
A. I. BATŠINSKI
S. M. ILJAŠENKO

Tehniline füüsika

KÄSIRAAMAT TÖÖSTUS- JA RAUDTEEKOOLIDELE

II OSA

RK „PEDAGOOGI-
LINE KIRJANDUS“
TALLINN • 1946

TÖÖJÕUDUDE RESERVIDE PEAVALITSUS
NSV LIIDU MINISTRITE NÕUKOGU JUURES

A. I. BATŠINSKI JA S. M. ILJAŠENKO

TEHNILINE FÜÜSIKA

KÄSIRAAMAT TÖÖSTUS- JA RAUDTEEKOOLIDELE

II OSA

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“ · TALLINN · 1946



12299
A 16172

K ü m n e s p e a t ü k k .

SOOJUSNÄHTUSED.

§ 140. **Soojus.** Soojusel on inimese elus määratu suur tähtsus: kütteaine põlemisel saadud soojust tarvitatakse majade kütmiseks, metallide sulatamiseks ja töötlemiseks, toidu valmistamiseks. Soojuse abil käivitatakse mitmesuguseid masinaid: autosid, lennukeid, aurikuid, auruturbiine ja teisi jõumasinaid.

Soojust kasutatakse harutihti keemiatööstuses mitmesuguste reaktsioonide läbiviimisel, kuna soojus soodustab arvukaid keemilisi reaktsioone.

Selles peatükis tutvume nähtustega mitmesuguste kehade soojenemisel ja jahtumisel ning selgitame neid viise, kuidas soojus võib kanduda ühelt kehalt teisele kehale. Selle peatüki lõpus tutvume masinatega, mis töötavad kütteaine põlemisel tekkiva soojuse mõjul.

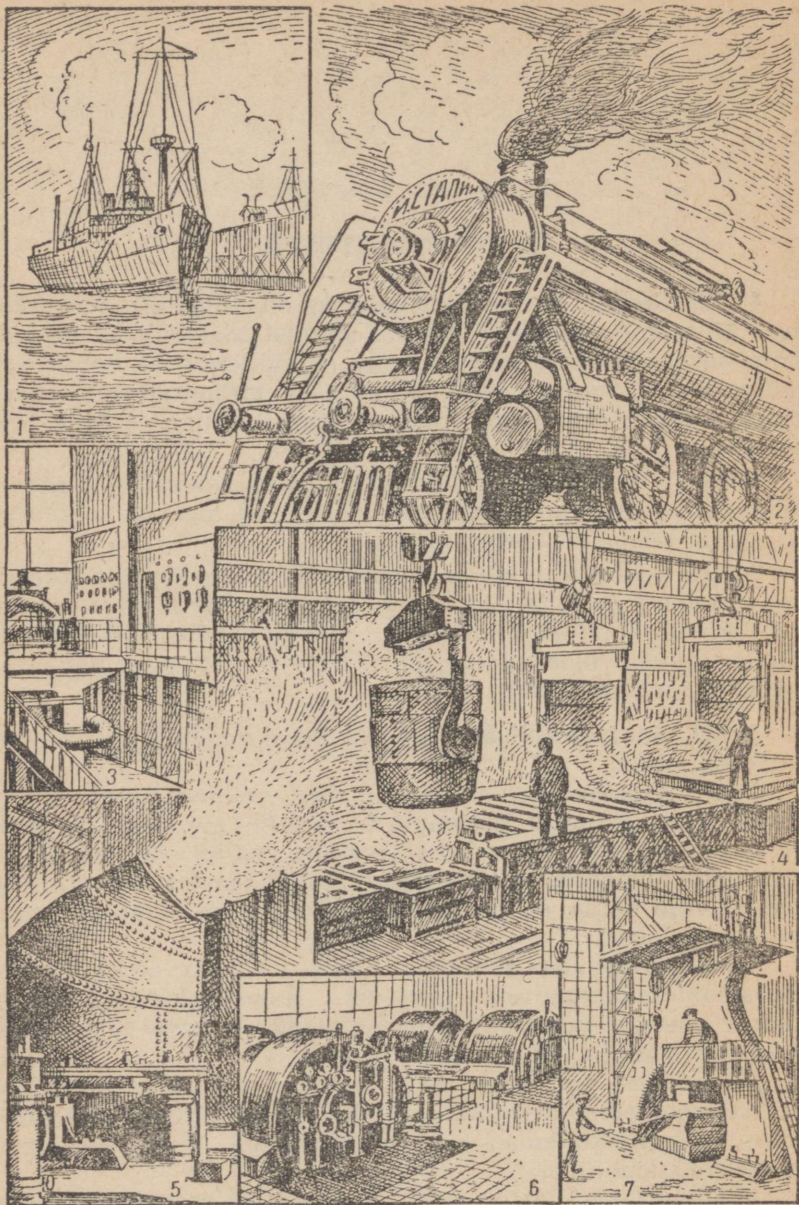
§ 141. **Soojuse allikad.** Meie Maakeral on põhiliseks soojusallikaks Päike.

Peale Päikese on soojusallikaiks mitmesugused kütteained: kivisüsi, nafta, küttepuu, turvas. Ent me teame, et puud ja teised taimed arenevad päikesekiirte mõjul. Ja kivisüsi on tekkinud taimedest mitukümmend tuhat aastat tagasi. Seepärast võib öelda, et igasugune kütteaine on konserveeritud päikesevalgus.

Taime arenemisel muundub päikese kiirgav energia taime koostainete keemiliseks energiaks. Et vabastada kütteaines peituv energia, tuleb kütteaine põletada. Areneva taime poolt kogutud energia vabaneb põlemisel.

Soojust eraldub mitte üksi põlemisel, vaid ka muude keemiliste reaktsioonide puhul, näiteks väävelhappe lahustamisel vees, lubja kustutamisel ja loomaorganismis toimuvail hapendumisreaktsioonidel.

Hingamisel küllastub veri hapnikuga. Vere kaudu satub

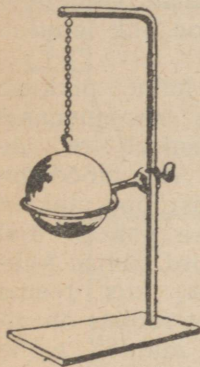


Joonis: Soojus tööstuses: 1 — mootorlaev, 2 — vedur, 3 — elektri soojusjõujaam, 4 — valutöökoda, 5 — Bessemer'i pirn, 6 — auruturbiini saal, 7 — auruvasar.

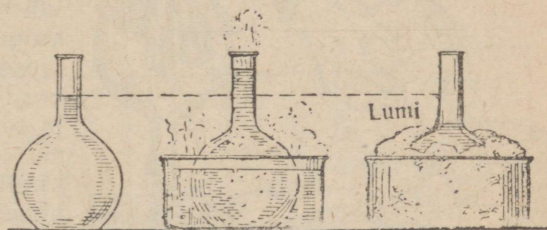
hapnik kõigisse organismi rakkudesse, kus ta ühineb rakkude toiteainetega. Nende reaktsioonide puhul eraldub soojus.

Antud keemilisel reaktsioonil eralduv soojushulk ei olene olukorrast, milles reaktsioon toimub. Näiteks süsiniku ühine-misel hapnikuga inim-organismis (nagu see toimub hingamisel) vabaneb samapalju soojust kui sama suure süsinikuhulga põlemisel õhus.

§ 142. **Kehade paisumine soojendamisel.** Teeme järgmised katsed. Võtame metallkera ja rõnga, millest keha parajasti läbi mahub (joon. 315). Soojendame kera põletileegil. Kuumaksaetud kera ei mahu enam rõngast läbi: kera on paisunud. Jah-



Joon. 315. Kuumaksaetud kera ei mahu rõngast läbi.



Joon. 316. Vedelik paisub soojendamisel ja tõmbub kokku jahtumisel.

tudes mahub kera jällegi rõngast läbi. Järelikult tahked kehad paisuvad soojendamisel ja tõmbuvad kokku jahtumisel.

Valame kolbi mingit vedelikku, näiteks petrooleumi. Mär-gime ära petrooleumi seisu kolvi kaelas (joon. 316) (selleks võib kleepida kolvi kaelale kitsa pabeririba). Asetame petrooleumiga täidetud kolvi kuuma vette. Petrooleumi tase kolvi kaelas tõuseb. Kui aga paneme kolvi lumme, hakkab petrooleumi tase langema. Järelikult: vedelikud paisuvad soojenda-misel ja tõmbuvad kokku jahtumisel.

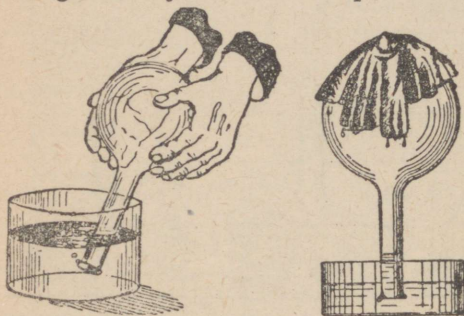
Asetame tühja kolvi kummuli veeanuma kohale, nii et kolvi kael ulatub veepinna alla (joon. 317). Soojendame kolbi leegi abil või kätega (võib kolvi peale ka kuuma vett valada). Kolvi kaelast tuleb õhumullikesi. Nüüd ootame, kuni kolb on jahtunud (jahutamiseks võib kolvile panna peotäie lund või katta ta märja lapiga); me näeme, et vesi tungib kolvisse. Järe-

likult: gaasid paisuvad soojendamisel ja tõmbuvad kokku jahtumisel.

Niisiis võime öelda:

Tahked kehad, vedelikud ja gaasid paisuvad soojendamisel. Gaasid paisuvad soojendamisel kõige rohkem, tahked kehad — kõige vähem.

Kui keha soojenemisel paisub, siis ta ruumala suureneb; järelikult ta erikaal väheneb. Sel põhjusel soe õhk muutub kergemaks ja tõuseb ülespoole.



Joon. 317. Õhk paisub soojendamisel ja tõmbub kokku jahtumisel.

Tahke keha pikkuse muutumine soojenemisel või jahtumisel ei ole kuigi suur. Kui mõõdame täpselt terasrööpa pikkust kord talvise pakase ajal ja teine kord suvise kuumal ilmaga, siis teeme kindlaks, et rööbas on pikenenud ainult mõne millimeetri võrra.

§ 143. **Soojuspaisumine tehnikas.** Tahkete kehade pikenemine soojenemisel põhjustab tehnikas nii mõnegi raskuse.

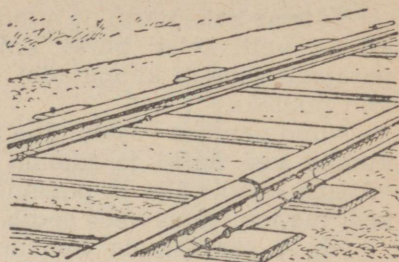
Näiteks, kui ehitaja kinnitaks terastala mõlemad otsad liikumatult seina sisse, siis suure kuumusega tala pikenemine kas purustaks seina või tala koolduks (joon. 318). Seepärast kinnitatakse talad liikumatult ainult ühes otsas, kuna teine ots jäetakse vabaks. Samal põhjusel jäetakse raudteerööbaste otste vahele väike vahe (joon. 319) ja raudteesilla kaare üks ots asetatakse rullidele (joon. 320). Treial, kes töötleb mingit keerukat, erilist täpsust nõudvat detaili (näiteks väntvõlli), peab arvesse võtma asjaolu, et võll soojeneb töötlemisel ning seetõttu pikeneb. Seepärast peab treial aeg-ajalt kontrollima võlli soojusastet, katsudes võlli käega, ja vastavalt sellele reguleerima treipinki. Vastasel korral võll ei tule täpne. Ka mõõteriistad pikenevad soojenemisel, mistõttu täpseid mõõtmisi peab tegema püsiva temperatuuri juures.

Kehade paisumine soojendamisel on paljudel juhtudel kasulik. Nii toimetatakse neetimist alati kuumalt. Needid tõmbuvad jahtudes kokku ja suruvad eseme ääred kõvasti üksteise vastu.

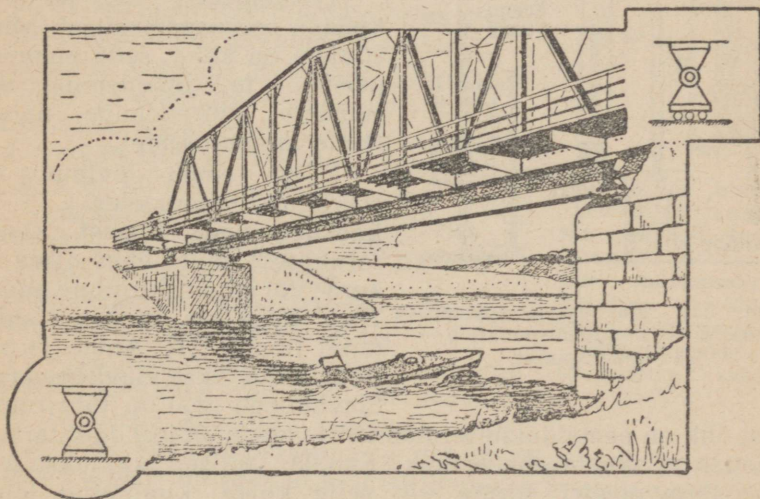
Raudteevagunite ja vedurite malmrataste ümber aseta-



Joon. 318. Terasjala paisumine võib purustada müüri.



Joon. 319. Raudteerööbaste vahe.



Joon. 320. Sillakaare üks ots asetatakse rullidele.

takse terasrehvid (bandaažid). Terasrehvid aetakse rattale alati kuumalt; jahtudes nad lühenevad ja püsivad kindlalt ratta ümber.

§ 144. **Temperatuur ja temperatuuri mõõtmine. Termomeeter.** Et eraldada sooja keha külmast kehast, me sageli kat-

sume käega eset, mille soojusastet me tahame kindlaks teha. Kuid see vahetegemise viis on äärmiselt ebatäpne ja võib põhjustada jämedaid vigu; selle tõenduseks teeme järgmise katse.

Võtame kaks purki ja mingisuguse kausi. Uhte purki valame külma vett, teise purki kuuma vett (mille kuumust käsi parajasti suudab kannatada). Kaussi valame külma ja kuuma vett pooleks.

Nüüd paneme vasaku käe külma vee purki, parema käe aga kuuma vee purki ja jätame käed sinna 1—2 minutiks. Siis võtame käed välja ja paneme nad ühekorraga kaussi. Vasak käsi tunneb leiges vees sooja, parem külma.

Me ei saa uskuda kehade soojusastme määramisel oma aistinguid.

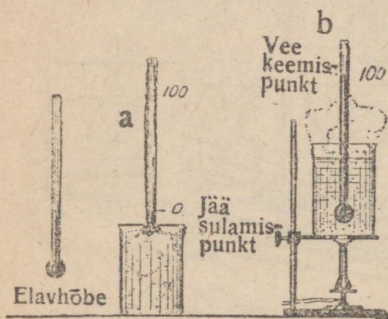
Et veatult eraldada sooje kehi külmadest, kasutatakse erilist seadeldist — termomeetrit (kraadiklaasi).

Termomeetri töö põhineb kehade soojuspaisumisel. Mida soojem on keha, seda enam ta paisub; ta pikenemine või ruumala suurenemine näitab meile ta soojusastet.

Kõige enam levinud on elavhõbe-termomeeter. Ta koosneb väga kitsast klaasitorukesest, mille ühes otsas on kera- või silindrikujuline anum. Toru teine ots on kinni sulatatud (joon. 321). Anum ja osatorust täidetakse elavhõbedaga. Elavhõbeda peal on tühi ruum,

kust õhk on eemaldatud termomeetri valmistamisel. Igal termomeetril on skaala ehk astmik. Skaala jaotised kantakse kas otse termomeetri torule või selle külge kinnitatud lauakesele.

Skaala valmistamisel märgitakse kõigepealt ära kaks põhipunkti. Üks neist punktidest on jää sulamispunkt. Selle punkti määramiseks asetatakse termomeeter puhta, sulava lume sisse või peenendatud jäätükikeste vahele (joon. 321-a); elavhõbedasammal langeb. Kohta, kuhu elavhõbeda sammal seisma jääb, tõmmatakse kriips; see kriips näitab „jää sulamispunkti“. Teine termomeetri põhipunkt on „vee keemispunkt“. Selle märkimi-



Joon. 321. Elavhõbe-termomeetri ehitus: a — jää sulamispunkt; b — vee keemispunkt.

seks asetatakse termomeeter keeva veega täidetud anumasse (joon. 321-b). Elavhõbe paisub ja elavhõbeda sammas tõuseb teatava punktini, mis ongi „vee keemispunktiks“. Kui need mõlemad põhipunktid on ära märgitud, siis jaotatakse vahe nende vahel 100 võrdseks osaks; samasuured jaotised tehakse allpool jää sulamispunkti ja pealpool vee keemispunkti. Neid jaotisi nimetatakse Celsiuse kraadideks ehk pügalateks (sõna „kraad“ asendatakse sageli märgiga $^{\circ}$; näiteks kirjutatakse 100 kraadi ehk 100°).

Jää sulamispunkti kohale kirjutatakse null; vee keemispunkti kohale 100. Vastavalt sellele nummerdatakse ära ka teised jaotuskriipsud. Nullist allpool asetsevad kraade nimetatakse külmakraadideks. Joonis 322 näitab enamtarvitavaid termomeetreid ja temperatuuri kraadide märkimist.

Elavhõbe külmub 39 kraadi juures allpool nulli ja elavhõbe-termomeetrit ei saa siis kasutada. Sellepärast tarvitatakse sageli teiste vedelikkudega täidetud termomeetreid, mis ei külmu suures pakases. Selliseks vedelikuks on näiteks piiritus. Et termomeetri piiritusesammas paistaks paremini välja, piiritus värvitakse.

Temperatuuriks nimetatakse keha soojusastet, mida näitab termomeeter.

Atmosfäärilise õhu temperatuur muutub võrdlemisi kitsastes piirides: 68 kraadist allpool nulli 60 kraadini pealpool nulli. Terve inimese kehatemperatuur on 36 kuni 37 kraadi üle nulli. Järgnevas tabelis on toodud mõned looduses ettetulevad temperatuurid.

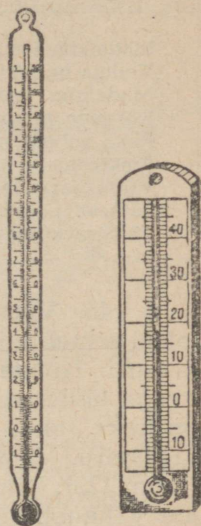
Ülesanne 1. Termomeeter näitas öösel 4° alla nulli ja päeval 6° üle nulli. Mitme kraadi võrra oli temperatuur tõusnud?

Ülesanne 2. Jäätise temperatuur on 2° alla nulli. Kui palju on jäätis inimese kehast külmem? (Inimkeha temperatuur on 37° üle nulli.)

Vastus: 39° võrra.

Ülesanne 3. Mitme kraadi võrra on keev vesi inimkehast soojem?

Vastus: 63° võrra.



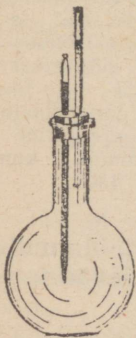
Joon. 322. Elavhõbe-termomeetrid: paremal termomeeter õhusoojuse mõõtmiseks, vasakul — täpsem termomeeter temperatuuride mõõtmiseks kuni 150° .

Temperatuuride tabel.

	Temperatuur
Madalaim temperatuur	273° alla nulli
Vedela heeliumi keemise temperatuur	272° " "
Madalaim temperatuur talvel	68° " "
Kõrgeim temperatuur suvel	60° üle "
Raua sulamistemperatuur	1 530° " "
Elektrilambi hõõgniidi temperatuur	2 000° " "
Voltakaare leek	3 500° " "
Päikese pind	6 000° " "
Päikese sisemus	1 000 000° " "

§ 145. **Vee paisumise iseärasusi.** Vee paisumine soojendamisel erineb teiste kehade paisumisest. Veel on mõningaid iseärasusi. Nende selgitamiseks teeme järgmise katse. Võtame veega täidetud laia kaelaga kolvi ja suleme ta korgiga, milles on kaks auku. Ühest august pistame läbi termomeetri, teisest klaastoru. Valame kolbi niipalju vett, et vesi ulatuks torusse (joon. 323). Viime kolvi pakase kätte. Me näeme, et vee ruumala väheneb selle momendini, kui vee temperatuur langeb 4 kraadi peale. Edasisel jahtumisel hakkab vee ruumala jälle aeglaselt suurenema. Viimaks langeb temperatuur nullini: vesi hakkab pikkamööda külmuma. Seejuures veetase torus tõuseb kiiresti ja vesi hakkab koguni torust välja voolama. Enne kui kogu vesi muutub jääks, voolab kolvist välja umbes üks kümnendik vett.

Nii siis:

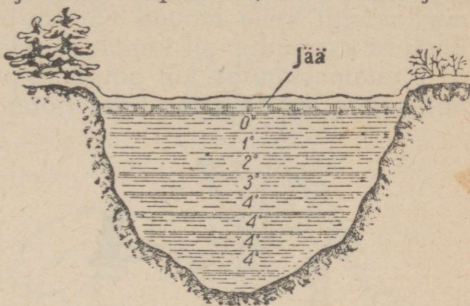


Joon. 323.
Vee paisumise uuring.
mine.

4° juures on vesi kõige väiksema ruumalaga ja järelikult kõige suurema tihedusega. Kui vee temperatuur tõuseb neljast kraadist kõrgemale, vee ruumala suureneb. Kui temperatuur langeb 4 kraadist nullini, vee ruumala suureneb samuti.

Külmumisel vee ruumala suureneb väga tunduvalt: jää tihedus on 0,9 vee tihedusest. Seetõttu püsibki jää veepinnal ning jõed ja järved ei külmu talvel põhjani kinni.

Talvel, kui järve või jõe vesi jahtub pikkamööda, vajuvad külmemad veemassid madalamale. See kestab kuni terve veekogu temperatuur langeb 4 kraadini. Pärast seda on külmemad veekihid kergemad ja jäävad veepinnale, kuni tekib jääkord, mis samuti püsib pealvee. Sel põhjusel ei jäätu jõed ja järved talvel põhjani (joon. 324).



Joon. 324. Vee temperatuur jäätunud järves.

