingutama. See tõttu ta ka väsib rohkem.

Silma, mis suurematele kaugustele ei suuda kohastuda, nimetatakse lühinägevaks. Niisuguses silmas on võrkkest läätsest liiga kaugel (silmamuna on liiga piklik või silmalääts koondab kiiri liiga tugevasti) ja eseme kujutis tekib võrkkesta ees (99. joon.). Selle puuduse kõrvaldamiseks tarvitatakse silma ees prillina nõrgusatläätse. See hajutab kiiri niivõrra, et eseme kujutis tekib just võrkkestal.



99. joon. Lühinägev silm.



100. joon. Kaugnägev silm.

Kaugnägev silm ei suuda kohastuda lähedate esemete vaatlemiseks. Silmamuna on liiga lühike või silmalääts on liiga lame; ta koondab kiiri liiga nõrgalt ja eseme kujutis tekib võrkkesta taga (100. joon.). Et kiired enam lõikuksid ja võrkkestal kujutise annaksid, selleks tarvitatakse silma ees prillina kumeratläätse. See koondab kiiri ja kujutis tekib võrkkestal ning ese on selgesti nähtav.

85. 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. Seda silma omadust kasutatakse **kinematograafi** ehk **kino** ehitamisel. Tehakse filmil kiiresti üksteise järel hulk silmapilkseid ülevõtteid (umbes 20

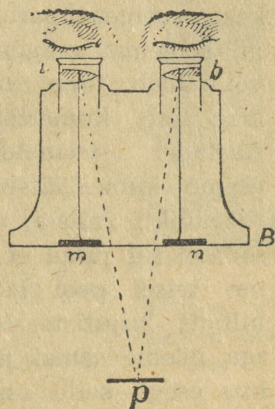
ülesvõtet sekundis) ja projitseeritakse need projektsiooni-aparaadi abil niisama kiiresti ekraanile. Muljed kiiresti üksteisele järgnevaist ülesvõtteist, mida näeme ekraanil, liituvad ja annavad nn. kinopildi.

Kui mingist liikumisest 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 võtet nimetatakse **ajaluubiks**. Ajaluupi kasutatakse näiteks spordi alal hüpete ja teiste kiirete liigutuste uurimisel.

Samuti on võimalik ka väga aeglaselt liigutusi vaadelda lühikese aja jooksul (taimede kasvamise, õite puhkemine).

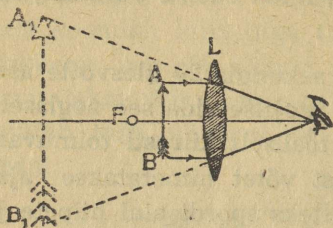
86. Ruumiline nägemine. Stereoskoop. Vaadeldes lähedal olevat eset, näiteks kuupi laual, vaheldumisi kord ühe, kord teise silmaga, võime tähele panna, et kumbki silm näeb seda pisut isesugusena: parem silm näeb seda paremalt poolt, vasak pisut vasemalt poolt. Nii on ka kujutised sellest esemest kummaski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

Tasapinnalised pildid ei võimalda ruumilist nägemist. Et tasapinnaliste piltide abil esemest ruumilist pilti saada, tehakse ühest ja samast esemest kaks ülesvõtet: üks vasakult, teine paremalt poolt. Saadud ülesvõtted pannakse kõrvuti ja vaadeldakse neid nn. stereoskoobi abil (101. joon.). Stereoskoobi peaosadeks on 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.



101. joon. Stereoskoop.

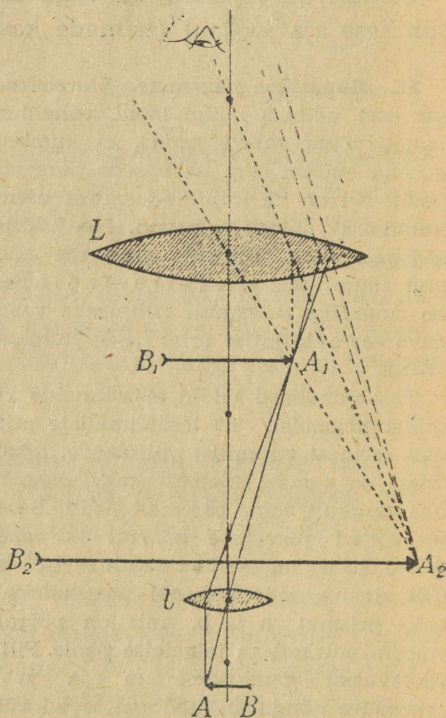
87. **Luup.** Inimese silm suudab tajuda esemeid ja esemete peensusi ainult siis, kui need annavad võrkkestal küllalt suure ja selge kujutise.