Vee paisumise iseärasusel on looduses määratu suur tähtsus. Kui jõed ja järved külmuksid põhjani kinni, ei saaks elu seal püsida: kalad ja teised elusolevused peaksid talvel hukkuma. Suvel aga sulaksid veekogud lahti väga visalt, kuna tekki-

nud soe vesi jääks peale ujuma ja jää seisaks raske kihina põhjas. Sel juhul põhjapoolsemad jõed ja järved sulaksid lahti ainult pinnalt. Kui ei oleks vee paisumise kirjeldatud iseärasust, oleks elu maakeral praegusest hoopis erinev.



Joon. 325. Soojus kandub tõlvikult tinatükile.

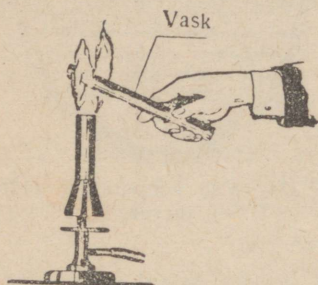
§ 146. **Soojuse levimine.** Me teame, et soojus levib kesk- kütte-radiaatorilt toa õhule. Jootmisel kandub soojus tõlvikult tinatükile (joon. 325). Leegi ja koldegaaside kuumus kandub kolde seintele ja aurukatlale.

**Soojus võib levida soojematelt kehadelt külmematele.
Kuid soojus ei levi kunagi külmematelt kehadelt soojematele.**

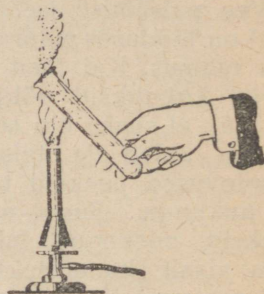
Soojuse levimine soojematelt kehadelt külmematele võib toimuda kolmel viisil: soojusejuhtivuse, kiirgumise ja konvektsiooni teel.

Soojusejuhtivuseks nimetatakse soojuse levimist mingit keha mööda või soojuse vahenditult kandumist ühelt kokkupuutuvalt kehalt teisele kehale.

Süütame küünla või põleti ja pistame leegisse vasktraadi, mille ühte otsa hoiame käes (joon. 326). Mõne aja möödudes



Joon. 326. Vask on hea soojusejuht.



Joon. 327. Vesi on halb soojusejuht.

muutub traat nii kuumaks, et sellest on võimatu kinni hoida: vasktraat juhib soojust küünla leegist meie käe juurde.

Katseliselt on kindlaks tehtud:

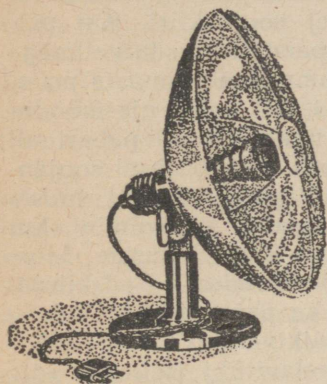
Kõik metallid on head soojusejuhid.

Kõige paremaks soojusejuhiks on hõbe, siis järgnevad vask, kuld, alumiinium, raud, plii. Seadmed, mille ülesandeks on suure soojushulga kogumine või äraandmine, tehakse häist soojusejuhtidest. Näiteks autode ja lennukite radiaatorid valmistatakse vasest.

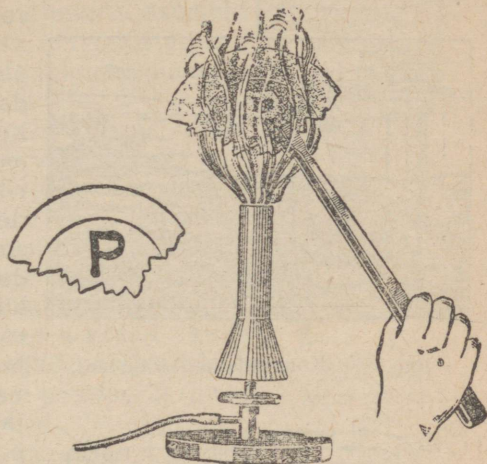
Vedelikud ja eriti gaasid on väga halvad soojusejuhid.

Asetame veega täidetud katseklaasi põleti leegisse (nagu näitab joon. 327); katseklaasi ülemises osas hakkab vesi keema, kuna alumises osas on ta täiesti külm.

Tahkete kehade hulgas on kõige halvemaiks soojusejuhtideks igasugused poorsed kehad, mis sisaldavad palju õhku. Sel põhjusel on puit ja telliskivi halvemad soojusejuhid kui betoon või graniit. Eriti halbu soojusejuhte nimetatakse soojuse isolaatoreiks. Kõige halvemini juhivad soojust karusnahk



Joon. 328.
Soojuskiired peegelduvad reflektorilt.



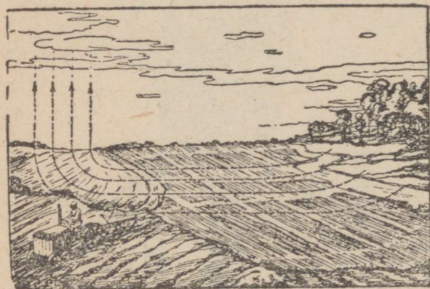
Joon. 329. Mustad ja karedad kehad kiirgavad paremini kui valged ja läikivad. Must täht valge portselani põhjal helendab tules eredamalt kui portselan ise.

ja vill; järgnevad kork, siid, vilt, saepuru, klaasvatt, räbu ja asbest. Taliriideid, mis peavad kaitsma meie keha külma vastu (see on soojuse kao vastu), valmistatakse karusnahast või villast. Aurukatelde välisseinad, kuumaveetorustikud, kergesti rikki minevate ainete külmad laohooned on eraldatud välisõhust mingi halva soojusejuhiga: korgipurust plaatide, asbesti, vildi, räbu või muu sarnasega.

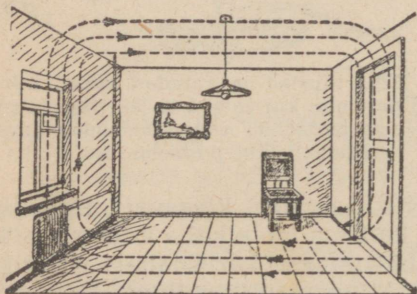
Kiirgumiseks nimetatakse soojuse ülekandumist valgus- ja soojuskiirte näol. Kehad, millele langevad soojus- või valguskiired, soojenevad. Kogu soojus, mida Maa saab Päikeselt, tuleb meile kiirte näol.

Kehad, mille temperatuur ei ole kõrge (näiteks keskkütteradiaatorid), annavad ära nähtamatute soojuskiirtena ainult väikese osa oma kogusoojusest. See-eest hõõguvad kehad (näiteks elektrilambi hõõgniit, voltakaare leek, kuum teras) annavad soojust ära peaaegu ainult kiirgamise teel.

Soojuskiired võivad peegelduda siledatel, valgetelt või läikivatelt pindadel. Sellel põhineb näiteks elektriühju reflektori ehitus (joon. 328). Elektrivool paneb hõõguma kumera metallpeegli läheduses asetseva traatspiraali. Peegel paiskab soojuskiired soovitud suunas. Neid soojuskiiri võib tunda suures kauguses ahjust.



Joon. 330. Konvektsioon looduses.



Joon. 331. Konvektsioon toas.

Mustad ja karedad kehad absorbeerivad (neelavad endasse) soojuskiiri. Kui päikesepaistelise talveilmaga asetame lumele musta paberitüki, siis mõne aja möödudes hakkab lumi paberi all sulama. Sel põhjusel soojendavad päikesekiired musta künnimaad tugevamini kui rohuga kaetud nurme. Mustad ja karedad kehad kiirgavad ka paremini kui valged ja läikivad. Võtame valge portselanitüki (selleks võib olla mõni taldrikukild), millele on musta värvi või tahmaga kirjutatud mingisugune täht. Nüüd kuumutame portselani põletileegis punaseks. Me näeme, et must täht helendab tugevamini kui valge portselan (joon. 329). Selle põhjuseks on asjaolu, et must pind kiirgab valgest pinnast paremini.

Atmosfääriline õhk laseb päikesekiired vabalt läbi; seejuures ei soojene õhk peaaegu üldse. Päikesekiired soojendavad maapinda. Õhk saab oma soojust maapinnalt soojust juhitud ja konvektsiooni teel.

Konvektsiooniks ehk soojust edasikandumiseks nimetatakse soojust levimisviisi otseselt soojenenud gaasi või vedeliku osakeste kaudu.

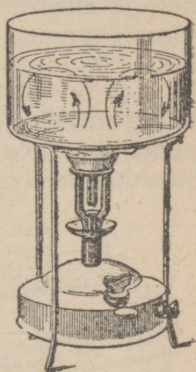
Konvektsioon toimub looduses pidevalt: põllu või nurme kohal leiduv õhk soojeneb ja paisub. Seetõttu ta muutub ker-

gemaks ning tõuseb üles, viies endaga kaasa soojust; kõrgemale tõusnud õhu asemele voolab uut, külmemat õhku (joon. 330). Need õhuvoolud tekitavad tuult. Konvektsioon tekib ka kinnises ruumis: keskkütte-radiaatori või ahju läheduses soojenenud õhk paisub, tõuseb ülespoole ja viib endaga kaasa soojust; ta asemele voolab külmemat õhku (joon. 331). Õhuliikumist toas võib kergesti näha, jälgides tubaka-suitsu teed.

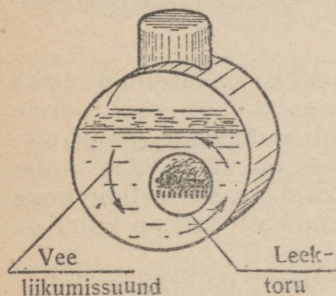
Konvektsioon tekib ka veeanumas, mida soojendatakse altpoolt. Soe vesi kerkib pinnale, viies endaga kaasa soojust. Sooja vee asemele tuleb jahedamat vett (joon. 332).

Kui vett soojendatakse pealtpoolt, siis konvektsiooni ei teki, kuna soojenenud vesi jääb pinnale. Mere ja ookeani sügavuses on alati ühtlane temperatuur — umbes 4 kraadi, kuna päikesest soojendatud vesi ujub pealpool külma vee kihti. Vee jahenemisel pealtpoolt (nagu see leiab aset talvel) langevad ülemised veekihid alla, kuni temperatuur saavutab 4 kraadi.

Pärast seda konvektsioon lõpeb, kuna edaspidisel jahtumisel vesi paisub uuesti.



Joon. 332.
Konvektsioon
vees.



Joon. 333. Leektoru katel.

Paljudel juhtudel, näiteks hõõguva teraspulga jahtumisel, levib soojus ümberolevaile kehadele kõigil kolmel viisil: soojusejuhtivuse teel (põrandale, millel teraspulk seisab), kiirgumise ja konvektsiooniga (ümbritsevale õhule ja ruumi seintele).

Küsimus 1. Metalseid teekannusid varustatakse portselanist või puust käepidemetega. Milleks seda tehakse?

Küsimus 2. Kuidas kaitsevad kahekordsed aknad külma eest?

Küsimus 3. Mispärast paigutatakse keskkütte-radiaatorid alati akna alla ja mitte akna peale?

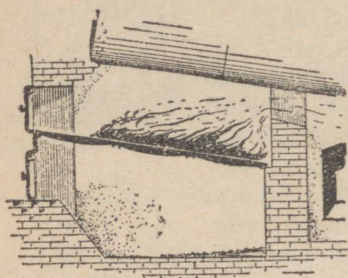
Küsimus 4. Joonis 333 kujutab katelt. Mispärast on kütetoru katla seinale lähedal ja mitte katla keskel?

Küsimus 5. Nimetada juhtusid, kus soojuse levimine on kasulik.

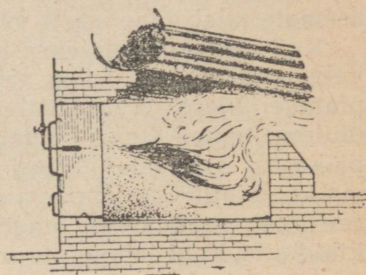
Küsimus 6. Nimetada juhtusid, kus soojuse levimine on kahjulik.

Küsimus 7. Miks on sauna laval kuumem kui sauna põranda lähedal?

§ 147. **Kollete ehitus.** Kolletes, kus põletatakse kütteainet (joon. 334 ja 335), toimub soojuse levimine kõigil kolmel viisil. Põlev kütteaine ja põlemisel tekkiv leek kiirgavad valgust ja soojust. Tekkivad kiired peegelduvad tulekindlate seinte pinnalt ja absorbeeritakse katla välispinna poolt. Põlemisel tekkinud kuumad gaasid viivad endaga kaasa osa soojust. Lahkunud koldegaaside asemele tuleb resti kaudu värsket õhku. Nii tekib koldes konvektsioon. Koldegaasid puutuvad kokku katlaseintega ja annavad neile osa oma soojust. Katlaseinte poolt absorbeeritud soojus levib soojusejuhtivuse teel katlas sisalduvale veele.



Joon. 334. Kolle söeküttele.



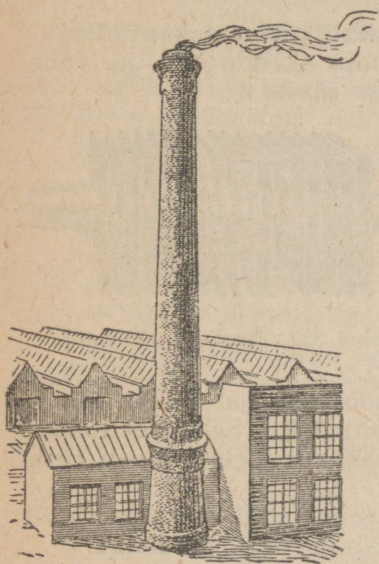
Joon. 335. Kolle naftaküttele.

Soojuse levimise soodustamiseks peavad katlaseinad olema tehtud mõnest heast soojusejuhist: terasest või veel parem vasest. Katla sisemust tuleb korralikult puhastada sinna tekkinud katlakivist, mille soojusejuhtivus on väike. Kui katlaseinad on kaetud katlakiviga, ei jõua koldegaasid katlale anda oma soojust ja lendavad korstnasse kuumalt: selline katel on ebaökoonoomne.

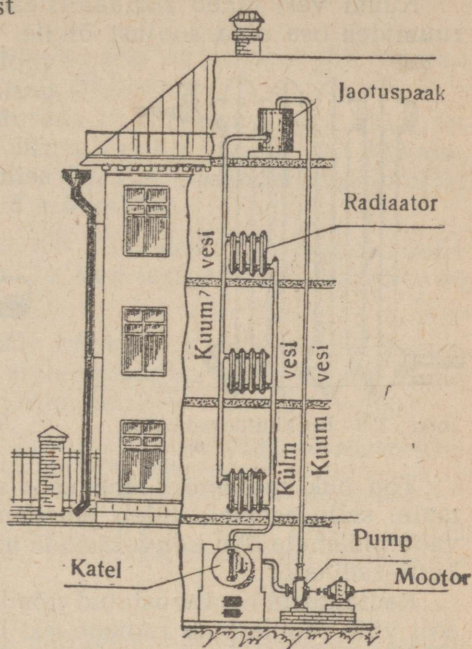
Et soojus ei hajuks ümberolevasse ruumi, müüritakse kolde seinad väljastpoolt mingisuguse halva soojusejuhiga.

Et kiirendada õhu liikumist koldes, ehitatakse korstnaid (joon. 336). Sooja õhu sammu korstnas kaalub vähem kui samasuur atmosfäärilise õhu sammu; seetõttu on õhurõhk koldes väiksem kui atmosfääriline rõhk: õhk, tungides resti kaudu koldesse, tõuseb korstnas ülespoole. Mida kõrgem on korsten, seda suurem on rõhuvahe ja seda tugevam on õhutamme.

Vaatamata ehitajate leidlikkusele ei saa ehitada kollet, kus põlemisel tekkinud soojus läheks terves ulatuses ettenähtud otstarbeks: osa soojust läheb ikkagi korstnasse.



Joon. 336. Vabriku korsten.



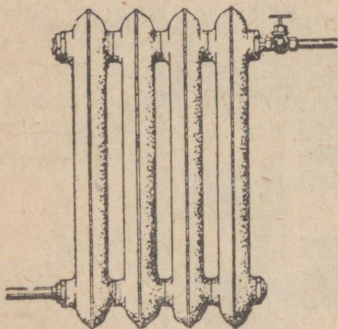
Joon. 337. Vesiküte.

§ 148. **Keskküte.** Suuri maju varustatakse keskküttega: maja keldri asetatakse suur ahi, mille soojus levib konveksiooni teel kogu majas.

Keskkütte levinumaks liigiks on vesiküte (joon. 337). Keldris asetseb veekatel koldega, katlast väljub toru, mille kaudu kuum vesi pumbatakse maja pööningul olevasse jaotuspaaki. Jaotuspaagist tuleb mitu jaotustoru (üks jaotustoru on näidatud meie joonisel). Jaotustorud ühendatakse radiaatoritega, mis paigutatakse köetavisse ruumidesse. Joonis 338 kujutab radiaatorit, mis koosneb mitmest elemendist. Igas elemendis on kaks sileda pinnaga malmtoru. Mida suurem on köetav ruum, seda rohkem peab olema radiaatori-elemente. Tarvitatakse ka nn. ribidega radiaatoreid, mis koosnevad lühikestest

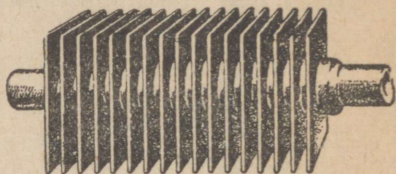
malmtorudest, mille küljes on rida malmplaate ehk ribisid (joon. 339).

Kuum vesi läheb radiaatoritest läbi ja annab köetavais ruumides osa oma soojust õhule. Jahtunud vesi voolab ära-voolutorude kaudu katlasse tagasi.



Joon. 338. Keskkütte-radiaator.

Harilikult seatakse radiaatorid üles akende alla ja väliseinte äärde.



Joon. 339. Ribidega radiaator.

Toa õhk radiaatori läheduses soojeneb ja tõuseb kõrgemale; selle asemele tuleb jahedamat õhku. Sel moel toimub vahetpidamata õhu konvektsioon toas, kus asetseb kuum keskkütte-radiaator.

Radiaatorid on varustatud nõndanimetatud ventiiliga, mille abil võib reguleerida radiaatorist läbivoolava vee hulka.

§ 149. **Soojushulga mõõtmine. Kalor.** Et soojendada vett aurukatlas, peame koldes põletama teatava hulga kütteainet. Mida suurem on põletatud kütteaine hulk, seda enam soojust saab katel. Et arvutada, kui palju kütteainet tuleb ära põletada, peab teadma, kui palju soojust läheb katla soojendamiseks. Selleks peame kõigepealt tutvuma soojushulga mõõtmisega.

Soojushulka mõõdetakse kalorites.

Kaloriks nimetatakse soojushulka, mis on vajalik ühe grammi vee soojendamiseks ühe kraadi võrra.

Tehnilistes arvutustes kasutatakse suuremat ühikut, mis võrdub 1000 kaloriga. Seda ühikut nimetatakse kilokaloriks. Üks kilokalor tõstab ühe kilogrammi vee temperatuuri ühe kraadi võrra.

Lühendatult tähistatakse kalorit cal ja kilokalorit kcal.

Jahtumisel ühe kraadi võrra annab 1 gramm vett ühe kalori ja üks kilogramm vett — ühe kilokalori. Mida suurem on soo-

jendatava vee mass (aine hulk) ja mida kõrgemat temperatuuri tahetakse saavutada, seda suurem on vee soojendamiseks tarvisminev soojushulk.

Näide 1. Leida soojushulk, mis on vajalik 400 grammi vee soojendamiseks 10 kraadilt 30 kraadini.

1 grammi vee soojendamiseks 1° võrra on vaja 1 kalor; et soojendada $30^{\circ}-10^{\circ} = 20^{\circ}$ võrra, vajab 1 gramm vett 20 kalorit. Nelisada grammi vett vajavad samadel tingimustel $20 \cdot 400 = 8000$ kalorit ehk 8 kilokalorit.

Näide 2. Kui anname 100 kilokalorit veehulgale, mille mass on 5 kg, siis tõuseb selle vee temperatuur $100 : 5 = 20$ kraadi võrra.

Näide 3. Kulutades 200 kilokalorit võib ajada keema $2\frac{1}{2}$ kilogrammi vett, mille algtemperatuur oli 20 kraadi. Selle juurde kuuluv arvutus on järgmine: $2\frac{1}{2} \cdot (100-20) = 200$.

Ülesanne 1. Mitu kalorit annab ära üks klaas (250 kuupsentimeetrit) keeva vett jahtudes toa temperatuurini? Toa temperatuur on 20° .

Vastus: Umbes 20 kilokalorit.

Ülesanne 2. Teekannu valati üks liiter vett, mille temperatuur oli 10 kraadi; kannu soojendati, kuni vesi hakkas keema. Kui palju soojust kulus selleks?

Vastus: 90 kilokalorit.

§ 150. **Erisoojus.** Katsed näitavad, et **erisuguste ainete võrdse hulga soojendamiseks sama kraadidearvu võrra tuleb kulutada erisugused soojushulgad.**

On näiteks kergem soojendada ühe kraadi võrra kilogrammi rauda kui kilogrammi klaasi või vett.

Kalorite hulka, mis kulub aine ühe grammi soojendamiseks ühe kraadi võrra, nimetatakse selle aine erisoojuseks.

Mitmesuguste ainete erisoojused tuletatakse katselisel teel. Mõne tahke aine, vedeliku ja gaasi erisoojused on toodud tabelis lk. 20.

Samast tabelist nähtub näiteks, et ühe grammi raua soojendamiseks ühe kraadi võrra vajatakse 0,11 kalorit (umbes üheksa korda vähem kui ühe grammi vee soojendamiseks).

Et soojendada ühe kraadi võrra 20 g rauda, vajatakse kakskümmend korda suuremat soojushulka, s. o. $0,11 \cdot 20 = 2,2$ cal.

Et soojendada 20 grammi rauda 40 kraadi võrra, vajatakse veel nelikümmend korda enam soojust, s. o. $2,2 \cdot 40 = 88$ cal.

Nii siis:

Keha soojendamiseks vajalik soojushulk võrdub erisoojuse, keha kaalu ja temperatuuri tõusu korrutisega.

Kui kaal on väljendatud grammides, siis soojushulk on kalorites. Kui aga kaal on kilogrammides, siis soojushulk on kilokalorites.

Tahkete kehade, vedelike ja gaaside erisoojused.

Aine	Eri-soojus	Aine	Eri-soojus
Tahked kehad.			
Puit	0,6	Malm	0,13
Jää	0,5	Teras	0,11
Betoon	0,21	Raud	0,11
Alumiinium	0,21	Messing	0,093
Telliskivi	0,2	Vask	0,091
Klaas	0,20	Hõbe	0,055
Graniit	0,20	Plii	0,03
Vedelikud.			
Vesi	1,0	Väävelhape	0,34
Petrooleum	0,51	Elavhõbe	0,033
Piiritus	0,58		
Gaasid jääva rõhumise puhul.			
Vesinik	3,4	Lämmastik	0,25
Heelium	1,25	Õhk	0,24
Veeaur	0,47	Hapnik	0,22

N ä i d e 1. Leida, kui palju soojust tuleb kulutada, et soojendada teraspanka 15 kraadilt 800 kraadini. Teraspanga kaal on 200 kg.

Tabeli järgi on terase erisoojus 0,11.

Teraspank soojeneb $800 - 15 = 785$ kraadi võrra. Ühe kilogrammi soojendamiseks 1° võrra vajame 0,11 kilokalorit; ühe kilogrammi soojendamiseks 785° võrra vajame vastavalt $0,11 \cdot 785$ kilokalorit ja 200 kg soojendamiseks $0,11 \cdot 785 \cdot 200 = 17\,270$ kilokalorit.

N ä i d e 2. Leida soojushulk, mis on vajalik toa õhu soojendamiseks 5 kraadi võrra. Toa ruumala on 70 kuupmeetrit.

Esmalt tuleb leida toas sisalduva õhu kaal; see võrdub erikaalu ja ruumala korrutisega. Õhu erikaal on umbes 1,3 kg ühe kuupmeetri kohta. Järelikult on toas $1,3 \cdot 70 = 91$ kg õhku.

Õhu erisoojus on 0,24. Järelikult vajame selle õhu soojendamiseks ühe kraadi võrra $0,24 \cdot 91 = 21,8$ kilokalorit; soojendamiseks 5 kraadi võrra vajame aga $21,8 \cdot 5 = 109$ kilokalorit.

Ulesanne 1. Kui palju soojust läheb vaja, et soojendada 2 kilogrammi vaske 10° -st 100° -ni?

Vastus: 16,38 kilokalorit.

Ulesanne 2. Kahesaja grammi petrooleumi soojendamiseks kulutati 400 cal; mitme kraadi võrra soojenes petrooleum?

Vastus: 3,92 kraadi võrra.

Ulesanne 3. Kui palju soojust on vaja, et soojendada telliskivist ahju 13° -st 85° -ni, kui ahju mass on 1,3 tonni?

Vastus: 18 700 kilokalorit.

Ulesanne 4. Tükk vaske, mille kaal on 1200 g, jahtus 20° -ni, andes seejuures ära 27,3 kilokalorit. Kui kõrge oli vase algtemperatuur?

Vastus: 270° .

§ 151. **Kütteained.** Mitmesugused kütteained (kivisüsi, nafta, küttepuu, turvas, põlevkivi, bensiin, petrooleum, piiritus ja muud) on tähtsamaiks soojuse allikaiks tööstuses.

On olemas tahkeid, vedelaid ja gaasilisi kütteaineid.

Tahked kütteained on: kivisüsi, turvas, küttepuu.

Vedelad kütteained on: nafta, kivisöetõrv, piiritus ja naftasaadused, nagu bensiin, petrooleum või gasoliin.

Gaasilised kütteained on: valgustusgaas, generaatorigaas, kõrgahjugaas ja muud põlevad gaasid.

Vedelad kütteained on kõige kergemini käsitsetavad. Neid on kõige kergem valada paakidesse ja juhtida sealt koldesse või mootori. Peale selle tekitab nafta ja naftasaaduste põlemine eriti palju soojust. Seetõttu tarvitatakse lennukitel ja autodel põletusainena bensiini. Odavamaks kütteaineks on turvas, põlevkivi ja kivisüsi, seepärast koetakse tehaste, vabrikute ja elumajade katlaid turba või kivisöega.

Insener, kes ehitab uut masinat või keemiaaparaati, või arvutab keskkütteseadme jaotust, peab teadma, kui palju kaloreid annab ühe või teise kütteaine põlemine. Ta võib siis välja arvutada masinalt saadava tööhulga ja põletusaine kulu ühe tunni jooksul. Keskkütte arvutuses võib insener siis kindlaks määrata maja kütmiseks vajaliku kütteainehulga ja selle kütteaine põletamiseks tarvismineva kolde ehitusviisi.

Kalorite hulka, mis vabaneb 1 kilogrammi kütteaine täielikul põlemisel, nimetatakse kütteaine kütteväärtuseks.

Mitmesuguste kütteainete kütteväärtust määratakse katselisel teel.

Järgmise tabelis toome mõne kütteaine kütteväärtuse:

Kütteainete kütteväärtused.

Kütteaine	Kütteväärtus	Kütteaine	Kütteväärtus
Vesinik	34 000 kcal/kg	Piiritus	7 100 kcal/kg
Nafta	10 500 "	Kivisüsi (kesk-	
Bensiin	10 500 "	miselt)	7 000 "
Petrooleum . . .	10 500 "	Turvas	3 500 "
Valgustusgaas . .	10 000 "	Küttepuu	3 000 "
Puidusüsi	8 000 "		

Näide 1. Kui suur soojushulk vabaneb 15 kg kivisöe põlemisel?

Söe kütteväärtus on 7000 kilokalorit. See tähendab, et ühe kilogrammi söe põlemisel eraldub 7000 kilokalorit. 15 kilogrammi söe põlemisel eraldub $7000 \cdot 15 = 105\,000$ kilokalorit.

Näide 2. Katsume kindlaks teha, kui palju naftat peab ära põletama, et sulatusahjus kuumutada 500 kg raskust teraspanka 1000° -ni. Seejuures läheb ainult pool kulutatud soojusest teraspanga soojendamiseks, kuna teine pool hajub ümberolevasse ruumi.

Vaatame esmalt, kui palju soojust tuleb kulutada panga kuumutamiseks. Tabelist leiame, et terase erisoojus on 0,11. See tähendab, et ühe kilogrammi terase soojendamiseks ühe kraadi võrra on vaja 0,11 kilokalorit ja et 500 kg kuumutamiseks 1000 kraadini tuleb kulutada $0,11 \cdot 500 \cdot 1000 = 55\,000$ kilokalorit.

Panga kuumutamiseks on vaja 55 000 kilokalorit, ent kulutada tuleb kahekordne soojushulk, kuna ainult pool kulutatud soojusest läheb panga kuumutamiseks. Kogu kulutatud soojushulk on $55\,000 \cdot 2 = 110\,000$ kilokalorit.

Üks kilogramm naftat annab põlemisel 10 500 kilokalorit. Et saada 110 000 kilokalorit, tuleb põletada $110\,000 : 10\,500 =$ umbes 10,5 kg naftat.

Ülesanne 1. Kahe kilogrammi söe põlemisel eraldus 12 000 kilokalorit. Leida söe kütteväärtus. Vastus: 6000 kilokalorit kilogrammi kohta.

Ülesanne 2. Keskküttekatla kütmiseks on vaja 800 000 kilokalorit päevas. Kui palju tuleb selleks põletada: a) naftat; b) puitu; c) kivisütt; d) turvast? Vastus: a) 76,2 kg; b) 266 kg; c) 114 kg; d) 228 kg.

Ülesanne 3. Kui palju soojust eraldub 200 grammi piirituse põlemisel? Kui palju vett võib selle soojushulgaga 80 kraadini soojendada?

Vastus: 1420 kilokalorit; 17,75 kg.

Ülesanne 4. Kui palju petrooleumi tuleb põletada, et panna keema kannutäis vett, kui vee algtemperatuur on 12° ning 25% soojust kulub eba-produktiivselt ja kui kannus on 3 liitrit vett? Vastus: 33,5 grammi.

§ 152. **Sulamine ja tahkumine.** Kui kuumutame mingit tahket keha, siis selle kehaga toimub üks kahest: ühel juhul tahke keha läheb mustaks, hakkab hõõguma ja suitsema ning lõpuks süttib põlema (näiteks puit, riie, elusolendi keha); teistel juhtudel keha muutub vedelikuks — ta sulab (nagu jää, mitmesugused metallid, kivimid ja paljud muud ained).

Tahke keha muutumist vedelikuks (keha üleminekut tahkest olekust vedelasse) nimetatakse sulamiseks.

Võtame veidi puhast lund, paneme keedupotti ja asetame poti gaasileegile. Pistame lume sisse termomeetri. Kui lumi on toodud väljast pakase ilmaga, siis termomeeter näitab esialgu nullist madalamat temperatuuri — näiteks 8 kraadi külma. Siis hakkab lume temperatuur tõusma, kuni kraadiklaas näitab 0°. Nüüd elavhõbe peatub ja püsib nullpunktis, kuni lumi hakkab sulama. Temperatuur püsib samal tasemel, kuni kõik lumi on sulanud. Siis hakkab temperatuur uuesti tõusma.

Temperatuuri, mida sulav aine säilitab, kuni ta on täielikult sulanud, nimetatakse sulamistemperatuuriks ehk sulamispunktiks.

Katsed näitavad, et peaaegu igal keemiliselt puhtal tahkel ainel on oma kindel sulamistemperatuur. Tahkete kehade sulamistemperatuurid on katseliselt täpselt kindlaks tehtud. Allpool toome mõne aine sulamistemperatuuri.

Sulamistemperatuure.

		Temperatuur		Temperatuur
Tahke vesinik	257 kraadi alla nulli		Kuld	1064 kraadi üle nulli
Tahke piiritus	114 " " "		Vask	1083 " " "
Tahke elavhõbe	38,9 " " "		Raud	1530 " " "
Jää	0 " " "		Plaatina . . .	1773 " " "
Tina	232 kraadi üle nulli		Volfram . . .	3400 " " "
Plii	327 " " "			
Teras	umbes 1400 kraadi		Malm	umbes 1100 kraadi
Räbu	" 1400 "		Messing	" 900 "

Suurema osa ainete ruumala suureneb sulamisel. Selline omadus on näiteks vasel, pliil ja paljudel muudel metallidel.

Mõnede kehade ruumala sulamisel kahaneb. Selline (õige harva esinev) omadus on näiteks jää ja malmil. Seetõttu jää ujub vee pinnal ja tahke malm ujub sulanud malmi pinnal.

Katsed näitavad, et sulamistemperatuur muutub rõhu muutumisel.

Kui keha ruumala sulamisel kahaneb (nagu näiteks jää sulamisel), siis suurem rõhk soodustab sulamist: rõhu kasvades sulamistemperatuur alaneb. Nii näiteks rõhu suurenemisel sulab jää nullist madalama temperatuuri juures.

Lähme talvel välja umbes viiekraadise külma kätte ja vajutame kepiotsaga jää pinnale: jää hakkab kepi all sulama, kuigi ta temperatuur ei ole 0° , vaid 5° alla nulli. Sellega on seletatav asjaolu, et jää on libe. Jala, liuraua või reejalase surve mõjul tekib jää pinnale veekiht, mis mõjub hea määrdena. Väga kõva külmaga, kui temperatuur langeb nullist rohkem kui 20° allapoole, jää ei ole libe, kuna ta siis ei sula jala all. Säärase ilmaga ei libise uisud küllalt hästi mööda jääd. Jalakäijale on jää kõige libedam nullile lähedase temperatuuri juures. Aga uisutajale ei ole see temperatuur küllalt soodne, kuna jää on siis liiga pehme ja uisud vajuvad liiga sügavale jõesse.

Kui keha ruumala sulamisel suureneb, siis rõhu kasvades suureneb ka sulamistemperatuur. Näiteks on raskem sulatada pliidi kõrge rõhu kui madala rõhu juures: kõrge rõhu puhul tuleb tugevamini soojendada.

Jahtumisel muutuvad vedelikud tahketeks kehadeks.

Vedeliku muutumist tahkeks kehaks nimetatakse tahkumiseks.

Seejuures ilmneb, et vedelik tahkub samal temperatuuril, millel tahke keha muutus vedelikuks.

Tahkumistemperatuur võrdub sulamistemperatuuriga.

Näiteks vesi hakkab jääks muutuma 0° juures.

Jääks muutumisel vesi paisub. Seetõttu lõhkevadki veevärgitorud sageli kõva külma puhul. Torus leiduv vesi muutub jääks, paisub ja purustab toru.

Iga autojuht teab, et auto radiaator tuleb veest tühjaks lasta, kui tahetakse autot kauaks külma kätte jätta. Radiaatorisse jäetud vesi muutuks jääks ja purustaks radiaatori; seejuures võib lõhkeda ka mootori veesärk.

Sulatatud malm paisub tahkumisel. Selle omaduse tõttu täidab vormis tahkuv malm kõik vormi detailid ja need tulevad valatud esemel hästi välja.

Ainetel nagu klaas, tõrv ja asfalt ei ole kindlat sulamispunkti. Temperatuuri kasvades need ained muutuvad üha pehmemaks ning vedelduvad järk-järgult.

Uurides tähelepanelikult kindlat sulamistemperatuuri omavate tahkete kehade ehitust (näiteks jää või lume, mõne soola või metalli ehitust), võib kindlaks teha, et kõik need kehad koosnevad üksikuist korrapärase kujuga tükikestest. Neid tükikesi nimetatakse kristallideks. Joonisel 340 näeme magnetrauamaagi liitunud kristalle. Joonis 341 kujutab lume kristalle.



Joon. 340. Magnetrauamaagi kristalle.



Joon. 341. Lume kristalle (lumehelbeid).

Ainetel, millel on kindel sulamistemperatuur, on kristalne ehitus.

Ainetel, millel ei ole kindlat sulamistemperatuuri (nagu klaas, tõrv, asfalt), ei ole ka kristalset ehitust. Neid kehi nimetatakse amorfseteks.

§ 153. **Sulamid.** Sulatatud tahkeid kehi võib üksteisega segada. Sel teel saab sulameid, mida rakendatakse laialt tehnikas. Sulamitest on eriti hästi tuntud teras — raua ja süsiniku sulam. (Terase saja osa kohta tuleb kuni kaks osa süsinikku.)

Sulamite füüsikalised omadused erinevad nende koostisosade füüsikalistest omadustest. Sulam on harilikult kõvem ja tugevam kui ta koostisosad. Sulami sulamistemperatuur on harilikult madalam kui ta peamiste koostisosade sulamistemperatuurid. On õnnestunud saada eriti madala sulamistemperatuuriga sulameid. Näiteks Wood'i sulam sulab umbes 70 kraadi juures. Wood'i sulamist valmistatud lusikas sulaks ära kuumas tees.

Kergestisulavaid sulameid tarvitatakse tehnikas näiteks laagrite valamiseks (babiit) ja jootmise otstarbeks („pajanool“, tinool).

Babiidiks nimetatakse kergestisulavaid sulameid, mida tarvitatakse hõõrdumise vähendamiseks laagrites. Laagrite sise-pinda vooderdatakse babiidiga. Sellistes laagrites on tiirleva telje hõõrdumine väiksem. Babiidiga vooderdatakse näiteks auto- ja traktorimootorite võllide laagreid.

Eriterased on raua ja süsiniku sulamid, millele on lisandatud kas kroomi, niklit, vanaadiumit, molübdääni, vaske või mõnda teist metalli. Mõned neist sulameist evivad eriti suurt tugevust, teised — kõvadust, kolmanda il on see omadus, et nad ei roosteta õhu käes (roostevabad terased) jne.

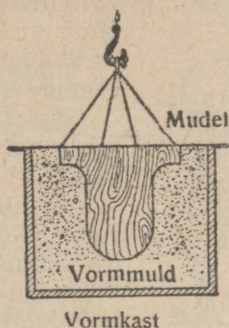
§ 154. **Valamine.** Valamine põhineb materjalide omadusel soojenemisel sulada ja jahtumisel tahkuda. Valamise abil võib valmistada igasuguse kujuga esemeid metallist ja plastilistest massidest.

Näiteks malmist masinajalase valamiseks valmistatakse kõigepealt puidust selle jalase mudel (joon. 342). Siis asetatakse mudel malmist vormkasti, mis täidetakse tihedalt niiske vormimullaga (joon. 343). Pärast seda võetakse mudel ettevaatlikult vormkastist välja. Vormimuld säilitab mudeli kuju. Kui mudelil on keerukas kuju ja seda ei saa vormkastist tervelt välja võtta, siis tehakse vormkast kahest poolest (mõnikord kasutatakse kombineeritud vormkaste, mis koosnevad mitmest osast). Mudeli jäljendiga vormkaste kuivatatakse kuivatusahjudes. Vormkasti osad pannakse kokku ja kinnitatakse kõvasti poltidega (joon. 344).

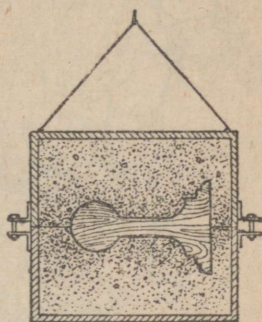
Vormimulda tehtud kanali kaudu valatakse sula malm vormi: malm täidab kogu tühja ruumi, mis on vormkastis. Tahkumisel malm paisub ja täidab tihedalt kogu vormi.



Joon. 342. Puidust valmistatud masinajalase mudel.



Joon. 343. Vormkasti täitmine. Vormkast on näidatud läbilõikes.



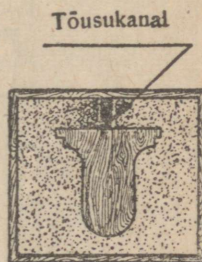
Joon. 344. Keerulise kujuga detaili valmistamiseks tehakse vormkast kahest poolest.

Terasest, vasest, alumiiniumist ja teistest metallidest valamete valmistamisel jäetakse vormkasti sisse tühi lisaruum, nn. tõusukanal, kuhu valatakse sula metalli lisakogus (joon. 345). Peale selle on mudeli mõõdud tootemõõtudest kahanemismõõdu võrra suuremad. Ülearune metall kõrvaldatakse pärastisel töötlemisel. Kui metall on tahkunud, võetakse lahti vormi kinnihoidvad poldid, eemaldatakse vormimuld ja võetakse valmis valatis välja.

Valamist kasutatakse tehnikas väga laialdaselt. Vaevalt saab leida masinat või mehhanismi, millel ei oleks valatud osi.

§ 155. **Sepistamine. Karastamine.** Metallid lähevad soojendamisel pehmeks ja plastilisemaks; seda metallide omadust kasutatakse sepistamisel.

Kuumaksaetud metalli töödeldakse vardsdamise (sepistamise) teel. Sepistamisega võib metallile anda iga soovitud kuju. Sepistamise eel kuumutatakse töödeldavat eset ääsitulel või erilises ahjus, kuni metalli temperatuur on lähe-



Joon. 345. Valamisel vasest, alumiiniumist ja teistest metallidest, millede ruumala väheneb tahkumisel, jäetakse vormkasti lisaruum, nn. tõusukanal.

dane sulamispunktile; seejuures muutub metall pehmeks. Kuum ese asetatakse alasi peale ja sepistatakse käsivasara

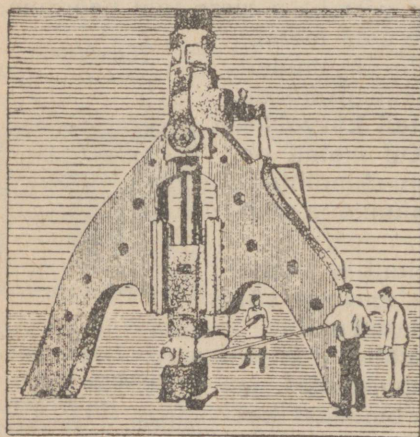


Joon. 346. Sepistamine käsivasaraga. Sepp näitab pealelööjale väikese vasara abil koha, kuhu ta peab lööma.

(joon. 346), suruõhuvasara või auruvasaraga (joon. 347). Sepistatud esemed on tavaliselt tugevamad kui valatud esemed.

Sepistamisega valmistatakse vāntvõlle, telgi, mõõgateri, nuge ja palju muud.

Metallide kõvadust saab suurendada karastamise teel. Karastamiseks nimetatakse töötlusviisi, kus metall peale kuumutamist vastava karastustemperatuurini jahutatakse järsult, kastes ta vette või masinaõlisse. Eriti hästi karastuvad teras ja duralumiinium.



Joon. 347. Töötamine auruvasaraga.

Teras-eseme, näiteks lõiketera, karastamiseks kuumutatakse lõiketera ääsitulel punahõõguseni (joon. 348). Siis kastetakse lõiketera vette või õlisse (joon. 349). Karastatud lõiketera on karastamatust kõvem, aga ühtlasi hapram. Karastamata terasnõel annab painutada; karastatud terasnõel aga painutamisel murdub. See-eest on karastatud nõel kõvem kui karastamata nõel.

Lõike- ja mõõteriistad ning enamik masinate detaille (hammasrattad, vāntvõllid, nokkvõllid, teljed, klapid ja palju muud) karastatakse.

Karastamist võib toimetada ainult kogunud meister. Kui eset ülearu kuumutada või seda liiga ruttu jahutada, siis läheb

ta hapraks ja murdub kergesti. Kui aga ese oli liiga vähe kuumutatud, siis on ta pärast karastamist liiga pehme.

Kui kuumutame karastatud eset ja laseme tal aeglaselt jahutada, siis eseme karastus kaob: ese muutub pehmeks ega ole



Joon. 348. Et eset karastada, tuleb ta esmalt tugevasti kuumutada.



Joon. 349. Kuumutatud eset kastetakse vette või õlisse. Ese karastub.

enam habras. Seda nimetatakse „tagasilaskmiseks“ ehk noolutuseks. Eset noolutada tähendab kaotada ta karastus.

§ 156. **Aurustumine, keemine ja kondenseerumine.** Kõik vedelikud auruvad: nad muutuvad aegamööda auruks (gaasiks).

Vedeliku muundumist auruks nimetatakse aurustumiseks.

Mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda kiirem on aurustumine.

Jätame tупpa lahtise bensiini- või eetripurgi; mõne aja möödudes kõgu vedelik aurustub. Mida kõrgem on toa temperatuur, seda kiiremini toimub aurustumine.

Küllalt kõrge temperatuuri juures toimub äge aurustumine: aur tekib mullidena vedeliku sees — vedelik „keeb“.

Vedeliku ägedat muundumist auruks, kui aur tekib nullikeste näol vedeliku sees, nimetatakse keemiseks.