102. joon. Luup.

parima nägemise kaugus on umbes 25 cm. Väga lähedal olevate esemete nägemiseks silm ei kohastugi. Väikeste 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 läätses mingit kujutist. Küll aga näeme samal pool kus esegi selle eseme suurendatud ebakujutist (102. joon.). Esemest AB tulevad kiired murduvad läätses ja lähevad laiali ilma löi-

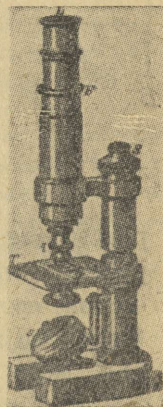
lalt suure ja selge kujutise. Väga väikesed esemed annavad silmas liiga väikese kujutise; neid meie ei näe või näeme halvasti. Kujutis võrkkestal suureneb, kui tuua vaadeldav ese lähemale, kuid sellel on piir: normaalse silma



103. joon. Mikroskoop: kiirte käik mikroskoobis.

kumata. Nende pikendused vasakul läätse taga lõikuvad ja annavad AB-st suurendatud päripidise kujutise A_1B_1 . Et siin kujutis on märksa suurem kui ese ja asetseb normaalse silma parima nägemise kaugusel, siis näeme temas ka rohkem peensusi kui eset ennast otseselt vaadeldes. Seejärel tarvitatakse kumerlääts suurendusklaasina ehk luubina.

88. Mikroskoop. Märksa tugevamini suurendab nn. **mikroskoop**, mis koosneb mitmest optilisest läätsest. Kiirte käik mikroskoobis on näha joonisel 103. Vaadeldav ese AB asetatakse lühikese tulipunktikaugusega kaksikkumera läätse ette tulipunktist natuke kaugemale. Lääts 1, mille ees seisab vaadeldav ese ja mida seejärel eseme läätseks ehk objektiiviks kutsutakse, annab enese kahekordse tulipunktikauguse taga 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 . Lääts L, millesse silmaga vaatame ja mis luubi aset täidab, on mikroskoobi silmalääts ehk okulaar. Kujutis A_2B_2 on antud esemega võrreldes suurendatud, vastupidine ja ebakujutis.



Kõik läätsed paigutatakse seestpoolt mustaks värvitud torudesse ja kinnitatakse jala külge (104. joon.). Head mikroskoobid suurendavad tuhat ja rohkem korda.

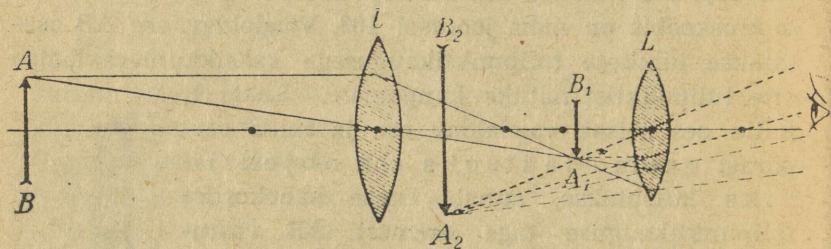
104. joon. Mikroskoobi väline kuju.

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

89. Pikksilm. Kauge ese paistab meile väikese nurga all ja ta kujutis silma võrkkestal on väike. Väga kaugel ole-

vad esemed, olgugi suured, paistavad meile niivõrra väikese vaatenurga all, et meie silm ei suuda seal enam peen-susi näha. Vaatenurga suurendamiseks, ühes sellega kaugel olevate esemete paremaks vaatlemiseks, tarvitatakse **pikk-silma**.

Ehituselt lihtsamaid on astronoomiline ehk Kepleri pikksilm. See pikksilm koosneb kahest kumerläätest, nimelt: suurema tulipunkтикаugusega objektiivist ja lühema tulipunkтикаugusega okulaarist. Vaatlemisel

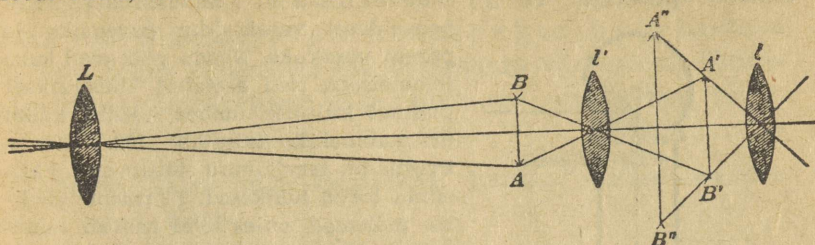


105. joon. Astronoomiline pikksilm.

pikksilmaga seisab 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 selgemana kui ese AB. Kiirte käiku astronoomilises pikksilmas selgitab joonis 105.

Kaugete maapealsete esemete vaatlemiseks ei ole niisugune pikksilm otstarbekas, sest ta annab vastupidised kujutised, mis segab vaatlemist. Et päripidist esemete kujutist saada, pööratakse kolmanda kumerläätsel¹ abil objektiivist saadud kujutis AB enne ümber ja vaadeldakse seda ümberpööratud kujutist okulaari l kui luubi abil (joon. 106). Niisugust pikksilma kutsutakse maapikksilmaks ehk kiikriks. Maapikksilma suureks puuduseks on ta pikkus, mis teeb ta kasutamiseks ebasobivaks.