Keeva vedeliku temperatuur (keemistemperatuur) on jääv niikaua, kuni kogu vedelik on auruks muutunud.

Mida suurem on väline rõhumine, seda suuremat takistust peab ületama keeva vedeliku sees tekkiv aurumull. Seetõttu keemistemperatuur tõuseb rõhumise kasvades.

Mitmesuguste vedelikkude keemistemperatuurid on katse-
liselt kindlaks tehtud.

Allpool toome mõne aine keemistemperatuuri normaalrõhumisel, mis võrdub 760-mm elavhõbedasamba rõhumisega. Neid temperatuure nimetatakse ka „keemispunktideks“.

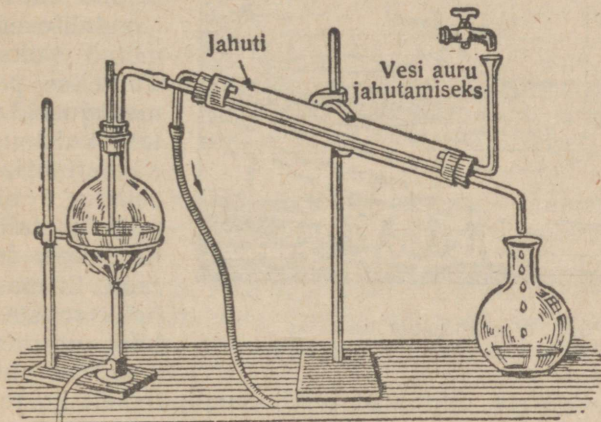
Vedelikkude keemispunktid

(normaalrõhumisel — 760-mm elavhõbedasamba juures).

Vedeliku nimetus	Keemispunkt
Vedel heelium	269 kraadi alla nulli
Vedel vesinik	253 " " "
Vedel õhk	193 " " "
Vedel hapnik	183 " " "
Eeter	34,6 kraadi üle nulli
Piiritus	78,3 " " "
Vesi	100,0 " " "
Elavhõbe	357 " " "
Sula plii	1600 " " "
Sula alumiinium	1800 " " "
Sula tina	2300 " " "
Sula vask	2300 " " "
Sula raud	2450 " " "
Sula kuld	2600 " " "

Asjaolu, et erisugused ained keevad erisuguste temperatuuride juures, kasutatakse üksteisega segatud vedelikkude eraldamiseks. Seda nimetatakse järguliseks destilleerimiseks. Näiteks vee ja piirituse segu hakkab keema 78,3 kraadi juures, kusjuures aurustub peamiselt piiritus ja õige vähe vett. Kui kogu piiritus on aurustunud, jääb keemine seisma. Edasisel kuumutamisel temperatuur tõuseb, kuni vesi hakkab keema. Keemisel eralduv aur muundub jahutis (joon. 350) jälle vedelikuks.

Järgulist destillatsiooni kasutatakse laialdaselt eriti naftatööstuses. Nafta destilleerimisel hakkab kõigepealt keema bensiin, siis gasoliin ja petrooleum. Sellejärel algab mitmesuguste mineraalõlide aurustumine. Kerged õlid lenduvad enne, rasked õlid hiljem. Kui destilleerimine on lõppenud, jääb anuma põhja paks must vedelik — masuut, mida tarvitatakse vedela kütteinena.



Joon. 350. Vedelikkude destilleerimine.

Vedeliku aurustumisel tekkinud aur võib uuesti veelduda.

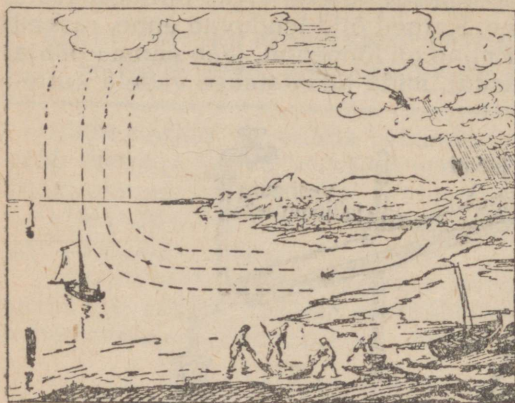
Auru muundumist vedelikuks nimetatakse kondensatsiooniks.

Et aur muunduks vedelikuks, tuleb teda kas jahutada või vähendada tema ruumala.

Toome tuppä klaasi külma vett: klaas hakkab „higistama“. Toas leiduv veeaur on kokku puutunud klaasi külmade seintega ja on veeks muutunud.

Maakerä pinnal on palju lahtisi veekogusid: jõgesid, järvi, meresid, ookeane. Vesi aurustub pikkamööda päikesesoojuse mõjul. Seetõttu on õhus alati teatav kogus veeauru: õhk on niiske. Niiske õhk tõuseb kõrgemale ja jahtub; veeaur muundub uduks või pilvedeks. Pilvedest sajab vihma ning vihma-

vesi voolab jõgedesse, järvedesse, meredesse ja ookeanidesse. Nõnda toimub looduses alatine vee ringvool (joon. 351).



Joon. 351. Vee ringvool looduses.

Hapnik ja veeaur, mis sisalduvad õhus, võivad keemiliselt ühineda mitmesuguste õhu käes seisvate metall-esemetega: metall oksüdeerub. Tuntakse palju mitmesuguseid viise metalli kaitsmiseks oksüdeerumise eest: selleks otstarbeks võib metalli värvida, lakeerida või õlitada. Et masin ei läheks rooste, peavad kõik värvimata masinaosad olema kae-

tud määrideõliga. Õlitamist tuleb reeglipäraselt korrata, kuna õli pikkamööda aurustub.

Metallid nagu kuld, hõbe, nikkel või kroom ei ühine hapniku ja veeauruga: nad ei oksüdeeru õhu käes. Seepärast võib terastooted katta õhukese kroomi- või niklikorruga, et kaitsta neid roostetamise eest.

Viimase aastakümne jooksul on tehnoloogid leidnud roostevaba terase sorte. Roostevaba teras ei roosteta.

§ 157. **Soojus ja töö.** Soojendatud keha omab teatud sisemise energia tagavara. Mida kõrgem on temperatuur, seda suurem on sisemise energia tagavara. Tugevasti kuumutatud kehadel (kütteaine põlemisel tekkinud koldegaasidel, aurul aurukatlas jne.) on seepärast suur sisemise energia tagavara. See energia võib soojuse näol üle kanduda teistele kehadele kas soojusejuhtivuse, kiirgumise või konvektsiooni teel. Aga soojenenud kehad võivad kulutada oma sisemist energiat ka teisel teel.

Kujutleme, et kolviga varustatud silindris (joon. 352) on bensiini aurudega segatud õhk. See põletussegu süüdatakse elektrisädemega nõndanimetatud süüteküünla abil. Põletusaine põleb ära ja gaasi temperatuur silindris tõuseb järsult.

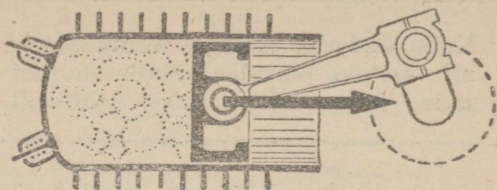
Seejuures suureneb ka rõhumine. Mis toimub gaasi sisemise energiaga?

Kui kolb ei saa silindris edasi liikuda, siis gaas silindris lihtsalt jahtub: tema sisemine energia hajub ümberolevasse ruumi soojuse näol.

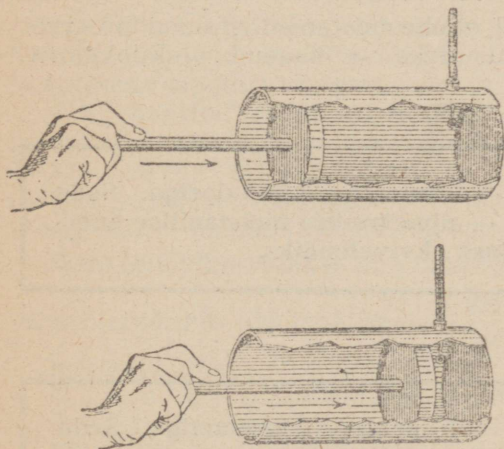
Aga kui kolb saab silindris vabalt liikuda, siis hakkab ta kuumas gaasis tek-

kinud tugeva surve mõjul liikuma, ületades atmosfäärilist rõhumist ja neid tunge, mis mõjuvad kolviga ühendatud vändale ja kepsule.

Pannes kolbi liikuma, teeb gaas tööd ja kulutab selleks oma sisemist energiat. Sedamööda, kuidas väheneb sisemise energia tagavara, langeb ka tööd sooritava gaasi temperatuur.



Joon. 352. Kuum gaas paisub ja teeb seejuures tööd; peale selle annab ta oma soojust ümberolevale õhule.



Joon. 353. Kiiresti kokkusurutav gaas soojeneb. Gaasi energiatagavara suureneb kokkusurumisel tehtud töö arvel.

Keha võib kulutada oma sisemist energiat kahel viisil: esiteks soojuse üleandmise teel, teiseks töö näol. Mõlemal juhul keha temperatuur langeb.

Ja ümberpöördult:

Keha sisemise energia hulka saab suurendada kahel viisil: esiteks juhtides kehale soojust juurde, teiseks sooritades keha suhtes tööd. Mõlemal juhul keha soojeneb.

Lükkame kolvi kiiresti gaasiga täidetud silindrisse. Gaasi sisemine energia suureneb kolvi poolt tehtud töö arvel. Gaasi temperatuur tõuseb (joon. 353).

Sel põhjusel kuumeneb ka jalgrattapump, kui pumpame õhku rattakummissse. Diiselmootori silindrisse kokkusurutud õhk kuumeneb nii tugevasti, et silindrisse pritsitav nafta süttib.

§ 158. **Mehaanilise energia soojuse ekvivalent ja soojuse mehaanilise energia ekvivalent.** Sisemine energia võib üle kanduda ühelt kehalt teisele kehale soojuse või töö näol. Selles suhtes soojus ja töö on ekvivalentsed (samaväärsed).

Mitmele meeter-kilogrammile vastab üks kilokalor?

Seda küsimust saab vastata ainult katse abil.

Katselisel teel on leitud, et ühe meeter-kilogrammi töö arvel keha soojeneb nii, nagu oleks ta saanud $\frac{1}{427}$ kilokalorit.

Järelikult:

Üks meeter-kilogramm võrdub $\frac{1}{427}$ kilokaloriga. Seda arvu — $\frac{1}{427}$ kilokalorit — nimetatakse mehaanilise energia soojuse ekvivalendiks.

Ja ümberpöördult:

Üks kilokalor võrdub 427 meeter-kilogrammiga. Seda arvu nimetatakse soojuse mehaanilise energia ekvivalendiks.

Tänu neile suhtarvudele võime väljendada igasugust energiat kas meeter-kilogrammides või kilokalorites.

§ 159. **Soojusmootorite tõhutegur.** Mitmesugused soojusmootorid (vedurid, autod, auruturbiinid jne.) saavad energiat soojuse näol ja annavad ta ära osalt tööna, osalt soojusena. Soojusena äraantav energiaosa kulub masina ja ümberoleva õhu soojendamiseks; see energia läheb kasutult kaduma.

Saadud tööhulk on seepärast alati väiksem kui kulutatud soojushulk.

Kui jagame soojusmootori poolt tehtud mehaanilise tööhulga selle soojushulgaga, mis mootor saab sama aja jooksul (kusjuures tööd ja soojust väljendatakse samas ühikus), siis on saadud murdarv soojusmootori tõhutegur:

$$\text{soojusmootori tõhutegur} = \frac{\text{tehtud töö}}{\text{kulutatud soojus}}$$

Tõhutegur väljendatakse tavaliselt protsentides. On selge, et soojusmootori tõhutegur on alati alla saja protsendi. Praktika näitab, et ta on koguni tunduvalt väiksem kui sada protsenti.

Näide 1. Automootor kulutab ühe tunniga 6 kg bensiini. Mootori tõhutegur on 28%. Leida mootori kasuliku töö suurus ja arvutada mootori võimsus.

6 kg bensiini põlemisel eraldub $6 \cdot 10\,500 = 63\,000$ kilokalorit. Sellest soojushulgast kulub tööks ainult 28%, s. o. $63\,000 \cdot 0,28 = 17\,600$ kilokalorit. Iga kilokalor võrdub 427 meeter-kilogrammiga; järelikult on auto poolt sooritatud töö $17\,600 \cdot 427 =$ umbes 7 500 000 meeter-kilogrammi.

Seda tööhulka tehakse ühe tunni ehk 3600 sekundi jooksul.

Võimsus võrdub töö jagatiseaga: $\frac{7\,500\,000 \text{ mkg}}{3600 \text{ sek}}$ ehk $\frac{7\,500\,000}{3600 \cdot 75} =$
= ligikaudu 28 hj.

Näide 2. Lennukimootor tarvitab tunnis iga hobujõu kohta 0,24 kg bensiini. Leida mootori tõhutegur.

Ühe hobujõu võimsusega mootor teeb ühes tunnis töö, mille suurus on $75 \cdot 3600 = 270\,000$ mkg ehk $\frac{270\,000}{427} = 632$ kilo-

kalorit. 0,24 kg bensiini põlemisel eralduv soojushulk on $0,24 \cdot 10\,500 = 2520$ kilokalorit. Tõhutegur võrdub tehtud töö

ja kulutatud soojuse jagatisega ehk $\frac{632}{2520} =$ ligikaudu 0,25 ehk 25%.

Ulesanne 1. Suurtükitoru puurimisele kulutati 85 400 000 mkg tööd. Kui palju soojust on seejuures eraldunud?

Vastus: 200 000 kilokalorit.

Ulesanne 2. Kahe kilogrammi raskune pliitükk langeb 21,3 meetri kõrguselt. Kui palju soojust eraldub seejuures? Mitme kraadi võrra tõuseb pliitüki temperatuur?

Vastus: 0,1 kilokalorit; umbes 1,7 kraadi võrra.

Ulesanne 3. Treipinki liikumapanev mootor arendab võimsust 1,2 hj. Kui palju soojust eraldub ühe tunniga?

Vastus: 759 kilokalorit.

Ulesanne 4. Mootor arendab ühe hobujõu suurust võimsust. Kui palju kaloreid soojust tarvitab mootor ühe tunniga, kui ta tõhutegur on 20%?

Vastus: 3160 kilokalorit.

Ulesanne 5. Auruturbiini võimsus on 160 000 hj. Kui palju naftat tarvitab turbiin ühe tunniga, kui ta tõhutegur on 30%?

Vastus: 32,1 tonni.

§ 160. Aurumasin.

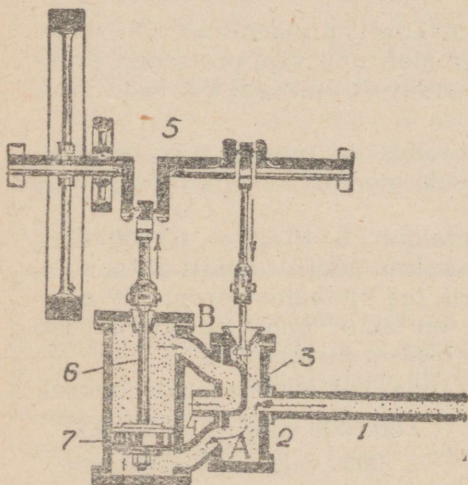
Aurumasin muudab kuumaauru sisemise energia mehaaniliseks energiaks.

Aurumasin (joon. 354) koosneb silindrist ühes kolviga ja siibrikarbist. Kolb on kolvivarre ja kepsu kaudu ühendatud väntvõlliga, millele on kinnitatud hooratas (või vedav ratas).

Aur läheb kõrgsurvekatlast aurutoru 1 kaudu siibrikarpi 2; ta pääseb silindrisse alumise ava A kaudu ning lükkab kolvi ülespoole. Samal ajal on silindri ülemine pool ühendatud välisõhuga ava B ja väljalasketoru 4 kaudu. Siis läheb aur silindri ülemisse ossa ja lükkab

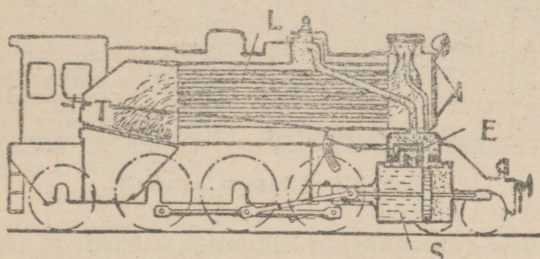
kolvi allapoole. Auru suunda muudetakse siibri abil.

Kolvi liikumine kandub võllile, mille otsas on hooratas, mis tiirleb ühes võlliga. Kui kolb on kõige kõrgemas asendis,



Joon. 354. Aurumasin: 1 — aurutoru; 2 — siibrikarp; 3 — siiber; 4 — väljalasketoru; 5 — väntvõlli põlv; 6 — silinder; 7 — kolb.

on siiber kõige madalamas asendis ja katab alumist ava A; samal ajal silindri ülemine ava B on avatud ja aur läheb siibrikarbist silindri ülemisse ossa, lükates kolbi allapoole. Alumises silindriosas leiduv aur lükatakse alumise ava kaudu siibri alla ja ta lendab välja väljalasketorust 4. Mõnikord lastakse silindrist tulev aur külmavee-jahutusseadmest läbi. Aur kondenseerub seal veeks, mis juhitakse katlasse tagasi. Kui kolb on jõudnud madalaimasse asendisse, on siiber jälle kõige kõrgemas asendis ning tekib uuesti joon. 354 kujutatud olukord. Siis kordub kõik täpselt nii, nagu eespool kirjeldatud. Siiber saab oma liikumise ekstsentrikut või vääntvõllil asuvalt väikeselt põlvelt.



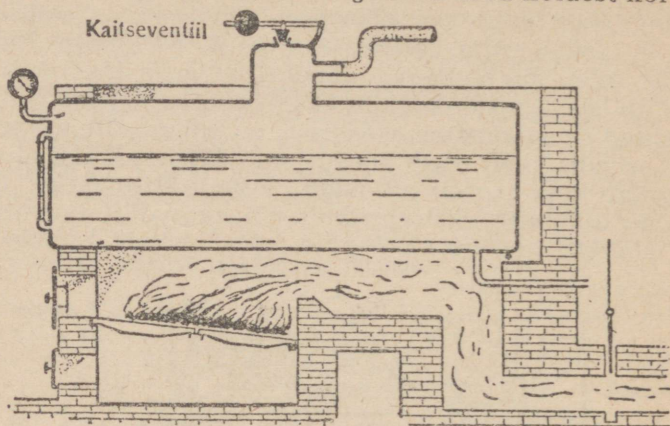
Joon. 355. Veduri skeem: L — katel; E — siiber; S — aurumasina silinder; T — kolle.

Aurumasin on väga vastupidav ja kindla töötamisviisiga, aga ta ei ole ökonoomne. Aurumasina tõhutegur on kõigest 5 kuni 20 protsenti. Nende kindluse ja lihtsuse tõttu kasutatakse aurumasinaid veduritel. Veduri põhiosadeks on: aurukatel koldega, kaks või mitu aurumasinat ja veorattad (joon. 355). Praegusaja võimas vedur kaalub umbes 100 tonni ja arendab kiirust kuni 180 km tunnis. Ta suudab vedada rongi, mis kaalub ligikaudu 1000 tonni.

§ 161. **Aurukatel.** Aurumasina tööks vajaliku kõrgrõhuga auru saamiseks tarvitatakse aurukatlaid.

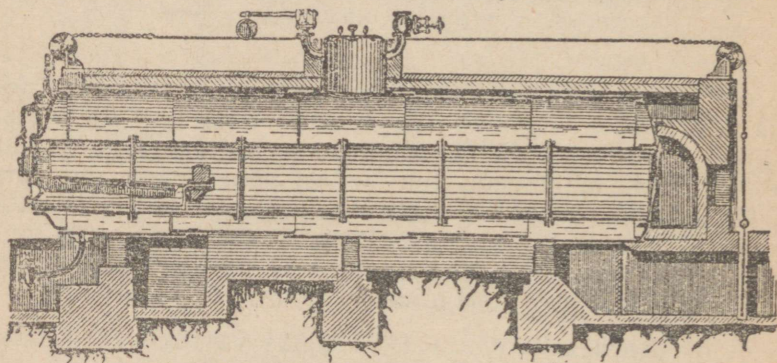
Lihtsaimaks aurukatlaiks on teras- või vaskplaatidest kokkuneeditud silinder. Koldegaasid soojendavad seda katelt ja lähevad korstnasse (joon. 356). Praegusajal üldse ei kasutata selliseid lihtsaid aurukatlaid, kuna nende konstruktsioon võimaldab koldegaasidele ainult lühikest aega katlaga kokku puutuda. Seetõttu lähevad koldegaasid korstnasse kuumadena.

Et täielikumalt ära kasutada koldegaaside soojust, tuleb teha järgmist: 1) suurendada koldegaaside ja katla kokkupuutepinda; 2) pikendada koldegaaside teed koldest korstnani;



Joon. 356. Lihtsaim aurukatel.

3) suurendada koldegaaside liikumise kiirust; 4) panna koldegaasid läbima sama teed mitu korda ja alles siis lasta nad



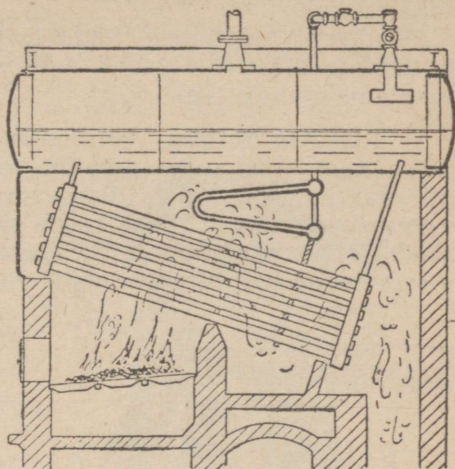
Joon. 357. Leektorukatel.

korstnast välja (seda nimetatakse mitmekordseks tsirkulatsiooniks).

Praegusel ajal on olemas palju aurukatla süsteeme. Neist on järgmised enam tarvitatavad:

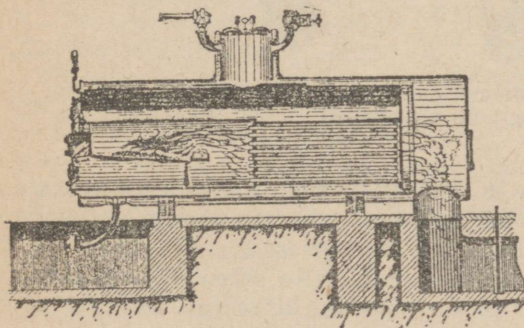
Leektorukatel (joon. 357). Selles katlas koldegaasid lähevad läbi ühest, kahest või kolmest katlas olevast torust; pärast seda lähevad koldegaasid piki katla seinu külgedelt ja alt ning alles siis lendavad korstnasse. Sellise ehitusega on tavaliselt keskküttekatlad.

Veetorukatel (joon. 358) koosneb kahest reservuaarist, mis on omavahel ühendatud torude kaudu. Mõlemad reservuaarid ja torud on täidetud veega. Koldegaasid soojendavad esimeses järjekorras torusid ja ülemist reservuaari, siis alumist reservuaari. Veetorukatlad on tarvilusel aurikutel, elektrijaamades ja suurema osa liikumatute aurumasinate juures.



Joon. 358. Veetorukatel.

Suitsutorukatel (joon. 359) on silinderkatel, mille sees on mitusada võrdlemisi peenikest suitsutoru. Koldegaasid lähevad neist torudest läbi. Seda tüüpi katlad on veduritel.



Joon. 359. Suitsutorukatel.

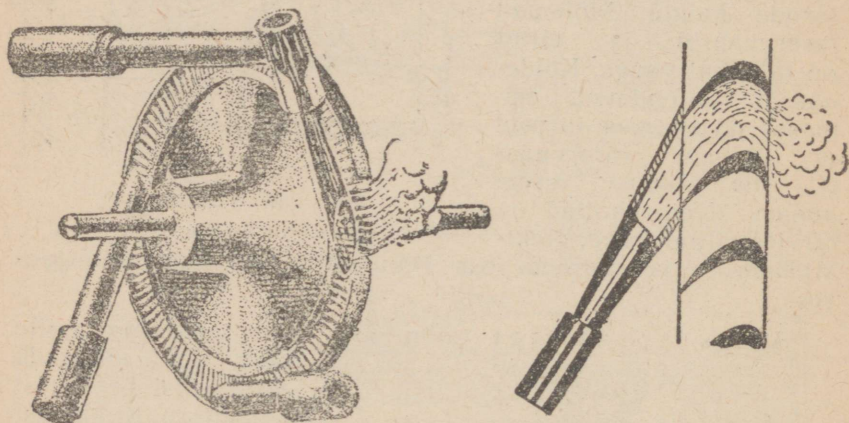
Katlast tulev aur ei lähe kohe aurumasinasse, vaid ta juhitakse enne ülekuumendajasse, kus auru temperatuur suureneb ja ta energia kasvab.

Kõik katlad on varustatud manomeetriga, inžektoriga (sealdisega katla toitmiseks veega), veenäitajaga veetaseme

kontrollimiseks ja kaitseventiiliga (joon. 356), mis avaneb ja laseb välja auru, niipea kui surve katla sisemuses kasvab liiga suureks.

Katlakivi tekkimise takistamiseks toidetakse suuremaid katlaid destilleeritud veega, mida saadakse katlast tuleva auru kondenseerimise teel.

§ 162. **Auruturbiin.** Aurumasinad on rasked ja kohmakad. Mitmekümne tuhande hobujõu võimsusega aurumasin oleks nii suur ja raske, et ta ülesseadmiseks oleks vaja määratu suurt vundamenti. Oleks raske säärast masinat laevale üles seada; kõige võimsamate mehhanismide käivitamiseks ei tarvitata seepärast aurumasinaid, vaid auruturbiine.



Joon. 360. Auruturbiin. Paremalt on kujutatud auru paiskumine vastu turbiini töölabidaid.

Auruturbiiniks on ratas, mis on varustatud hulga kõverate labidatega (joon. 360). Aur paiskub määratu suure kiirusega (üle 1000 meetri sekundis) vähe laienevast toruotsast — düüsi, põrkab vastu labidaid ja annab neile edasi oma kineetilist energiat. Ratas hakkab tiirlema. Auruturbiini tööratas tiirude arv minutis võib ulatuda 40 tuhandeni.

Et paremini ära kasutada auru energiat, ehitatakse auruturbiine mitme töörataga, mis asetsevad ühisel völliil. Düüsi tulev aur satub esimese tööratas labidaile; sealt ta juhitakse läbi seisvate juhtlabidate teisele tööratasale jne.

Turbiin tiirleb ainult ühes suunas; tal ei ole tagasikäiku. Turbiini tiirlemiskiirust võib muuta ainult kitsastes piirides. See-tõttu ei saa turbiine kasutada, kui on vaja masinat sageli peatada või tunduvalt muuta masina kiirust, nagu näiteks veduril. See-eest leiavad turbiinid laialdast kasutamist aurikutel, kus on väga oluline masina kergus ja väiksus. Turbiine tarvita-takse ka elektrijaamades. Ta-gasikäigu saamiseks aurikuil on veel teine turbiin, mis võib tiirelda vastassuunas.

Käesoleval ajal ehitatakse auruturbiine võimsusega kuni 100 000 hj. Auruturbiinide tõhutegur ulatub 25 protsen-dini.

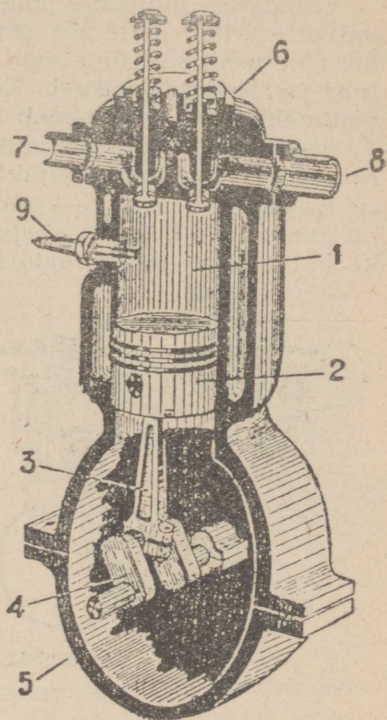
§ 163. Sisepõlemootorid.

Sisepõlemootoriks nimetatakse mootorit, kus põletusaine põleb ära töösilindris endas. Joo-nis 361 kujutab skemaatiliselt sisepõlemootori läbilõiget.

Mootori tähtsamaks osaks on silinder kolviga (joon. 361); kolb on ühendatud kepsu kaudu vāntvõlliga. Kolb liigub silindris edasi-tagasi ja paneb tiirlema vāntvõlli. Kui mootor asetseb lennukil, siis varusta-takse vāntvõlli ots propelleriga. Kui aga mootor on autol või traktoril, siis kinnitatakse vānt-võllile hooratas ja ühendatakse see hõõrdesiduri abil võlliga, mis paneb liikuma tagarattad.

Sisepõlemootorid on harilikult mitme silindriga. Kõik silindrid on kinnitatud ühisele malmist või alumiiniumist vala-tud kerele ehk karterile (joon. 361).

Silindrikaanes on kaks klappi: põletusaine ja õhu segu sisselaskeklapp ja põlenud gaaside väljaslaskeklapp.



Joon. 361. Sisepõlemootori läbi-lõige: 1 — silinder; 2 — kolb; 3 — keps; 4 — vāntvõll; 5 — kar-ter; 6 — silindrikaas; 7 — sisse-laskeklapp; 8 — väljaslaskeklapp; 9 — süüteküünal.

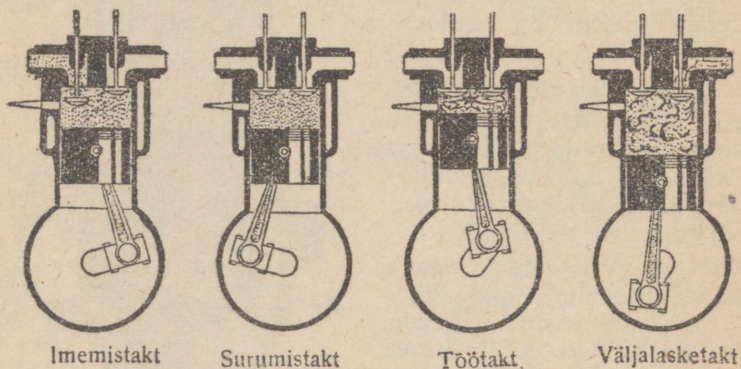
Peale selle on silindrikaande kruvitud elektersüütaja („süüteküünal“), mis süütab küttesegu vajalikul momendil.

Sisepõlemootorite silindreid jahutatakse voolava veega või õhuga.

Silindrisse juhitakse põletusainet, milleks on bensiiniauru, pulveriseeritud nafta või gaasi ja õhu segu. Süüteküünal süütab põletusaine ja õhu segu. Silindris leiduva gaasi temperatuur ja rõhumine kasvab. Gaasi rõhumine tõukab kolbi, mis vântmehhanismi abil paneb liikuma vântvõlli.

Sisepõlemootori töö võib olla nelja- või kahetaktiline. Rohkem levinud on neljataktilised mootorid.

E s i m e n e t a k t — imemine (joon. 362). Sisselaskeklapp on avatud. Kolb liigub allapoole ja imeb silindrisse küttesegu karburaatorist (karburaatoris põletusaine, s. o. bensiin või



Joon. 362. Sisepõlemootori töö.

petrooleum, aurustub ja seguneb õhuga). Väljalaskeklapp on samal ajal suletud.

T e i n e t a k t — kompressioon. Mõlemad klappid on suletud. Kolb liigub ülespoole ja surub õhu ja bensiiniauru segu kokku. Silindri sisemuses suureneb rõhumine ja temperatuur.

K o l m a s t a k t — töötakt. Mõlemad klappid on suletud. Kokkusurumise lõppemise momendil annab küünal sädeme ja bensiiniaurud süttivad. Bensiin põleb väga kiiresti ära. Silindris kasvab temperatuur ja rõhumine mitmekordseks. Kolb liigub kõrge rõhumise mõjul allapoole ja teeb tööd; temperatuur ja rõhumine silindris väheneb.

Neljas takt — väljalase. Sisselaskeklapp on suletud. Väljalaskeklapp on avatud. Kolb liigub ülespoole ja surub põlenud gaasid silindrist välja.

Siis hakkab kõik uuesti otsast peale.

Sisepõlemootor teeb 1500 kuni 4500 tiiru minutis.

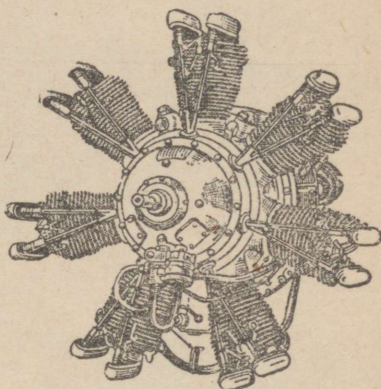
Me näeme, et iga kahe tiiru kohta tuleb ainult üks töökäik: väntvõll sooritab töögaaside surve all ainult pool tiiru. Ülejäänud poolteist tiiru toimuvad võlli tiirlemise inertsil mõjul. Seetõttu peab ühe või kahe silindriga mootoril olema massiivne hooratas.

Neljataktilised sisepõlemootorid on väga levinud. Neid kasutatakse autode, traktorite, lennukite ja tankide liikumapanemiseks.

Lennukimootorid on praegu väga täiuslikud (joon. 363). Ühe lennukimootori võimsus võib ületada kaks tuhat hobujõudu. Tõhutegur on 25%. Mootor on väga kerge, kuna ühe hobujõu kohta tuleb ainult umbes 0,5 kg (näiteks 1500 hj. võimsusega mootor kaalub umbes 750 kg). Auto- ja lennukimootorid töötavad bensiiniga; see on suur puudus, sest bensiin on kallid ja tuleohtlik.

Paiksete seadmete juures ja mootorlaevade liikumapanemiseks tarvitatakse tavaliselt Diesel'i süsteemi sisepõlemootoreid (diiselmootoreid). Diiselmootorid töötavad odavama, raskema põletusainega (nafta või petrooleumiga). Nende mootorite töö on samuti neljataktiline. Ent siin satub imemise ajal silindrisse puhas õhk; see õhk pressitakse kompressiooni taktis nii tugevasti kokku, et ta temperatuur tõuseb mitmesaja kraadini. Töötakti alguses pritsitakse silindrisse naftat, mis kuumas õhus süttib.

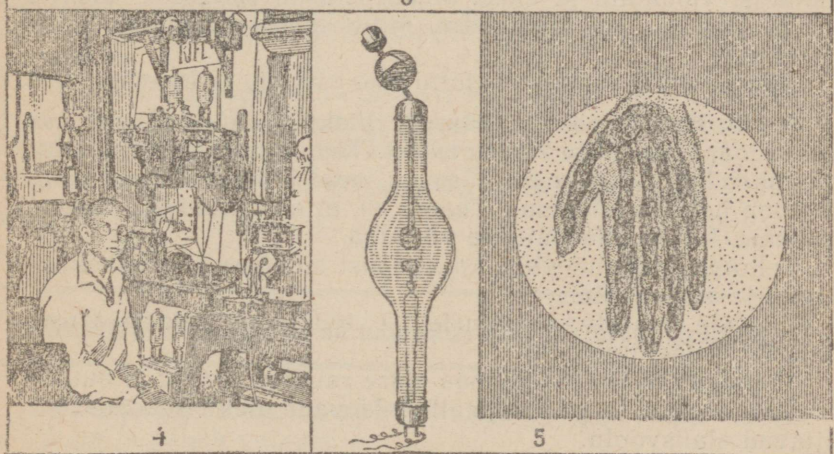
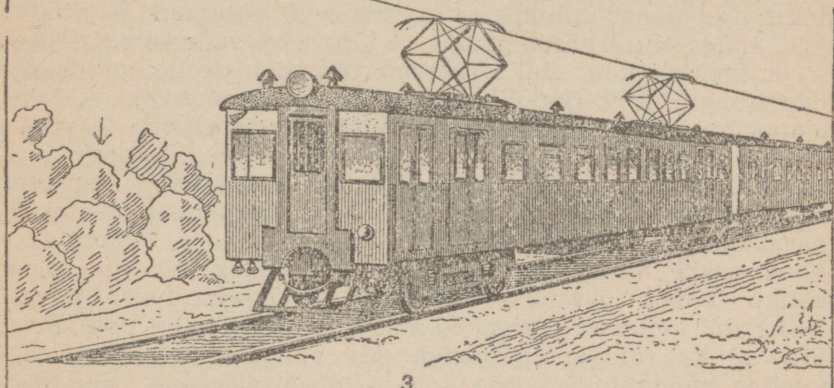
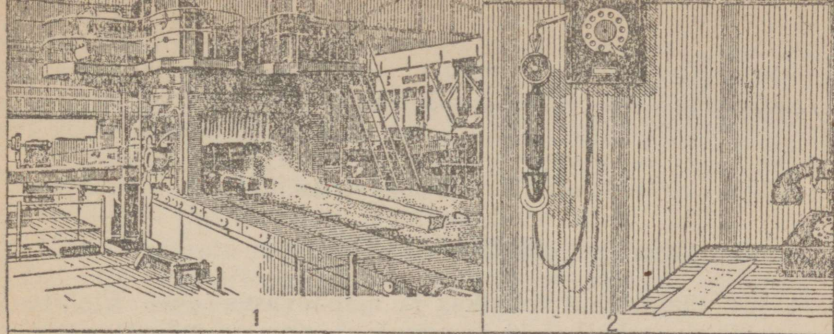
Diiselmootoreil on väga kõrge tõhutegur: kuni 40%. Ühe mootori võimsus võib olla kuni 10 000 hj. Naftaga töötav diiselmootor on tuleohutu.



Joon. 363. Lennukimootor.

Mootorlaevu ja -vedureid pannakse liikuma diiselmootorite abil. Mootorvedurid tarvitavad ligi neli korda vähem kütet kui auruvedurid; nad ei vaja vett ja võivad sõita väga pikka maad ilma vahepeatusteta.

Praegu töötatakse küsimuse kallal, kuidas saaks rakendada diiselmootoreid autode ja lennukite liikumapanemiseks.



Joon. 364. Elekter tehnikas: 1 — elekter paneb liikuma määratu suuri bluuminguid; 2 — elekter paneb töötama telefoni; 3 — elektrijõul sõidavad elektrirongid; 4 — elektriga töötab raadio; 5 — elektriga töötavad röntgeni-aparaadid mis võimaldavad vaadata inimorganismi ja metallesemete sisemusse.

Üheteistkümmes peatükk.

ELEKTRIVOOLO.

§ 164. **Elektrivool tehnikas ja igapäevases elus.** Elektrivoolu tähtsus tehnikas ja igapäevases elus on määratu suur. Elektrivool paneb liikuma mitmesuguseid masinaid ja seadmeid, alates suurest bluumingust ja lõpetades väikese ventilatoriga. Elektrivoolu abil sõidavad trammid, trolleibused ja elektrirongid. Elektrivool valgustab maju ja tänavaid, kütab sulatusahjusid ja soojendusriistu, mida me tarvitame igapäevases elus. Elekter on ka see, mille abil töötab side: telefon, telegraaf ja raadio. Elektrivool võimaldab meistritele täpselt jälgida kõrgahjude, martin-ahjude ja mitmesuguste keemiaaparaatide tööd. Elektrivool eraldab lahustest ja sulamitest puhast vaske, alumiiniumi ja teisi metalle. Elektrivool on teadusliku töötaja parimaks abiliseks laboratooriumis, kuna elektri abil töötavad täpseimad mõõduriistad. Elektrivoolu abil töötavad ka röntgeniaparaadid, mis võimaldavad vaadelda metallist valandite ja elusa inimorganismi sisemust. Elektrivoolu kasutab ka arstiteadus mitmesuguste haiguste ravimiseks.

Käesolevas peatükis on juttu elektrivoolu põhiomadustest.

§ 165. **Elektrivoolu omadused.** Elektrivooluga oleme tuttavad igapäevase elu kogemustest. Teame, et keerates lülitit, mis ühendab elektrilampi võrguga, vool hakkab läbima lampi ja lamp hakkab hõõguma. Teame ka, et elektrimootor hakkab töötama, kui ta ühendatakse võrguga.

Tehnikas rakendatakse kahesugust elektrivoolu: vahelduvvoolu ja alalisvoolu.

Linnade, tehaste, asunduste ja töökodade elektrivõrgud annavad vahelduvvoolu.

Trammid, trolleibused, maa-aluse raudtee rongid ja autode, raudteerongide, lennukite ja allveelaevade elektriseadmed tarvitavad alalisvoolu.

Alalisvool läbib juhtmeid alati ühes suunas.

Vahelduvvoolu suund juhtmeis muutub ligi sada korda sekundis. Alguses vool läbib juhtmeid ühes suunas, aga ühe sajandiku sekundi möödudes hakkab vool liikuma vastasuunas, et järgmise sajandiku sekundi vältel jälle endises suunas voolata, ja nõnda edasi.

Alalisvoolu saadakse tavaliselt elektrimasinate abil, mida nimetatakse dünamoteks, ja ka akumulaatoritest ja galvaani elementidest (näiteks taskulambi-patarei).

Vahelduvvoolu saadakse elektrimasinatest, mida nimetatakse alternaatoriteks. Kõik elektrienergia toodavad eranditult vahelduvvoolu.

Tutvume katsete varal alalisvoolu ja vahelduvvoolu põhiomadustega.

Katsete läbiviimiseks võtame vahelduvvoolu pistiklülitist ehk seinakontaktist. Pistiku pesa on ühendatud pikkade juhtmete ja mitme vahepealse seadme kaudu elektrienergia tootavate elektrimasinatega. Alalisvoolu saamiseks kasutame auto akumulaatorit.



Joon. 365. Elektrivool tekitab soojust.

Lülime elektri-tee kannu elektrivõrku (joon. 365); teekannu traatmähist hakkab läbima elektrivool, traatmähis kuumeneb hõõgpunaseks ja soojendab kannus olevat vett.

Ühendame akumulaatoriga väikese tüki raudtraati; traat soojeneb samuti.

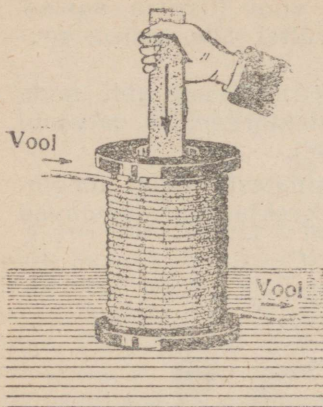
Järelikult:

Niihästi alalisvool kui ka vahelduvvool tekitavad soojust.

Elektrilambi metallniidike hakkab elektrivoolu mõjul hõõguma ja annab valgust.

Ühendame seinakontaktiga paljudest traadikeerdudest koos-

neva pooli (joon. 366). Elektrivool hakkab läbima pooli. Lähendame poolile raudpulga. Raudpulk tõmbub tunduva jõuga pooli sisse. Nüüd ühendame pooli akumulaatoriga; me näeme, et pool tõmbab ka nüüd raudpulka endasse.



Joon. 366. Elektrivool tekitab magnetismi. Elektrivoolust läbitav pool tõmbab rauatüki enda sisse.

Võtame kaks rööpset, peenikest ja väga painduvat traati (joon. 367) ja juhime neisse vahelduvvoolu seinakontaktist või alalisvoolu akumulaatorist. Kui elektrivoolu suund on mõlemas traadis sama, siis traadid tõmbavad teineteist lähemale (joon. 367); on aga elektrivoolu suunad traatides vastupidised, siis traadid tõukavad teineteist eemale (joon. 368).

Elektrivoolu mõju rauasse ja elektrivoolu mõju teise elektrivoolusse nimetatakse magnetiliseks mõjuks.

Nii siis:

Alalisvool ja vahelduvvool tekitavad magnetilist mõju.

Elektrivoolu magnetilist mõju kasutatakse väga sageli elektrivoolu olemasolu kindlakstegemiseks vooluahelas.

Ühendame kaks sõepulka vasktraatide kaudu akumulaatoriga ja paneme sõepulgad vasevitrioli-lahusesse (joon. 369). Elektrivool hakkab läbima lahust. Ühe või kahe minuti möödudes võtame sõed lahusest välja ja näeme, et ühel sõepulgal on puhta metalse vase kord, kuna teisel sõepulgal ei ole näha muudatusi.

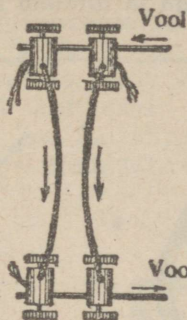
Lahuses toimub keemiline reaktsioon: puhas vask eraldub vasevitriolist.