Kahe silmaga vaatlemiseks tarvitatakse kahest pikksilmast koosnevat riista, mida nimetatakse binoklikks.



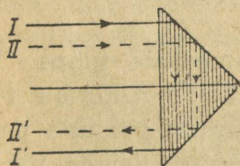
106. joon. Maapikksilm.

Praegusajal tarvitatakse peamiselt prismabinoklit. See riist koosneb kahest astronoomilisest pikksilmast, milles kujutis pööratakse ümber kahe täisnurkse prisma abil.

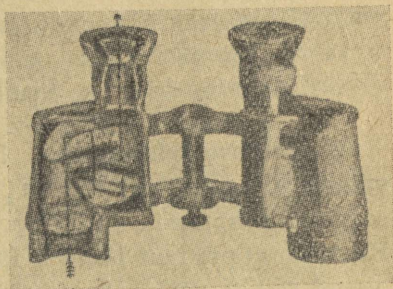
Täisnurkse prisma tarvitamine siin põhineb järgmisel nähtusel.

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

Langevad 107. joonisel kujutatud täisnurksele prismale kiired I ja II, siis muutub kahekordse täieliku sisepeegelduse tõttu pealmine kiir alumiseks ja alu-

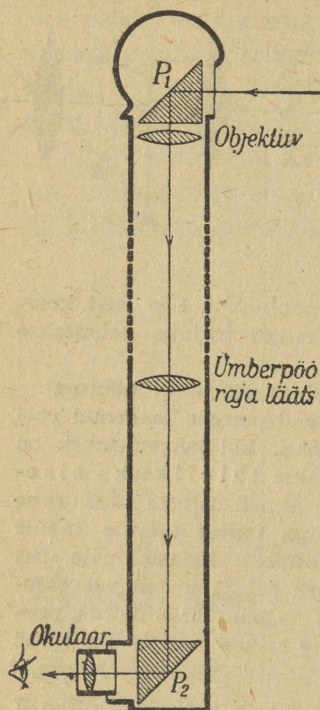


107. joon. Kiirte käik täisnurkses prismas.



108. joon. Prismabinokkel.

mine ülemiseks. Teises täisnurkses prisma, mille servad on esimese prisma rist, muutub samuti kahekordsel sisepeegeldusel vasak kiir paremaks ja parem vasakuks. Nõnda pööravad kaks teineteisega risti asetatud täisnurkset prisma kujutise ümber. Kiire käiku prismabinoklis kujutab 108. joonis.



109. joon. Periskoop.

Prismade tarvitamise tõttu on pikk-silma torud lühikesed. Et prismabinoklis mõlemad objektiivid asuvad teineteisest kaugemal kui silmad, siis on vaatlemisel sellega sügavuse ehk reljeefsuse tunne suurendatud.

Maapikksilma rakendatakse allveelaevade periskoopide ehitamisel, kust ta suur pikkus tuleb just kasuks. Et juhtida valguskiired püstloodis olevasse periskoopi, selleks 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.

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

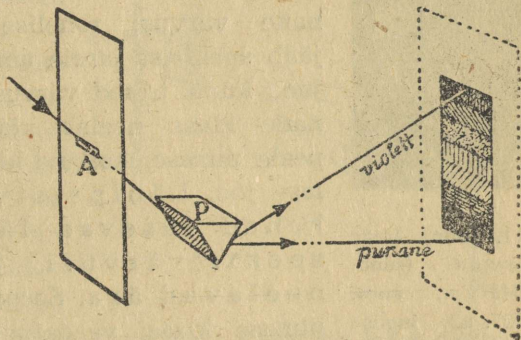
Spekter.

90. Valguse lahutamine. Laseme pimedasse tuppä läbi väikese ava peenikese kimbu päikesekiiri. Kiirtekimbu teele seame klaasprisma, mille serv on pööratud pööranda poole. Kiirtekimp prisma läbides kaldub kõrvale ja annab vastasoleval seinal või ekraanil mitmevärvilise riba, milles alt ülispoole lugedes võib eristada järgmisi põhivärvusi: punane,

oranž ehk ruuge, kollane, roheline, helesinine, sinine (indigo) ja violetne ehk lilla. Seda prisma abil saadud värvilist riba nimetatakse päikesespektriiks ja üksikuid värvusi selles — spektri ehk vikerkaare värvusteks. Üleminek ühest põhivärvusest teise pole terav, vaid pidev, nii et esineb hulk varjundeid.

Säärase katse tegi esimesena kuulus inglise teaduse-

mees Isaac Newton (aiaek njuutn) 1666. a. See katse näitab, et päikesekiired koosnevad üksikuist värvilistest kiirtest, mis igaüks eri viisi murduvad ja prismast läbi minnes üksteisest eralduvad. Kõige vähem murduvad punased, kõige rohkem violetsed kiired.



110. joon. Spektri tekkimine.

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 lääts, 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**.

91. Värvilised kehad. Seame eelmises paragrahvis kirjeldatud katses valguskiirte kimbu teele enne prismast läbimist 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. Punane klaas neelab kõik teised värvused peale punase, kollane klaas kõik peale kollase jne. Läbipaistvad värvilised kehad lasevad läbi ainult osa spektrivärvusi, teise osa nad neelavad ära. Seepärast paistavad läbi punase klaasi vaadatuna kõik punased ja valged kehad punastena, teised kõik aga mustadena.



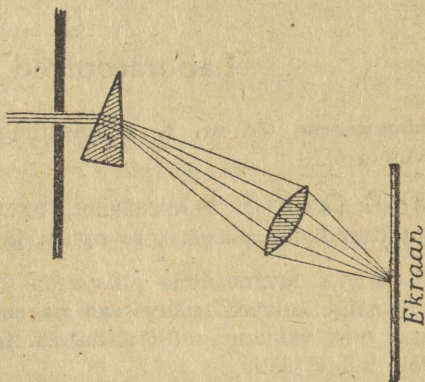
111. joon. Isaac Newton (sünd. 1643. a., surn. 1727. a.), inglise kuulsaim füüsik, avaldas teedrajava tähtsusega töid füüsika, astronoomia ja matemaatika alal. Esitas mehaanika põhilained, gravitatsiooniseaduse, avastas valguse lahutamise jne.

Võtame nüüd värvilise läbipaistmatu keha, näiteks tükikese punast riidet või paberit, ja asetame ta spektririba peale punase värvuse kohale. Keha paistab punasena. Seesama punane keha teiste spektrivärvuste kohal paistab 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 mittepunased 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.

Läbipaistmatud värvilised kehad peegeldavad tagasi ainult osa spektrivärvusi, teise osa nad neelavad ära.

Muidugi peegeldub osa kehapinnale langevaid kiiri otsekohe selle keha välispinnalt, kuid suurem osa tungib keha

õhukese pinnakihi sisse. Pinnakihist väljub ainult väike osa kiiri, mis annab kehale ta värvuse. Mida väiksem on keha, seda suurem on pinnalt peegeldunud kiirte hulk võrreldes nende kiirtega, mis sügavamalt pinna alt tulevad, ja kus puuduvad kiired, mis antud keha ära neelab. See pärast paistavad meile vaht ja väikesed jääkübemekesed (lumi) valgetena, kuna aga vesi ja jää on hoo-
pis teist värvi.



112. joon. Kumerlääts liidab spektrivärvused uuesti kokku.

Nimetada mõned ained, mis pulbrina teistsugused välja näevad kui tükis!

Taeva sinine värvus tuleb 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?

Laboratoorsed tööd.

Laboratoorne töö nr. 1. Magneetimine, tungjooned, magneti ja-
gatavus (§ 6).

Töövahendid. Terasmagnet, tükike terastraati (sukavarras),
tangid (traadi löikamiseks), rauapuru ja valget paberit.

Töökäik. Magneedime sukavarda § 6 antud juhtnõotide koha-
selt. Et näha, kui võrd sukavarras magneeditud on, pistame ta raua-
purusse ning vaatame, millisel määral ja kus kohal rauapuru suka-
vardale külge jääb.

Sukavarda magneeditulist olekut võime kindlaks teha veel järg-
miselt. Asetame magneeditud sukavarda rõhtsalt lauale ja katame
ta valge paberiga. Nüüd raputame paberile sukavarda kohale peeni-
kest rauapuru, nii et paber sukavarda läheduses rauapuruga enam-
vähem ühtlaselt kaetud oleks. Koputame paberile, siis asetub raua-
puru korrapäraselt niitidena nn. tungjoonte sihis. Jälgime tungjoonte
käiku, kus nad algavad ja kus lõpevad.

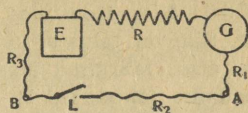
Kui sukavarda puhul tungjooned küllalt selgesti nähtavale ei tule,
siis korrata sama katsed terasmagnetiga. Juhul, kui on võimalik ka-
sutada väikest magnetnõela, siis jälgida, kuidas asetub magnetnõel
tungjoonel.

Lõikame magneeditud sukavarda pooleks ja määrame ta poolu-
sed. Poole sukavarrast lõikame uuesti pooleks ja leiame jälle poolu-
sed. Toimime sedaviisi nii kaua kui võimalik. Milline korrapärasus
ilmneb magneti poolitamisel?

Laboratoorne töö nr. 2. Elektrivooluahela koostamine.

Töövahendid. Taskulambi patarei või mõni galvaani element,
reostaat, galvanomeeter, lüliliija, juhtmeid, klemme.