Järelikult:

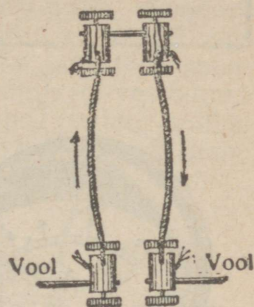
Alalisvool tekitab keemilist mõju.

Nüüd laseme alalisvoolu vasevitrioli-lahusest läbi vastupidises suunas. Selleks tuleb ümber asetada traadid, mis ühendavad sõepulki akumulaatoriga. Vask, mis oli enne sadestunud sõepinnale, lahustub nüüd ja sõepulk on jälle puhas.

Aga kui me laseme lahusest läbi vahelduvvoolu, mida võtame seinakontaktist, siis ei järgne mingit keemilist reaktsiooni ja vaske ei sadestu.



Joon. 367. Sama-suunalised voolud tõmbavad teineteist lähemale.

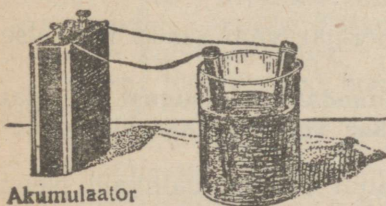


Joon. 368. Vastas-suunalised voolud tõukavad teineteist eemale.

Vahelduvvool ei põhjusta keemilist mõju.

Selle põhjuseks on asjaolu, et aine, mis sadestub sellal, kui elektrivool liigub ühes suunas, lahustub otsekohe, kui elektrivoolu suund muutub.

§ 166. **Ampermeeter.** Elektrivoolu olemasolu juhtmeis avastatakse ampermeetri abil. Ampermeetriks nimetatakse seadeldist elektrivoolu tugevuse mõõtmiseks. Ampermeetri ehitusviis põhineb elektrivoolu magnetilisel mõjul.

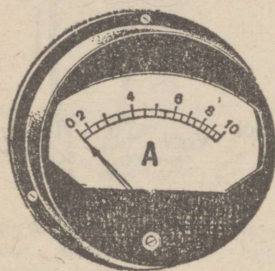


Joon. 369. Alalisvool tekitab keemilist protsessi.

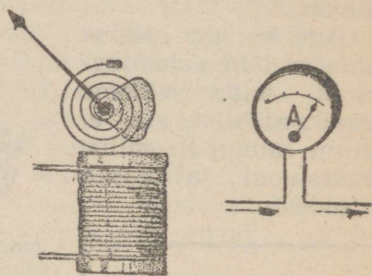
Joonis 370 kujutab kõige enam levinud ampermeetri tüüpi. Joonisel 371 on näidatud selle ehitus ja lülitusviis. Ampermeeter koosneb väikesest poolist, mis on tehtud jämedast vasktraadist või vasklindist. Pooli läbiv elektrivool tõmbab ligi kergest raudlehekest, mis

võib vabalt pöörduda oma teljel. Sama telje külge kinnitatakse kerge osuti, mis püsib null-asendis väikese jõhvvedru survel.

Mida tugevam on pooli läbiv elektrivool, seda suurema jõuga ta tõmbab rauda ligi.



Joon. 370. Ampermeeter.



Joon. 371. Ampermeetri ehitus ja lülitusviis.

Ent mida tugevama jõuga ampermeetri pool tõmbab rauda ligi, seda enam keerdub jõhvvedru ning seda kaugemale kaldub osuti.

Ampermeeter ühendatakse ahelasse nii, et sellest läheks läbi kogu mõõdetav elektrivool (joon. 371). Säärast ühendusviisi nimetatakse järjestikuseks ühenduseks.

§ 167. **Vooluallikad.** Elektrienergiat võib saada iga teise energialiigi kulul.

Masinat või seadeldist, mis muundab mingisugust energiat elektriliseks energiaks, nimetatakse vooluallikaks ehk generaatoriks.

Käesoleval ajal tarvitatakse mitut liiki vooluallikaid. Neist on elektrimasinad kõige tähtsamad.

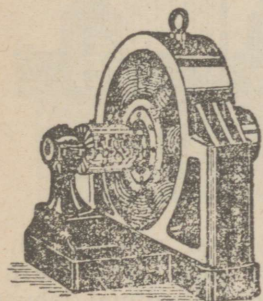
Elektrimasinad (joon. 372) toodavad elektrit mehaanilise energia kulul.

Elektrimasinaid pannakse töötama mitmesuguste jõumasinate abil; selleks võib rakendada auru- või veeturbiine, sise-põlemootoreid või aurumasinaid.

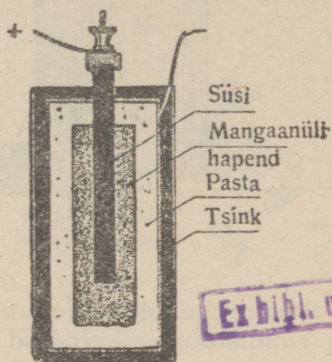
Elektrimasinate töötamisviis on käsitledud järgmises peatükis.

Mõnel juhul kasutatakse vooluallikaina galvaani elemente. Galvaani element annab elektrit keemilise energia kulul. Tun- takse väga palju mitmesuguseid elementitüüpe.

Joonis 373 kujutab nõndanimetatud lekklanšee elementi. See koosneb tsinkplaadist ja söepulgast, mis asetsevad sal- miaagi-lahuses. Söepulk asetseb peale selle pulbrilise man- gaanühilapendiga täidetud kotikeses. Salmiaagi-vesilahuse asemel tarvitatakse vahel ka kartulitärklise-pastat, millele lisandatakse salmiaaki. Sellist elementi võib kallutada ja maha



Joon. 372. Elektrimasin.



Joon. 373. Lekklanšee kuiv- elemendi läbilõige.

pillata — pasta ei voola sellest välja; seda elementi nimeta- takse kuivelemendiks. Taskulambi-patarei koosneb kolmest lekklanšee kuivelemendist.

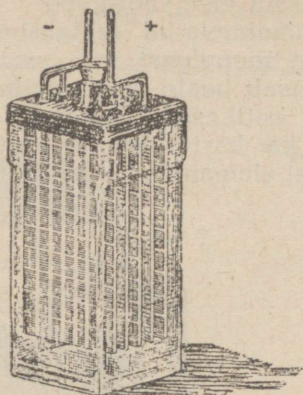
Element töötab, kuni kogu tsink lahustub või kuni lahus kuivab ära.

Kulunud elementi ei saa uuesti tarvitamiskõlblikuks teha.

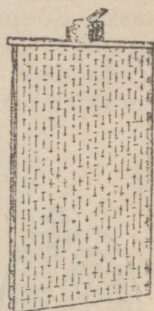
Akumulaator on galvaani element, mida saab uuesti tarvitamiskõlblikuks teha, kui lasta temast läbi mõne väljas- pool asetseva allika vastassuunalist elektrivoolu. Seda nime- tatakse akumulaatori laadimiseks. Laetud akumulaator võib töötada vahetpidamata 10—12 tundi täie koormatusega; siis peab teda uuesti laadima. Käesoleval ajal tarvitatakse kahte tüüpi akumulaatoreid: plii- ehk happe-akumulaatoreid ja raud- nikkel- ehk leelis-akumulaatoreid. Plii-akumulaatoriks on vää- velhappe-lahusega täidetud klaasanum, milles asetseb mitu plaati (joon. 374). Nende plaatide põhiosaks on pliirestid

Exhib. univ. Ta

(joon. 375). Ühed restid kaetakse pliiühilhapendiga, teised — hästi kohedaks tehtud puhta pliiga.

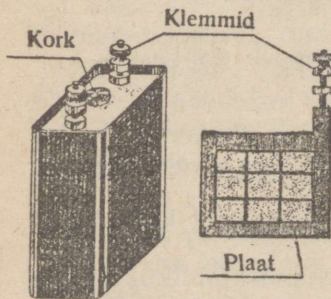


Joon. 374.
Plii-akumulaator.



Joon. 375. Plii-akumulaatori plaadi ehitus.

Raudnikkel-akumulaator kujutab endast metallkarpi, mis on valmistatud nikeldatud terasplekist (joon. 376). Karp on täidetud sööbekaaliumi lahusega, milles asetseb rida plaate. Plaati-deks on õhukesed metallkestad; need on valmistatud nikeldatud terasplekist, milles on hulk augukehi (joon. 377). Ühed plaadid on täidetud nikliühendi pulbriga, teised rauaühendi pulbriga.



Joon. 376. Joon. 377.

Joon. 376. Raudnikkel-akumulaator.

Joon. 377. Raudnikkel-akumulaatori plaadi ehitus.

Uhesuguse kaalu juures varub raudnikkel-akumulaator suurema hulga elektrienergiat kui plii-akumulaator. Peale selle on ta palju tugevama ehitusviisiga ja kergemini käsitsetav.

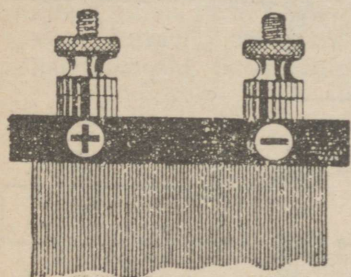
Elektervalgustusega rongid, lennukid, autod, allveelaevad ja teised liikuvad masinad, mida ei

saa ühendada elektri jaamaga traatide kaudu, on alati varustatud akumulaatori ja dünamoga. Akumulaator annab voolu siis, kui dünamo ei tööta, see tähendab siis, kui lennuk, auto või rong ei liigu või kui allveelaev on sukeldunud. Kui aga

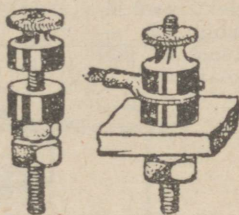
dünamo töötab, siis ta toidab vooluga vastavaid seadmeid ja peale selle laadib akumulaatoreid. Eriti suure elektrivoolu tarvituse ajal (näiteks lennukil rataste sissetõstmise või pommitusseadme töötamise puhul) võetakse akumulaatori vool lisaks dünamo voolule.

Vee all sõitvas allveelaevas lasub kogu töö akumulaatoritel, kuna mootor vee all ei tööta.

Alalisvoolu allikal on kaks poolust (joon. 378). Üks neist poolustest on nõndanimetatud positiivne poolus, mida tähis-



Joon. 378. Alalisvooluallika poolused.



Joon. 379. Klemmid.

tatakse märgiga pluss (+). Teine poolus on negatiivne ja seda tähistatakse märgiga miinus (—). Poolustel on tavaliselt klemmid (joon. 379), mille abil juhtmed kinnitatakse poolustele.

Oletatakse, et elektrivool liigub mööda juhtmeid positiivse pooluse juurest negatiivsele. Vahelduvvoolu allikal on samuti poolused, aga nende pooluste märgid muutuvad iga sajandiku sekundi tagant: kus on antud momendil pluss, seal on sajandiku sekundi pärast miinus ja nõnda edasi. Seetõttu ei saa vahelduvvoolu pooluseid tähistada märkidega + ja —, nagu seda tehakse alalisvoolu allikate juures.

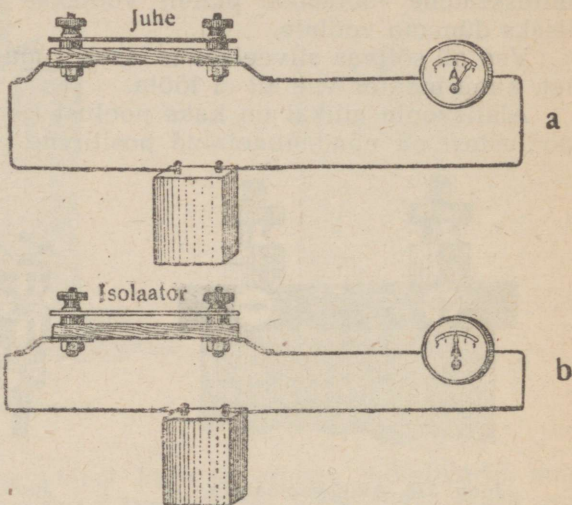
§ 168. **Juhid ja isolaatorid.** Elektrivool ei läbi kõiki aineid. Mõned ained lasevad elektrivoolu läbi, teised ei lase.

Aineid, mida elektrivool saab läbida, nimetatakse elektri-juhtideks.

Aineid, mida elektrivool ei saa läbida, nimetatakse mitte-juhtideks ehk isolaatoreiks.

Vooluallika ja ampermeetri abil saab hõlpsasti kindlaks teha, missugused kehad on elektri-juhid, missugused mitte. Sel-

leks ühendatakse vooluallika poolused uuritavast materjalist valmistatud plaadikese või traadiga, lülitades ahelasse ampermeetri (joon. 380). Kui ampermeetri osuti kaldub kõrvale, siis



Joon. 380.
 a — elektrivool läbib juhet; b — elektrivool ei läbi isolaatorit.

on antud aine elektrijuht, kui aga osuti kõrvale ei kaldu, siis on meil tegemist isolaatoriga.

Metallid on head elektrijuhid.

Eriti hästi juhivad elektrit hõbe, vask ja alumiinium (seetõttu valmistatakse elektrivoolu juhtmed tavaliselt vasest või alumiiniumist).

Hapete, aluste ja soolade vesilahused juhivad elektrivoolu, aga palju halvemini kui metallid.
 Gaasid võivad samuti juhtida elektrivoolu, aga väga halvasti.

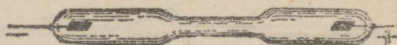
Huvitaval kombel hakkab elektrivoolust läbitud gaas kiirgama, andes kindlavärvilist valgust. Näiteks gaas argoon an-

nab sinist valgust, neon — punast valgust, lämmastik — violetset, naatriumaur — kollast jne.

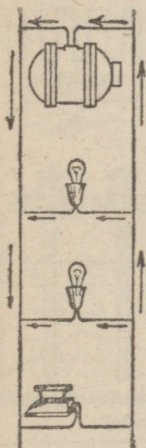
Klaastoru, mille otstes on kaks elektroodi ja mis on täidetud hõrendatud gaasiga, nimetatakse huumtoruks (joon. 381).

Pealkirjad allmaarautee sissekäikude juures ja äride valgusreklaamid tehakse tihipeale huumtorudest.

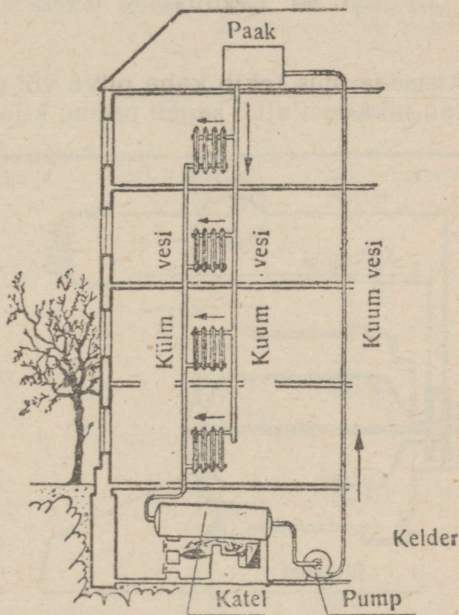
Kuiv puit, kivimid, liiv, keemiliselt puhas vesi, klaas, portselan, kummi, marmor, plastilised massid, paber, siid ei juhi elektrit.



Joon. 381. Huumtoru.



Joon. 382.
Elektriahel.

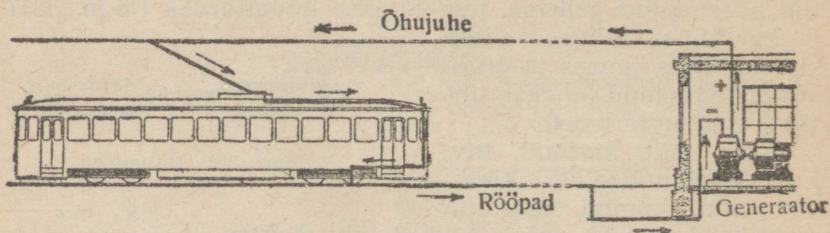


Joon. 383. Elektriahel sarnaneb kesk-kütte-süsteemiga.

Parimaiks isolaatoreiks on klaas, portselan, eboniit, kvarts, merivaik.

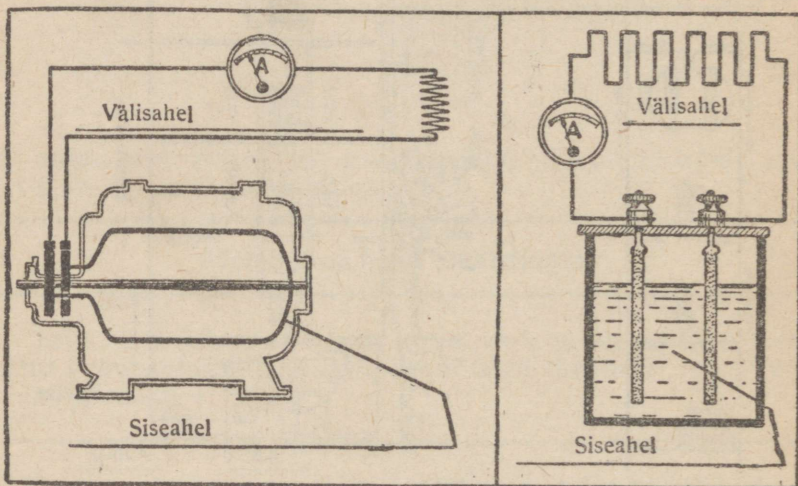
Mõnel juhul võib elektrisäde isolaatorist läbi lüüa.

Õhku läbib elektrisäde on meile hästi tuntud igapäevasest elust. Me kõik oleme näinud elektrisädemeid, mis tekivad pistiku (hargi) väljatõmbamisel pistikupesast. Välg on samuti



Joon. 384. Elektriraudtee teiseks juhtmeks on rööpad.

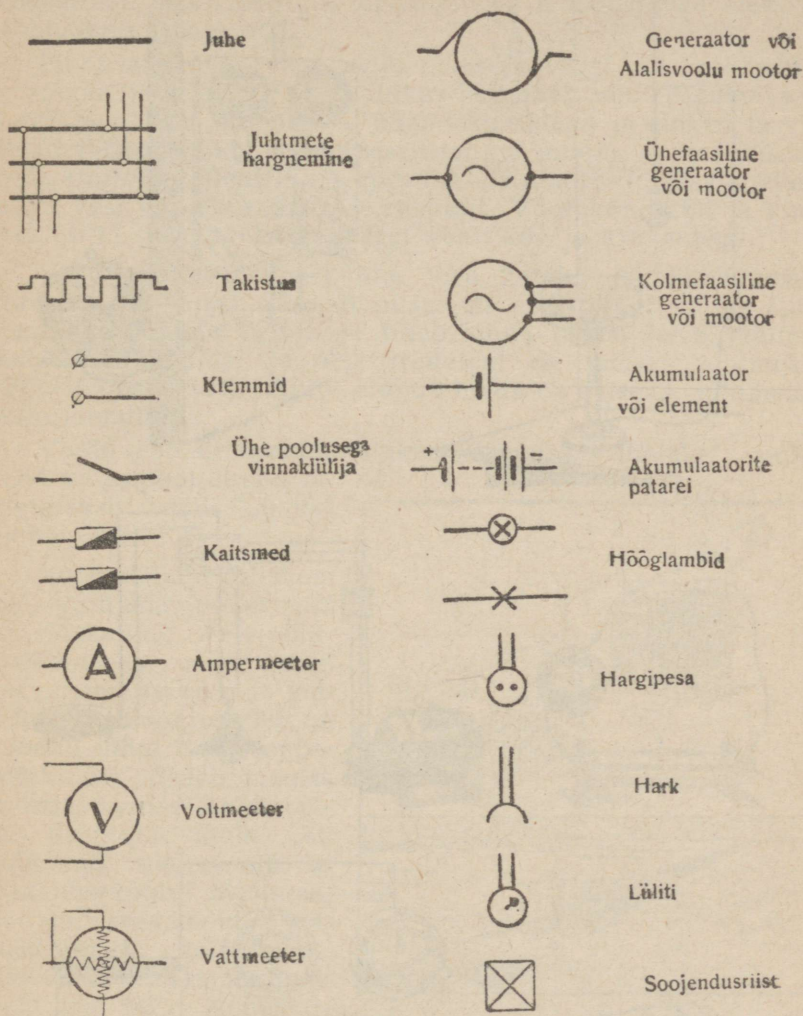
elektrisäde, mis tekib kahe pilve või pilve ja maapinna vahel. Välgu pikkus ulatub sageli mitme kilomeetrini.



Joon. 385. Välisahel ja sisemine ahel.

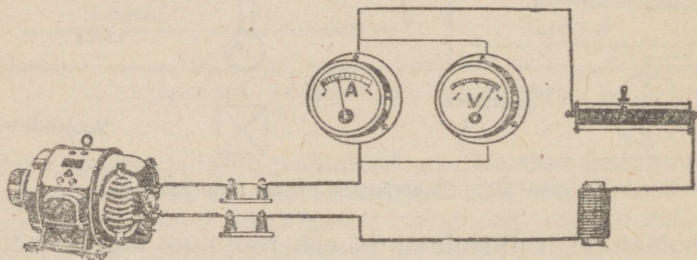
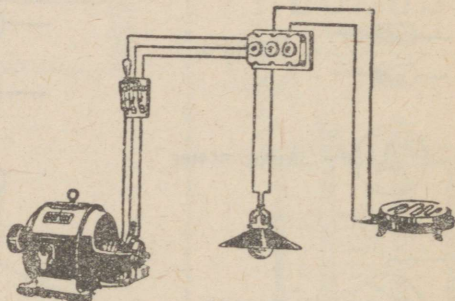
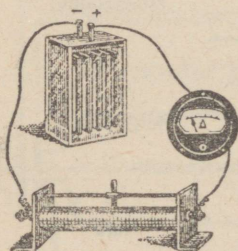
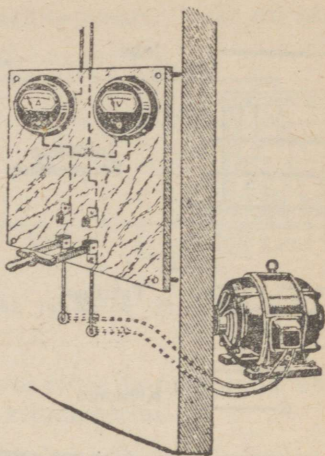
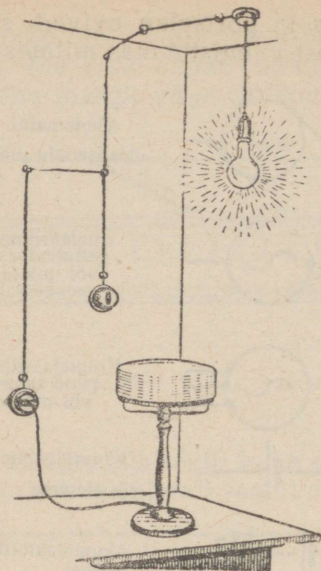
Kui elektrisäde läbib isolaatorit, siis lüüakse isolaator sõna tõsisel mõttes läbi. Isolaatorisse tekib auk, mis sarnaleb kuuli-auguga. Portselanist või klaasist isolaatorid võivad seejuures tükkideks puruneda. Mida paremini isolaator paneb vastu sädeme mõjule, seda suurem on isolaatori nõndanimetatud

„elektri läbilöögi tugevus“. Klaas ja portselan evivad suurt elektri läbilöögi tugevust; seepärast valmistatakse mitmesugu-



Joon. 386. Elektriahela osade leppemärke.

sed isolaatorid (rull-isolaatorid ehk roolikud, tugi-isolaatorid, rippuvad isolaatorid ja teised) portselanist või klaasist.



Joon. 387. Elektriakelate näiteid.

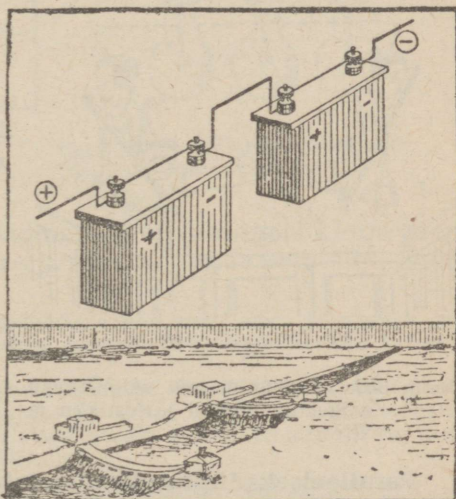
§ 169. **Elektriahel.** Vooluallikas, tarvitajad (hõõglambid, mootorid, soojendusaparaadid) ja elektrijuhtmed, mis ühendavad allikat elektrienergia tarvitajatega, moodustavad elektri-vooluahela (joon. 382).

Elektriahelal on väga palju ühist veevärgi või keskküttevõrguga (joon. 383). Vooluallikas sarnaneb vett liikuma paneva pumbaga, juhtmed — ühendustorudega ja elektri tarvitajad (hõõglambid, soojendusriistad ja muud) — keskkütteradiaatoritega. Elektrivool võib liikuda ainult kinnises ahelas, nagu vesi voolab kinnises torustikus. Voolukontaktid ja vinaklülitid sarnanevad veevärgi ventiilide ja kraanidega.

Vesi väljub pumbast ühe toru kaudu ja tuleb teise toru kaudu tagasi. Täpselt niisamuti elektrivool väljub allikast ühe juhtme kaudu ja tuleb sinna tagasi teise juhtme kaudu. Trammidel ja elektriraudteel on teiseks juhtmeks rööpad (joon. 384). Auto elektriahelas on teiseks juhtmeks auto metallkere.

Voolu teed allikas nimetatakse „sisemiseks ahelaks“; voolu teed väljaspool ahelat nimetatakse „välisahelaks“ (joon. 385).

Vooluahelaid tuleb sageli kujutada joonestistel ja skeemidel. Asja lihtsustamiseks on võetud tarvitusele terve rida leppemärke. Joonisel 386 on toodud mõni neist leppemärkidest. Tuleb mees pidada, kuidas tähistatakse üksikuid ahela osi: juhtmeid, alalisvoolu ja vahelduvvoolu masinaid, soojendusseadmeid, vinaklülitid, hõõglampe, kaitsmeid, ampermeetreid jne. Neid leppemärke tarvitatakse väga sageli.



Joon. 388. Järjestikune lülitus.

Ulesanne. Joonis 387 kujutab elektriahelaid. Joonestada need ahelad, kasutades joonisel 386 toodud leppemärke.

§ 170. Järjestikune ja paralleelne lülitus. Elektri ahela üksikuid osi võib ühendada üksteisega järjestikku või paralleelselt.

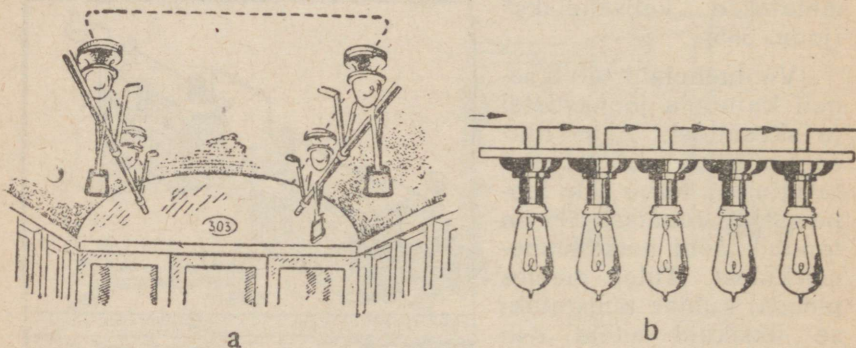
Järjestikuseks nimetatakse säärast lülitusviisi, kus sama elektrivool läbib järjestikku mitmesuguseid ahela osi.

Joonis 388 kujutab vooluallikate järjestikust lülitusviisi.

Joonisest nähtub, et järjestikusel ühendamisel ühendatakse ühe akumulaatori positiivne poolus teise akumulaatori negatiivse poolusega.

Kui lülitame välja ühe järjestikku lülitatud lampidest, siis ahel katkeb ja kõik lambid kustuvad.

Kui üks järjestikku lülitatud lampidest põleb läbi, siis katkeb ahel samuti ja jälle kõik lambid kustuvad, nii et ei saa öelda kohe, missugune lamp on läbi põlenud. Tuleb järele vaadata kõik lambid. Seetõttu lampe harilikult ei ühendata järjestikku. Järjestikuse lülituse üheks näiteks on trammivaguni lampide lülitus: mõlemal pool trammivaguni laes olevad hõõglambid on omavahel ühendatud järjestikku (joon. 389).



Joon. 389. Laelambid, mis valgustavad trammivaguni sisemust, on omavahel ühendatud järjestikku (a — üldvaade, b — skeem).

Paralleelseks lülituseks nimetatakse lülitusviisi, kus elektrivool haruneb ja läbib üksikuid ahelaosi mitte üksteise järel, vaid korraga.

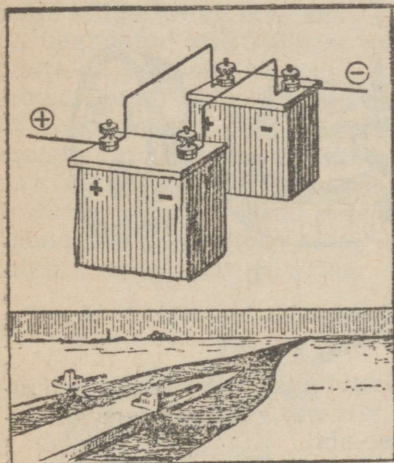
Vooluallikate paralleelne ühendus on näidatud joonisel 390. Kõik vooluallikate pluss-poolused on omavahel ühendatud. Ka kõik vooluallikate miinuspoolused on omavahel

ühendatud. Kui alalisvoolu allikate asemel tarvitame vahelduvvoolu masinaid, siis tekivad ühe sajandiku sekundi pärast miinused sinna, kus praegu on plussid; ent kahe sajandiku sekundi möödudes on seal jälle plussid. Selliselt ühendatakse masinaid elektriijaamades.

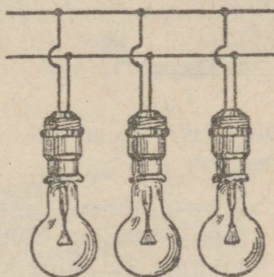
Joonis 391 kujutab hõõglampide paralleelset lülitust.

Võib välja lülitada ükskõik missuguse paralleelselt ühendatud lampidest; ülejäänud lambid põlevad edasi.

Kui üks lampidest põleb läbi, põlevad kõik teised endiselt ja me näeme kohe, missugune lamp läbi põles (sest ai-



Joon. 390. Paralleelne lülitus.



Joon. 391. Hõõglampide paralleelne lülitus.

nult see lamp kustub). Läbipõlenud lampi on siis kerge asendada. Elukorterites, asutistes ja tehastes on lambid alati ühendatud paralleelselt.

Ülesanne 1. Joonestada leppemärkide abil neli lampi ja mootor, mis on omavahel paralleelses ühenduses. Joonestada kuus järjestikku lülitatud akumulaatorit.

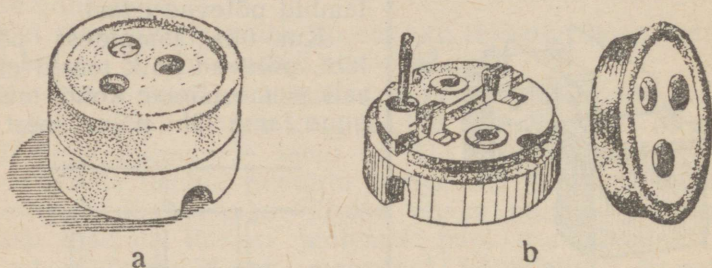
Ülesanne 2. Joonestada leppemärkide abil kaks hõõglampide gruppi kolme lambiga igas grupis, kusjuures iga grupi lambid oleksid ühendatud paralleelselt. Ühendada need mõlemad grupid omavahel järjestikku. (Säärast lülitusviisi nimetatakse segälülituseks.)

§ 171. **Pistiklülitid, lülitid, vinnaklülitid.** Kui elektrit ei ole vaja, tuleb katkestada ahel. Siis elektrivool ei läbi juhtmeid ja elektrienergiat ei lähe kasutult kaduma. Aga kui elektrit on vaja, näiteks toa valgustamiseks või masina käivitamiseks, siis peab ahela sulgema. Siis elektrivool hakkab jälle läbima juhtmeid ja me saame rakendada elektrienergiat vajaduse koha-

selt. Vooluahela sulgemiseks ja katkestamiseks tarvitatakse pistiklüliteid, lüliteid, surulüliteid, vinnaklüliteid ja lülitusvõtmeid.

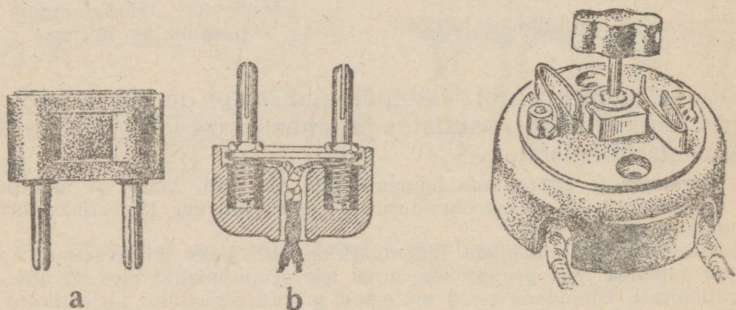
Seinakontakt koosneb pistikupesast ja pistikust (joon. 392 ja 393).

Pistikupesa (joon. 392) koosneb portselan- või eboniitalusest kahe vaskpesaga, kuhu kinnitatakse kruvide abil



Joon. 392. Pistikupesa: a — kokkupandult, b — lahtivõetult.

elektrivõrgu juhtmed. Pesa-alus kruvitakse kahe kruviga puuketta külge, mis on kinnitatud seinale. Aluse külge kruvitakse kaas ühe või kahe kruvikese abil.



Joon. 393. Pistiklüliti pistik: a — kokkupandult, b — lahtivõetult.

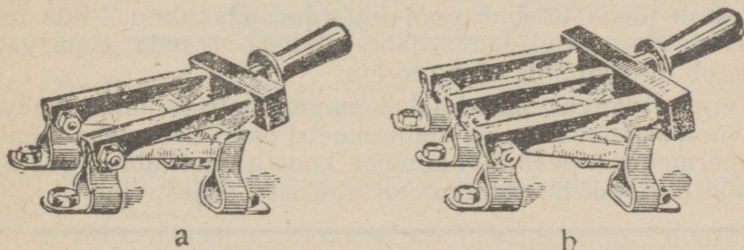
Joon. 394. Lüliti (äravõetud kaanega).

Pistik (hark) koosneb eboniitpidemest, mille sisse on kruvitud kaks vaskset haru (joon. 393). Hargiharude külge kinnitatakse elektrijuhtme otsad. Juhtmeotste ja hargiharude

mutrite vahel on fiibrist (isoleerainest) plaadikene. Hargiharudele kinnitatavad juhtmeotsad on hoolikalt puhastatud ja üks-teisest eraldatud isoleerpaela abil. Isoleerpael kujutab endast puuvillast linti, mis on immutatud isoleeriva seguga.

Mõnikord varustatakse pistikupeski kaitsmetega (nõndanime-tatud lamellidega); sel juhul on pistikupesa ehitus veidi keeru-kam.

Lüliti (joon. 394) koosneb portselan- või eboniit-alusest, mille külge kruvitakse kaks vetruvat kontakti. Need kontaktid on ühendatud elektrivõrgu juhtmetega. Kontaktide vahel võib pöörelda portselantrummel, mille telg on varustatud käepide-mega. Trumli külge kinnitatakse vaskplaadike. Keerates trum-lit käepidemest, võime ta asetada kahte asendisse. Esimeses asendis on vetruvad kontaktid surutud vastu vaskplaati: vool on sisse lülitatud. Teises asendis on kontaktid surutud vastu portselantrumlit ennast: vool on välja lülitatud. Lüliti kaetakse kaanega, mida hoiab kinni käepide. Kaane mahavõtmiseks tuleb käepide lahti kruvida.



Joon. 395. Vinnaklülitid: a — kahe poolusega; b — kolme poolusega.

Vinnaklüliti (joon. 395) ülesandeks on tugeva voolu sisse- ja väljalülitamine. Kui tõmmatakse vinnaklüliti käepidet, jäävad selle harud esialgu pesadesse; siis aga vedru rebib nad järsku pesadest välja. Seda on vaja selleks, et voolu väljalülitamisel tekkiv säde kustuks kiiremini.

§ 172. Elektrivoolu tugevus. Amper. Elekter liigub juht-meis, kus on elektrivoolu.

Elekter koosneb väga väikestest osakestest. Neid pisikesi osakesi, millest koosneb elekter, nimetatakse elektroni-deks. Elektrivool on elektronide liikumine juhtmeis.

Elektroni võib kujutleda pisikese kerana. Et saada ettekujutust sellest, kui väikesed on elektronid, võtame arvesse, et kahekümneviie-küünlalist lampi läbib ühes sekundis umbes kuussada miljonit miljardit elektroni. Kui jaotada need elektronid kõikide maakeral elavate inimeste vahel, siis iga inimene saaks kolmsada miljonit elektroni.

Elektrivool sarnaneb vee liikumisega mööda veetorusid: veetorudes voolab vesi, aga juhtmetes voolab elekter.

Mida suurem hulk vett läbib torusid igas sekundis, seda tugevam on veevool.

Mida suurem hulk elektrit läbib juhtmeid ühes sekundis, seda tugevam on elektrivool.

Mida tugevam on hõõglampi läbiv vool, seda heledama valgusega põleb lamp. Mida tugevam on pooli läbiv vool, seda suurema jõuga tõmbab pool ligi raudsüdamikku. Mida tugevam on vasevitrioli-lahust läbiv alalisvool, seda enam vaske eraldub igas minutis elektrodile.

Voolu tugevust mõõdetakse ampermeetriga: mida tugevam on vool, seda suurem on ampermeetri osuti kõrvalekaldumine. Ampermeetrist peab läbi minema kogu ahelat läbiv vool. See pärast lülitatakse ampermeeter ahelasse järjestikku.

Elektrivoolu tugevuse ühikuks on amper.

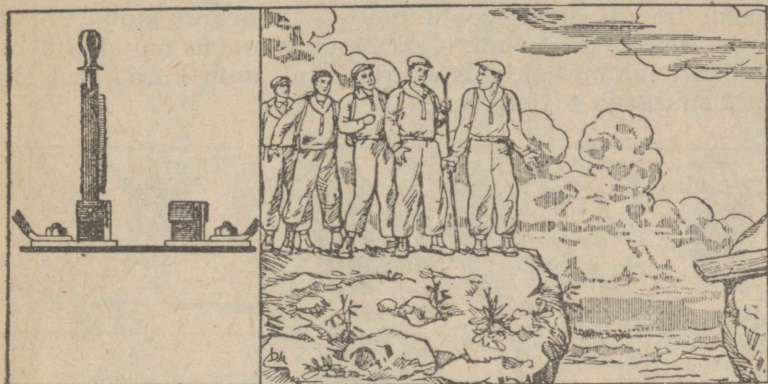
Üks amper on sellise elektrivoolu tugevus, mis eraldab vasevitrioli-lahusest ühes minutis 20 milligrammi vaske.

Inimorganism on tundlik elektrivoolu suhtes. Kui inimkehasst läheb läbi vool tugevusega üle viie sajandiku amprit, inimene sureb.¹

Mitmesuguseid ahelaid läbivad mitmesuguse tugevusega elektrivoolud. Näiteks elektrivool, mis läbib telefoni kuuldetoru telefoni kasutamise ajal, ei ületa ühte tuhandikku amprit. Põlevaist hõõglampidest läbimineva elektrivoolu tugevus on

¹ Elektrivool on ohutu, kui seda käsitletakse õieti. Juhiseid vooluga ümberkäimise kohta saab vastavaist tööohutuse tehnika instruksioonidest. Nendega peab tutvuma, enne kui hakatakse elektri alal töötama.

ühesh kümnendikust kuni mitme amprini, olenedes lambi võimsusest. Mitme hobujõu võimsusega elektrimootor vajab mitmekümne-amprilist elektrivoolu. Elektri-keevitusaparaadid vajavad volutugevust, mis ulatub mitmesaja või koguni mitme tuhande amprini.



Joon. 396. Kui ahel on avatud, võrdub elektrivoolu tugevus nulliga, kuna elektrivool ei läbi ahelat.

Kui ahel on avatud, on elektrivoolu tugevus null: vool ei läbi ahelat (joon. 396).

Mida rohkem lampe lülitakse paralleelselt antud ahelasse, seda tugevam on ahelat läbiv vool.

§ 173. **Juhtmete takistus.** Juhtmes liiguvad elektronid pörkavad järjest juhtme aatomitele, andes neile oma kinetilist energiat. Igal sellisel kokkupõrkel elektronide liikumine pidurdub.

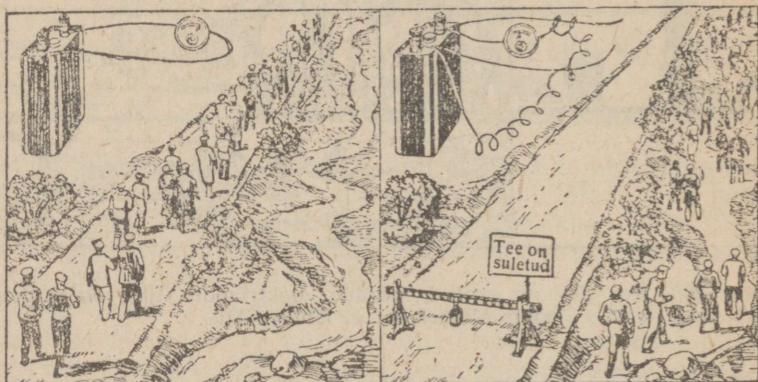
Juhtmed avaldavad elektronide liikumisele teatavat takistust.

Mida pikem on juhe, seda rohkem kokkupõrkeid on elektronidel nende teekonnal ja seda suurem on takistus, mida juhe osutab elektronide liikumisele.

(Vaata joon. 397.)

Võtame vooluallika (seleks võib olla autoakumulaator), ampermeetri ja erinevaist materjalidest valmistatud juhtmeid mitmesuguses pikkuses ja mitmesuguse läbimõõduga.

Ühendame vooluallikaga vasktraadi, lülitame ahelasse ampermeetri ja suleme ahela. Ampermeetri osuti kaldub kõrvale, näidates elektrivoolu tugevust. Võtame kaks korda lühema traadi: elektrivoolu tugevus kahekordistub. Võtame neli korda lühema traadi: elektrivoolu tugevus neljakordistub. Järelikult juhtme takistus suureneb nii mitu korda, kui mitu korda suureneb ta pikkus.



Joon. 397. Juhtme takistus on seda suurem, mida suurem on juhtme pikkus.

Juhtme takistus on seda suurem, mida suurem on juhtme pikkus. Sarnaselt ka veetoru takistus vee läbivoolule on seda suurem, mida pikem on toru.

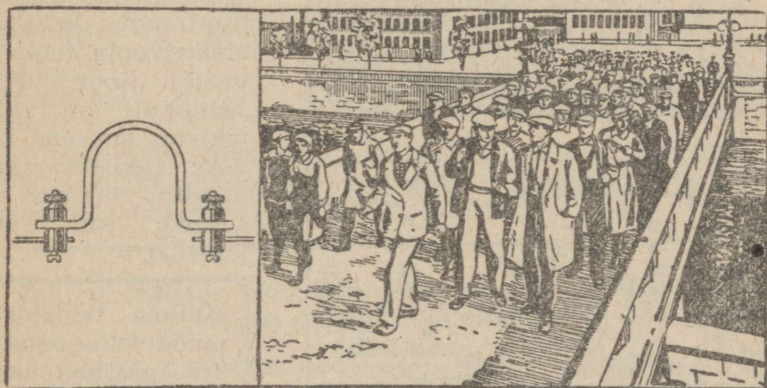
Mida peenem on juhe, mida väiksem on ta põikpind, seda raskem on elektronidel liikuda juhtme aatomite vahel, seda suurem on juhtme takistus.

(Vaata joon. 398.)

Vastavalt sellele on ka veetorus voolava vee liikumine seda enam takistatud, mida kitsam on toru.

Ühendame vooluallikaga 1-mm² põikpinnaga raudtraadi, pikkusega 10 meetrit. Peame meeles, kui tugevat elektrivoolu

näitab ampermeeter. Nüüd ühendame allikaga samapikkuse raudtraadi, mille põikpind on aga kaks korda väiksem ($0,5 \text{ mm}^2$). Elektrivoolu tugevus väheneb samuti kaks korda.