Töö käik. Moodustame vooluahela elemendist (E), galvanomeetrist (G), reostaadist (R), lülilast (L) ja juhtmetest R_1, R_2, R_3 (joon. 113). Reostaadiga reguleerime voolu sellise tugevuseni, mida saaksime mõõta kasutada oleva galvanomeetriga. Lülitades ahela, märgime osuti asendi, mis ühtlasi näitab voolu suunda kui ka tugevust. Nüüd kombineerime ahela ümber sel viisil, et lülitame galvanomeetri mõnda teise ahela punkti, näiteks A või B. Milline on voolu suund ja tugevus nüüd? Milline korrapärasus järgneb eelmistest katsetest voolu suuna ja tugevuse kohta vooluahela millises tahes kohas? — Kõik juhtmete ja riistade ühendused tuleb teha korralikult. Vool lülitada ainult vaatluste ajaks.



113. joon. Vooluahel.

Laboratoorne töö nr. 3. Galvaani elementide järjestikune ja paralleelne ühendamine.

Töö vahendid. Voltmeeter, vähemalt 2 taskulambi patareid või galvaani elementi, juhtmeid ja klemme.

Töö käik. Mõõdame voltmeetriga iga üksiku elemendi pinget ja märgime selle oma töövihikusse. Ühendame kõik elemendid järjeklikku, s. o. ühe elemendi plusspooluse teise elemendi miinuspoolusega, ja mõõdame saadud patarei pinget. Mõõtmistulemused kirjutada tabelina töövihikusse.

Elementide pinget voltides				Patarei pinget
E_1	E_2	Summa	

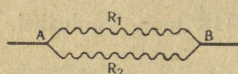
Milline korrapärasus ilmneb eelmistest mõõtmistulemustest? Sõnastada see ja kirjutada töövihikusse.

Nüüd ühendame elemendid rööpselt, s. o. plusspoolused omavahel ja miinuspoolused omavahel, ning mõõdame saadud patarei pinget. Võrrelda seda ühe elemendi pingega. Milline korrapärasus esineb siin? Vaatlustulemused ja sõnastus kirjutada töövihikusse samuti kui järjestikuse ühenduse puhul.

Laboratoorne töö nr. 4. Takistuste järjestikune ja paralleelne ühendamine.

Töövahendid. Galvanomeeter, galvaani element, kaks-kolm suuremat takistust (pikemad peenikesed isoleeritud traaditükid), reostaat, lülilja, klemme.

Töökäik. Koostame vooluahela vastavalt 113. joon. antud skeemile. Siin on takistused R_1 ja R_2 ühendatud järjestikku, s. o. teineteise otsa. Märkime üles galvanomeetri näitamise (lugemi). Nüüd ühendame takistused R_1 ja R_2 paralleelselt, s. o. mõlemad takistusjuhtmed algavad ja lõpevad samas punktis (joon. 114). Lülitame voolu



114 joon. Takistuste paralleelne ühendus.

ja paneme tähele galvanomeetri näitamist. Millest võis tulla voolutugevuse suurenemine takistuste R_1 ja R_2 paralleelse ühendamise puhul? Sõnastada, milline on paralleelselt ühendatud juhtmete takistus, võrreldes samade juhtmete takistusega, kui nad on ühendatud järjestikku.

Selgitada katseliselt, kas kahe paralleelselt ühendatud juhtme takistus on suurem või väiksem iga üksiku juhtme takistusest.

Laboratoorne töö nr. 5. Valguse peegeldumisseadused.

Töövahendid. Väike riba ühe sirge servaga peegliklaasi, nõõpnõelu, mõõtjoonel, mall, tikutoos ja valget paberit (§ 71).

Töökäik. Asetame rõhtsale lauale valge paberi ja sellele tikutoosi najale serviti peegliriba. Pistame ühe nõõpnõela püsti lauasse peegli lähedale, teise vähemalt 5 cm temast eemale, nõnda et nõõpnõelu läbiv sirge moodustaks peegligna nurga $40-50^\circ$. Mõlemad nõõpnõelad annavad peeglis kujutised. Kujutiste sihi märkimiseks pistame jälle lauasse kaks nõõpnõela, ühe peegli lähedale, teise eemale. Märkime peegli tagumise pinna asendi paberil sirgega, tõmbame sirged läbi nõõpnõelte asendite ja pikendame nende sihti kuni lõikumiseni peeglipinna läheduses. Nüüd ehitame ristjoone peeglipinnale langemispunktis ja mõõdame malliga langemis- ning peegeldumisnurga. Teha niiviisi vähemalt 3 korda, muutes iga kord langemisnurga suurust. Mõõtmistulemused kanda tabelisse järgmiselt:

Vaatluse jrk. nr.	1	2	3
Langemisnurk			
Peegeldumisnurk			

Milline korrapärasus ilmneb langemis- ja peegeldumisnurkade võrdlusest? Mispärast me harilikult ei näe nõõpnõelte kujutist peegli esipinnast?

Märkus. Langeva ja peegeldunud kiire lõikepunkti saame harilikult pisut eespool peegli pinda, mitte aga peegli pinnal, nagu arvata võiks. Selle põhjus peitub valguskiirte murdumises peeglis, mis toob kunstlikult kiirte lõikepunkti meile lähemale.

Nõõpnõelte puudumisel võib kiirte sihi märkimiseks kasutada lauale asetatud tuletikke.

Laboratoorne töö nr. 6. Kujutise asendi määramine tasapeeglis (§ 73).

Töövahendid. Väike riba ühe sirge servaga peegliklaasi, nõõpnõelu, mõõtjoonel, mall, tikutoos ja valget paberit.

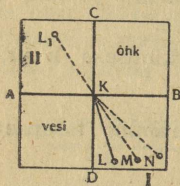
Töökäik. Asetame rõhtsale lauale valge paberi ja sellele tikutoosi näjale serviti peegli riba, mille serva tagumist äärt pidi tõmbame paberile terava pliatsiga joone. Pistame ühe nõõpnõela püsti lauasse peegli ette, temast 5—10 cm kaugusele. Saame peeglis nõõpnõela kujutise, mis ei muuda oma asendit olenedes sellest, kust kohalt peegli eest me teda vaatleme. Kujutise asendi kindlaksmääramiseks fikseerime kahe teineteisest eemale püsti lauasse pistetud nõõpnõela abil sihid, milles nõõpnõel paistab. Nende sihtide lõikepunktid määravadki kujutise asukoha. Määrame sedaviisi nõõpnõeltega vähemalt 4—5 sihti, pikendame neid jooneli abil kuni lõikumiseni ja märgime nende lõikepunktide keskmise asendi, milline võtta nõõpnõela kujutise asendiks. Nüüd ühendame nõõpnõela asendi tema kujutise asendiga ja kontrollime malliga, kas see siht on risti peegli tagumise äärega. Edasi mõõdame nõõpnõela ja tema kujutise asendi kauguse peeglist ning võrdleme neid. Seejuures tuleb arvestada eelmise töö lõpul tehtud märkust. Milline korrapärasus siin esineb?

Nõõpnõelte puudumisel võib sihi määramiseks kasutada lauale asetatud tuletikke.

Huvitav on katsuda otseselt määrata nõõpnõela kujutise asendit. Selleks võtta mõni pikem (peegli laiusest üle ulatuv peenike sirge varras — sukavarras, sirge traaditükike vms.) ja asetada ta just sinna kohta, kus näib olevat kujutis. Kujutis ja tema kohale pandud varras peavad ühte langema igast kohast peegli eest vaadates. See ongi kontrollitunnuseks, kas kujutise asend on määratud õieti.

Laboratoorne töö nr. 7. Valguskiire murdumine üleminekul veest õhku (§ 75).

Töövahendid. Valge papi-, vineeri- või kartongitükk mõõdus umbes 15×15 cm; anum, soovitav klaasist, millesse papitükk serviti sisse mahuks, nõõpnõelu, mall ja joonel.



115. joon. Valguskiire murdumine veest õhku.

30—50° nurgad.

Töökäik. Võtame kvadraatse papitüki selles mõõdus, mis parajasti mahuks serviti kasutada-olevasse anumasse. Tõmbame pliiat-siga läbi papitüki keskkoha rööbiti külgedega kaks teineteisega risti olevat sirget AB ja CD (joon. 115). Papitüki kaitseks niiskuse vastu on soovitav katta ta õhukese vett isoleeriva kihiga (kasta kuuma parafiini või õlisse). Nüüd pistame ühe nõõpnõela papitüki keskkoha (K) ja 2—3 nõõpnõela (L, M, N) papi äärtesse, nii et sirged LK, MK jne. annaksid ristjoonega DK umbes

Täidame anuma ligi ääreni puhta veega ja pistame papitüki serviti vette kuni jooneni AB. Nüüd vaatame vasakpoolsest ülemisest nurgast (II), millisel sihil paistavad nõõpnõelte paarid LK, MK jt., ning märgime need sihid kas papitüki ülemisse äärde pistetud nõõpnõeltega või vastava kriipsuga. See tehtud, kuivatame papitüki, ühendame kõik nõõpnõelte pistekohad punktiga K ja mõõdame malliga sel teel saadud kiirte langemis- (LKD) ja murdumisnurkad (L₁KC). Tulemused korraldada tabelisse järgmiselt:

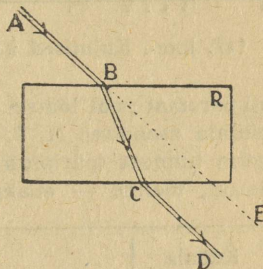
Vaatluse jrk. nr.	1	2	3
Langemisnurk			
Murdumisnurk			

Võrrelda vastavaid langemis- ja murdumisnurka suurus! Mil-line korrapärasus esineb langemis- ja murdumisnurkade vahel valguskiire üleminekul veest õhku?

Laboratoorne töö nr. 8. Valguskiire murdumine tasaparalleelses plaadis (§ 76).

Töövahendid. Tasaparalleelne plaat, nõõpnõelu, valget paberit, joonel.

Töökäik. Asetame klaasplaadi lauale valgele paberile (joon. 116). Langeva kiire AB sihi tähistame kahe nõõpnõela abil: üks (B) plaadi lähedal, teine (A) temast eemal. Läbi plaadi tulnud valguskiire CD sihi märgime samuti kahe nõõpnõela abil. Tõmbame plaadi äärt pidi paberile terava joone ja kõrvaldame plaadi. Nüüd tõmbame läbi nõõpnõelte pistekohtade sirged kuni lõikumiseni plaadi äärjoontega ja ühendame saadud punktid B ja C sirgega. Murdjoon ABCD kujutabki valguskiire käiku murdumisel läbi tasaparalleelse plaadi. Kuidas määrata kiire kõrvalekaldumist esialgsest sihist (AB)? Millest oleneb kõrvalekaldumise suurus?



116. joon. Murdumine tasaparalleelses plaadis.

Ehitada langemis- ja murdumisnurged ning võrrelda neid isekeskis.

Laboratoorne töö nr. 9. Valguskiire murdumine prisma (§ 77).

Töövahendid. Klaasprisma, nõõpnõelu, joonel, valget paberit.

Töökäik. Asetame prisma otseti rõhtsale lauale valgele paberile, nagu kujutatud joon. 87. Valguskiire sihi märgime kahe nõõpnõela abil: üks prisma lähedal, teine eemal. Vaatame teiselt poolt prisma läbi prisma tulnud kiirte sihti, millel asetsevad nõõpnõelad, ja märgime selle sihi jälle kahe teineteisest eemal seisva nõõpnõela abil. Nüüd tõmbame prisma äärt pidi paberile terava joone, kõrvaldame prisma ja ehitame valguskiire tee läbi prisma samuti, nagu see on tehtud joon. 79.

Kuhupoole kalduvad prismast läbiminevad valguskiired? Kuhupoole nihkub läbi prisma nähtava eseme kujutis võrreldes esemega?

Laboratoorne töö nr. 10. Kumerläätsse fookuse kauguse määramine ja kujutised (§ 79).

Töövahendid. Kumerlääts fookusekaugusega umbes 20 cm, küünal, valge ekraan ja mõõtjoonel.

Töökäik. Otsese päikesevalguse kasutamisel koondame päikesekiired fookusesse ja mõõdame fookusekauguse. Otsese päikesevalguse puudumisel määrame ligikaudse fookusekauguse mõne võimalikult kaugel põleva lambi või küünla abil.

Paneme läätse kesk lauda ja tähistame mõlemal pool läätse mõne esemega laual punktid, mis vastavad ühe- ja kahekordse fookuse kaugusele (joon. 91).



117. joon. Kujutised kumerläätses.

Asetame põleva küünla, nagu kujutatud joonisel, ning vaatame, kus asub ja milline on ta kujutis. Nihutame küünalt järk-järgult vasakule ja leiame iga asendi kujutise ekraanil paremal pool läätse. Vaatleme küünla kujutist joon. 117 tähistatud küünla asendites (1, 2, ... 6) ja iga asendi kohta märgime kujutise kolm tunnust (päripidine — ümberpööratud; suurendatud — vähen- datud; tõeline — ebakujutis) tabelisse järgmiselt:

Küünla asendid	Kujutiste tunnused
1	
2	

Määrata katseliselt, kus tekib kujutis, kui küünal paigutada sinna, kus enne oli tema kujutis.

Märkus. Eelmist tööd on soovitatav teha pimedas või nõrgalt valgustatud ruumis. Sobivate võimaluste puudumisel koolis, teha see töö kodus.

SISUKORD.

Magnetism.

	Lk.
Magnetilised põhinähtused	3
Magnetiväli	8

Elekter.

Hõõrdumiselekter	13
Õhuelekter	25
Elektrivool ja selle omadused	27
Elektrolüüs	40
Voolusoojus	47
Elektrivoolu magnetiline toime	57
Induktsioonvool ja generaator	67

Hääl.

Hääle tekkimine ja levimine	77
Inimese hääl ja kuulmine	86

Valgus.

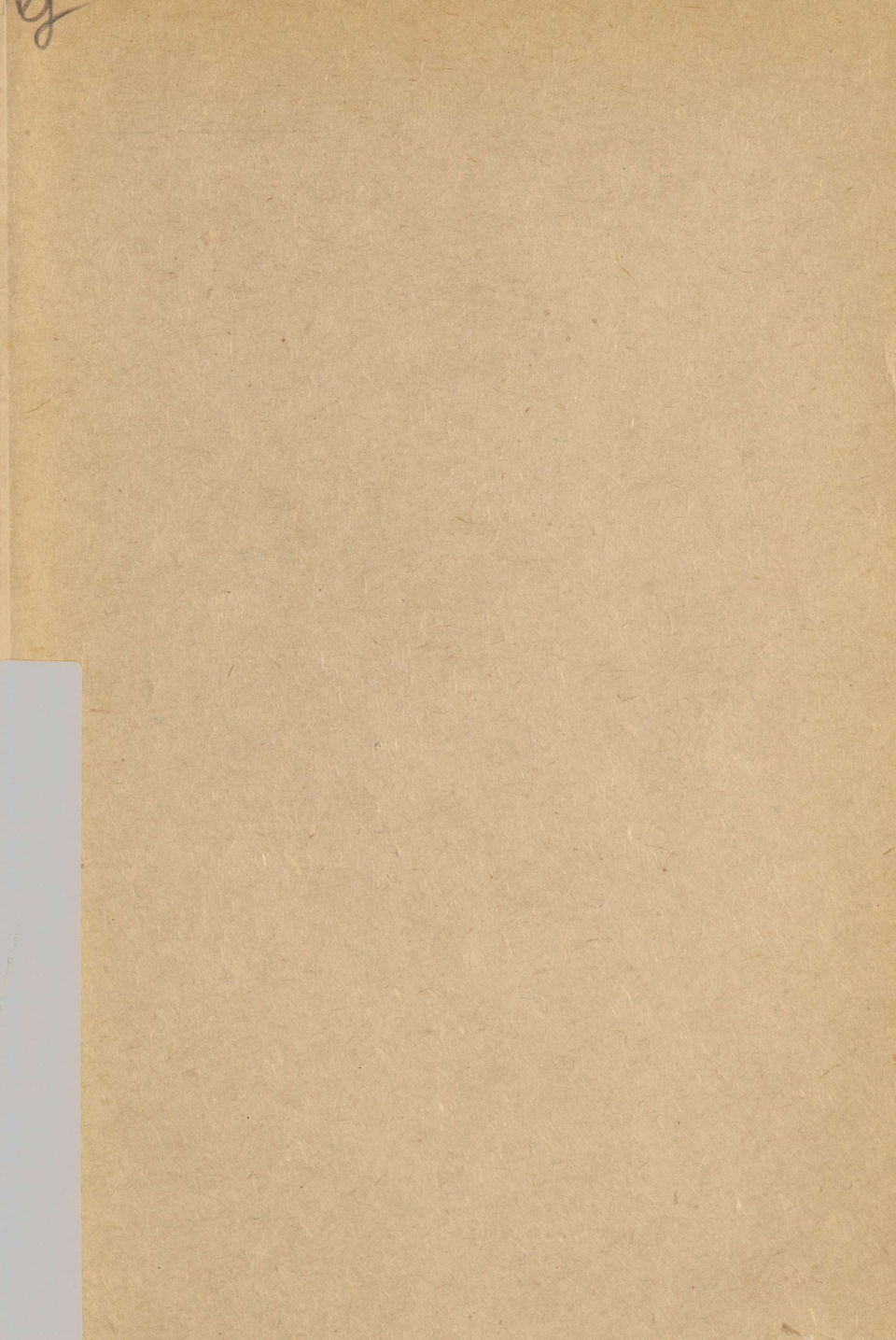
Valguseallikad ja valguse levimine	90
Valguse peegeldumine	94
Valguse murdumine	101
Optilised läätsed	105
Optilised riistad. Silm ja nägemine	108
Spekter	120
Laboratoorsed tööd	124

Vastutav toimetaja Joh. Käis.

Ladumisele antud 1. IV 1946. Trükkimisele antud 20. V 1946. Trükiarv 20.200. Paber 56 x 79, $\frac{1}{16}$.
Trükipoognaid 8,25. Trükitähti trükipoognas 36960. Arvutuspoognaid 7,5. MB-03532. Tellimise nr. 1254. Trükikoda „Kommunist“, Tallinn, Pikk tn. 2.

На эстонском языке.

И. Лавг. Физика для VII класса средней школы.



Rbl. 5.—

A-16142

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00422405 3

Rbl. 5.—

A-16142

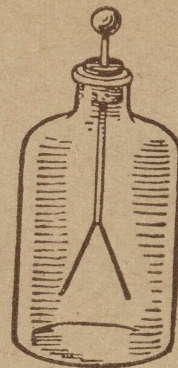
JUHAN LANG : FÜSIKA VII KLASSILE



TÜ RAAMATUKOGU

1 0300 00422405 3

Daplum



FÜÜSIKA

KESKKOOLI VII KLASSILE

JUHAN LANG

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946