Joon. 398. Juhtme takistus on seda suurem, mida väiksem on ta põikpind.

Kui traadi põikpind on kümme korda väiksem, siis väheneb ka elektrivoolu tugevus kümnekordselt.

Juhtme takistus suureneb nii mitu korda, kui mitu korda väheneb ta põikpind.

Takistuse suurus peab olenema ka materjalist, millest juhe on valmistatud, kuna erinevais ainetes on erinev hulk elektrone, ja aatomid, millede vahelt need elektronid peavad läbi minema, võivad olla mitmesuguse asetusega.



Joon. 399. Juhtme takistus oneneb materjalist.

Uhendame aku-mulaatoriga teatud pikkuse ja põikpinnaga vasktraadi. Suleme ahela ja mõõdame voolutugevuse ampermeetriga. Nüüd asendame vasktraadi sama pikkuse ja põikpinnaga raudtraadiga: elektrivoolu tugevus on ligikaudu kolm korda väiksem. Kui võtame raudtraadi asemele samamõdulise nikeliin-traadi, kahaneb elektrivoolu tugevus veelgi (joon. 399). Järelikult on raua takistus suurem kui vase takistus, aga nikeliini takistus on suurem kui raua takistus.

Juhtme takistust mõõdetakse oomides. Takistust üks oom omab vaskjuhe, mille põikpind on üks ruutmillimeeter ja pikkus 57 meetrit.

§ 174. Eritakistus. Meil on juba ölnud juttu sellest, et juhtmete takistus oneneb materjalist, millest juhe on valmistatud. Võib valmistada võrdse pikkuse ja võrdse pinnaga traate

isesugustest materjalidest (näiteks 1 m pikkusi, 1-mm² põikpinnaga traate vasest, rauast, alumiiniumist jne.) ning võrrelda nende traatide takistusi.

1 m pikkuse ja 1-mm² põikpinnaga traadi takistuse suurust nimetatakse eritakistuseks.

Katsed on näidanud, et kõige väiksem eritakistus on hõbedal; järgnevad vask, ja alumiinium. Raud ja nikkel omavad veel suuremat eritakistust. Sulamite eritakistused on suuremad kui nende metallide eritakistused, millest sulam koosneb. Eriti suur eritakistus on söel, grafiidil ja mitmesugustel lahusel.

Järgmises tabelis toome mõne sagedamini tarvitatava materjali eritakistused.

Materjalide eritakistusi.

Materjal	Eritakistus	Materjal	Eritakistus
Hõbe	0,016	Elavhõbe	0,958
Vask	0,0175	Süsielektroodid	40
Alumiinium	0,027	10-protsendiline väävel-	
Raud	0,062	happe-lahus	260
Nikeliin	0,41	10-protsendiline vasevit-	
Konstantaan	0,5	rioli-lahus	3 150

Elektrijuhtmed valmistatakse vasest või alumiiniumist.

Elektritriikraudade, elektrikannude ja elektriahjude traatmähised valmistatakse tavaliselt nikeliinist.

Juhtme takistus võrdub ta eritakistuse ja pikkuse korrutisega, jagatult põikpinnaga:

$$\text{takistus} = \frac{\text{eritakistus} \times \text{pikkus}}{\text{põikpind}}$$

Juhtme pikkus väljendatakse meetrites; juhtme põikpind väljendatakse ruutmillimeetrites. Saadud takistus on siis oomides.

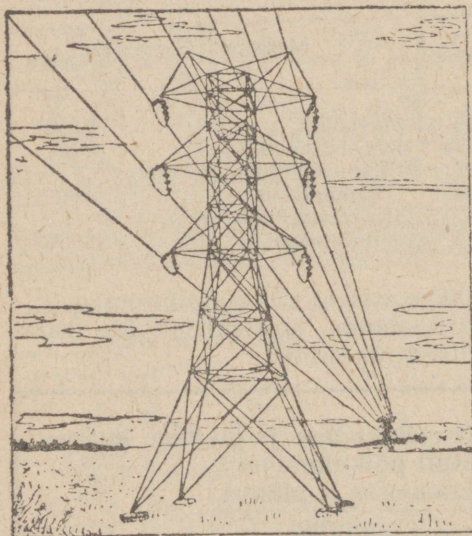
Näide 1. Leida elektriliini takistus, kui liini pikkus on 50 km ja vaskjuhtmete põikpind on 20 ruutmillimeetrit.

Juhtmete kogupikkus on kaks korda suurem elektriliini pikkusest, kuna ühe juhtme kaudu vool läheb elektrijaamast

tarvitaja juurde, teise juhtme kaudu aga tuleb tagasi; liini pikkus on $2 \cdot 50 = 100$ km ehk 100 000 meetrit.

Nüüd vaatame tabelist, kui suur on vase eritakistus. See on 0,0175. Kui liini pikkus oleks 1 m ja põikpind oleks 1 mm^2 , siis oleks liini takistus 0,0175 oomi. Ent meie liini pikkus on 100 000 m, tähendab ka takistus on 100 000 korda suurem: $0,0175 \cdot 100\,000 = 1\,750$ oomi. Meie liini juhtmete põikpind ei ole 1 mm^2 , vaid 20 mm^2 . Seepärast ka takistus on 20 korda väiksem: $1\,750 : 20 = 87,5$ oomi. (Tuleb alati meeles pidada, et selliste arvutuste juures pikkus on alati meetrites, kuna põikpind olgu alati ruutmillimeetrites.)

Näide 2. Elektriheetja mähise takistus peab olema 55 oomi. Nikeliintraadi põikpind on $0,08 \text{ mm}^2$. Leida mähise pikkus.



Joon. 400. Elektri-õhuliin.

Leiame tabelist nikeliini eritakistuse, mis võrdub 0,41. Kui traadi põikpind oleks 1 mm^2 ja ta pikkus 1 m, siis oleks takistus 0,41 oomi. Ent meie traadi põikpind on $0,08 \text{ mm}^2$. Tähendab, takistus on suurem: $0,41 : 0,08 = 5,1$ oomi. Me peame aga valmistama mähist takistusega 55 oomi. Selle mähise pikkus peab seepärast olema mitte 1 m, vaid $55 : 5,1 = 10,8$ m.

Ulesanne 1. Leida vasktraadi takistus, mille pikkus on 10 m ja põikpind 1 mm^2 .

Vastus: 0,175 oomi.

Ulesanne 2. Leida hõbetaadi takistus, mille pikkus on 150 cm. Traadi läbimõõt on 0,01 mm.

Vastus: 306 oomi.

Ulesanne 3. Vasktraat ühendab elektrilambi jaotuskarbiga (jaotuskarp asetseb seal, kus elektriliin läheb majja. Jaotuskarbist hargnevad juhtmed mööda üksikuid ruume.) Traadi pikkus ühes ja teises suunas kokku on 12 m ja traadi põikpind on $1,2 \text{ mm}^2$. Leida vasktraadi takistus.

Vastus: 0,175 oomi.

Ulesanne 4. Leida elektrikaabli takistus, kui kaabli pikkus on 35 km ja põikpind 200 mm². Kaabel on valmistatud alumiiniumist.

Vastus: 4,72 oomi.

Ulesanne 5. Leida teekannu nikeliintraadi pikkus, kui kannu takistus on 41 oomi ja traadi põikpind 0,12 mm².

Vastus: 12,0 meetrit.

§ 175. **Elektrijuhtmed.** Me teame juba, et elektrijuhtmeid valmistatakse vasest või alumiiniumist. Vasel ja alumiiniumil ei ole ainult väike eritakistus, vaid nad on ka küllalt painduvad, mis on väga tähtis juhtmete monteerimistööde läbiviimisel.

Elektri juhtimiseks elektrijaamast kaugemal asetsevate tarvitate juurde kasutatakse õhuliine (joon. 400). Õhuliini vaskjuhtmete läbimõõt ei ole alla 4 mm ega üle 8 mm. Peenemad juhtmed rebenevad kergesti tuule ja härmatise mõjul, kuna jämedamad juhtmed ei lase end küllalt hästi pingutada. Alumiiniumjuhe võib olla poolteist korda jämedam vaskjuhtmest.

Rajooni alajaamadest hooneteni, kus asuvad tarvitajad, juhitakse elektrienergiat tavaliselt maa-aluste kaablite abil (joon. 401).

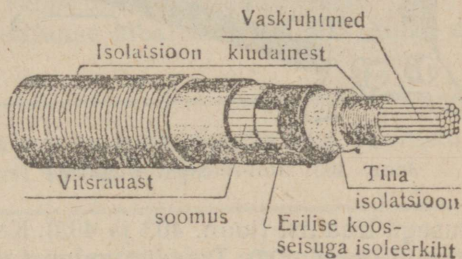
Mootorite juurde juhitakse elektrivool isoleeritud juhtmete kaudu, mille põikpind valitakse vastavalt mootori poolt tarvitatava voolu tugevusele.



Joon. 402. Nöörjuhe.

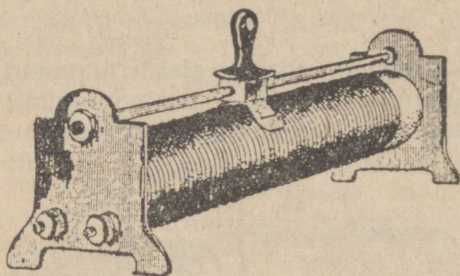
kõieks-keeratud peenikestest traatidest.

Juhtmeist läbivoolav elektrivool soojendab juhtmeid. Et juhtmed ei kuumeneks üleliia ega põhjustaks tulekahju, peab juhtmete põikpind olema küllaldaselt suur.

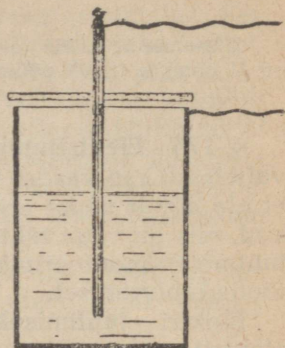


Joon. 401. Kaabel.

§ 176. **Reostaadid.** Et oleks võimalik muuta ahela takistus, tarvitatakse reostaate. Reostaate valmistatakse suure eritakis-

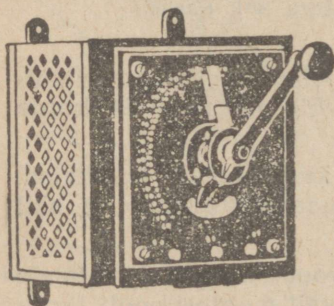


Joon. 403. Rull-reostaat liuguriga.



Joon. 404. Vedelik-reostaat.

tusega traadist (joon. 403 ja 405). Kasutusel on ka vedelik-reostaate (joon. 404). Traadist valmistatud reostaatide mähised tehakse suure eritakistusega traadist, harilikult nikeliin- või konstantaantraadist. Kui tahetakse suurendada takistust, siis asetatakse reostaadi väänt või liugur niisugusesse asendisse, kus ahelasse lülitatud mähise pikkus on suurem.



Joon. 405. Väänt-reostaat.

Vedelik-reostaatideks on metallanumad, mis on täidetud mingi elektrit juhtiva vedelikuga (harilikult soodalahusega). Lahusesse kastetakse metallist „nuga“ (joon. 404). Mida sügavam on nuga lahuse sees, seda suurem on ta kokkupuutepind vedelikuga ja seda väiksem on reostaadi takistus. Reostaate tarvitatakse trammide, elektrirongide jne. käivitamisel.

§ 177. **Pinge. Voltmeeter.** Meenutame, kui aeglaselt voolab vesi mööda tasandikku kulgevas jões. Vee vool on sageli sedavõrd nõrk, et seda võib vaevalt tähele panna. Aga kui kiire ja tormiline on veskipaisult allalangeva vee vool, mis paneb tiirlema veskiratta. Esimesel juhul on veevool vaevalt-

märgatav, teisel juhul on vool äge. Miks on see nii? Sellepärast, et paisu taga ja paisu all oleva vee pind ei ole samal tasemel. Raskustung tekitab rõhumist, mille mõjul tekibki vee liikumine. Mida suurem on rõhumine, seda kiiremini liigub vesi ehk seda suurem on veevoolu kiirus.

Me kõik teame, et pumba abil võib pumbata vett ühest anumast teise, see tähendab tekitada veevoolu. Pump tekitab rõhumist ja paneb vee liikuma mööda torusid.

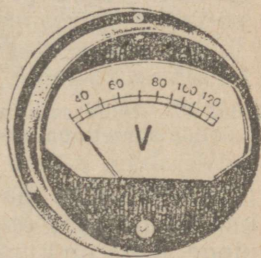
Elektrivool sarnleb vee liikumisega mööda torusid. Vooluallikas sarnleb veepumbaga. Töötav vooluallikas tekitab elektrilist rõhku ja surub elektrone juhtmete kaudu edasi.

Elektrilist rõhku nimetatakse elektromotoorseks jõuks ehk pingeks.

Et vooluallikas annaks voolu, peab vooluallika pooluste vahel olema pinge.

Kui pinge vooluallika pooluste vahel on null, siis ahelas voolu ei ole. Võib aga olla nii, et pinge on küll olemas, kuid elektrivoolu pole. See on siis, kui ahel on katkestatud. Elektriahela katkestamine tähendab sama, mis veetoru sulgemine, milles voolab vesi: torus on küll olemas rõhk, ent vesi ei saa voolata. Avame toru ja me näeme, et rõhk surub vett edasi. Suleme elektriahela ja pinge paneb voolu liikuma endise jõuga.

Mitmesugused vooluallikad annavad mitmesuguse pingega voolu. Pinget mõõdetakse voltmeetri abil. Vooluallika pinge mõõtmiseks tuleb ühendada vooluallika poolused voltmeetriga (joon. 406). Mida suurem on mõõdetav pinge, seda suurem on voltmeetri osuti kõrvalekaldumine. Voltmeetri skaalal on arvud, mis osutavad mõõdetava pinge suurust.

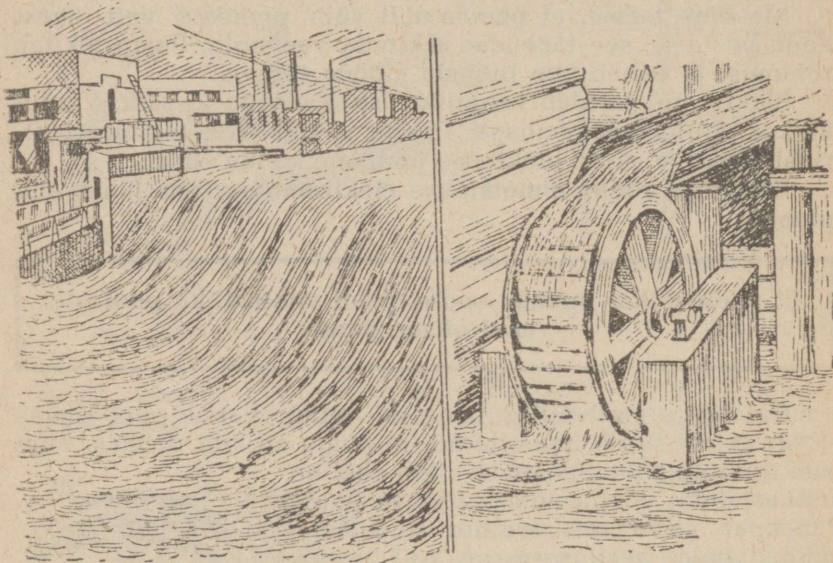


Joon. 406. Voltmeeter.

Pinge ühikuks on volt.

Üks volt on selline pinge, mis tekitab ühe-oomilise takistusega juhtmes ühe ampri tugevuse elektrivoolu.

Raudnikkel-akumulaator annab 1,2-voldist pinget. Plii-akumulaator annab 2-voldist pinget. Moskva valgustusvõrgus on pinge suurus 110 volti. Uuemate linnade valgustusvõrkude pinge on aga 220 volti. Trammiliinid töötavad 500-voldise



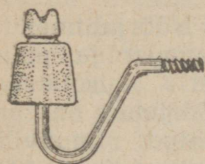
Joon. 407. Mida suurem on vee rõhk, seda rohkem tööd võib teha vesi.
Mida suurem on elektrivoolu pinge, seda enam tööd võib vool teha.

pingega. Kauge maa taha juhitakse elektrienergiat õhuliinide kaudu, milledes on pinge kuni 110 000 volti. Kõige kõrgem pinge, mida on kunagi füüsika-instituutides saavutatud, ulatub 5 000 000 voldini.

Mida suurema veerõhu põhjustab pais, seda suuremat tööhulka võib sooritada allalangev vesi (joon. 407). Ja sellele vastavalt:

Mida suurem on vooluallika pinge, seda suurem on elektrivoolu poolt tehtav töö. Pinge iseloomustab elektrivoolu töövõimet.

§ 178. **Isolaatorid ja isoleermaterjalid.** Elektrienergia juhtakse tarvitamiskohale juhtmete kaudu. Kui tahame takistada elektrivoolu üleminekut ühest juhtmest teise või elektrivoolu



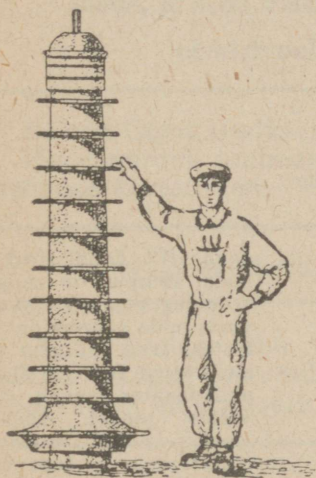
Joon. 408. Isolaator.



Joon. 409. Kett-isolaator.

üleminekut juhtmest maasse, siis peame eraldama juhtmed üksteisest ja maast mingi isolaatori abil. Juhtmed kinnitatakse postidele portselan-isolaatorite abil (joonis 408). Kui liini pinget on väga kõrge, siis hakkab mööda isolaatori pinda juhtmelt postile voolama nõrk vool. Seda voolu nimetatakse voolukaoks.

Voolukadu suureneb, kui isolaatori välispind on kaetud niiskuse või lumega. Et vähendada voolukadu, antakse isolaatoritele õige keeruline kuju, suurendades nende pinda. Väga kõrge pingel puhul tarvatakse kett-isolaatoreid.



Joon. 410. Sisendus-isolaator 110 000-voldisele pingele.



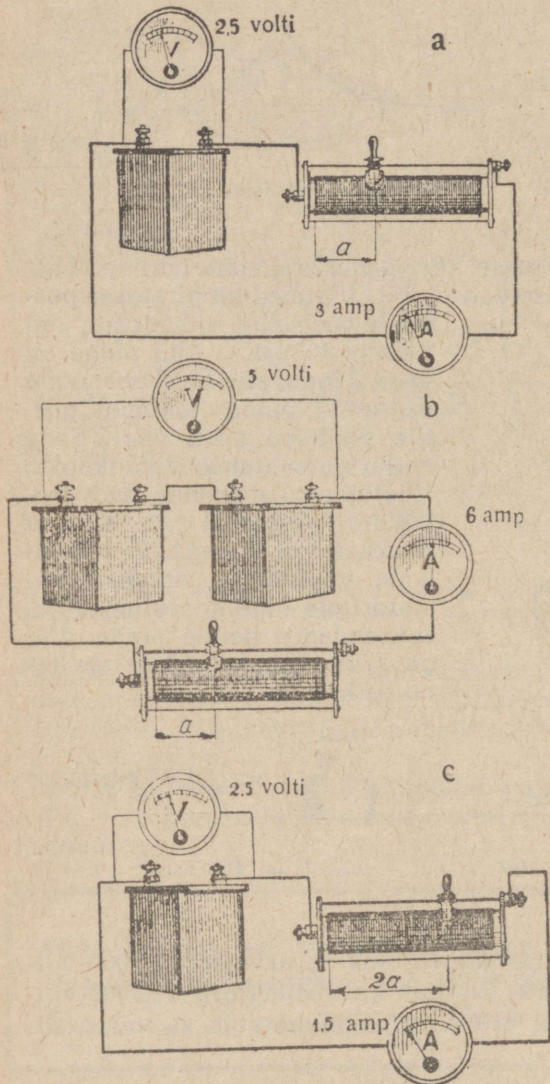
Joon. 411. Rull.

Joonis 408 kujutab isolaatorit, mis on arvestatud 3000-voldisele pingele. Joonis 409 kujutab kett-isolaatorit 110 000-voldisele pingele. Joonisel 410 on nõndanimetatud sisendus-isolaator 110 000 voldile.

Siseruumides kinnitatakse juhtmed portselan-rullidele (joon. 411).

Kahe metalloone eraldamiseks üksteisest kaablites ja juhtmetes tarvitatakse tavaliselt gudrooniga läbiimmutatud puuvilla (joon. 401).

Nöörjuhtmeil on kummist ja puuvillast isolatsioon. Nöörjuhe on pealt kaetud puuvillast kestaga (joon. 402).



Joon. 412. Ohmi seadus: mida suurem on pinge, seda tugevam on elektrivool; mida suurem on takistus, seda nõrgem on elektrivool. Joonisel 412-a akumulaator annab 2,5-voldist pinget. Ampermeeter näitab teatavat elektrivoolu tugevust. Joon. 412-b pinge on suurenenud kaks korda: ampermeeter näitab kaks korda tugevamat elektrivoolu. Joon. 412-c takistus on suurenenud kaks korda: elektrivoolu tugevus vähenes kaks korda.

§ 179. Ohmi seadus. Elektrivool tekib juhtmetesse ainult siis, kui vooluallika klemmide vahel on olemas pinge. Mida suurem on vooluallika pinge, seda suurem on ka elektrivoolu tugevus. Uhendame akumulaatoriga mingisuguse juhi (näiteks reostaadi ja ampermeetri). Uhendame akumulaatori klemmid voltmeetriga ja märgime üles voltmeetri näidu. Nüüd võtame ühe akumulaatori asemele kaks järjestikku ühendatud akumulaatorit (joon. 412). Voltmeeter näitab kaks korda suuremat pinget ja ampermeeter näitab samuti kaks korda suuremat elektrivoolu tugevust. Järelikult elektrivoolu tugevus suureneb nii mitu korda, kui mitu korda suureneb pinge.

Suurendame reostaadi takistusi, nihutades liugurit: elektrivoolu tugevus väheneb. Elektrivoolu tugevus väheneb nii mitu korda, kui mitu korda suureneb takistus.

Elektrivoolu tugevus on seda suurem, mida suurem on pinge, ja seda väiksem, mida suurem on takistus:

$$\text{elektrivoolu tugevus} = \frac{\text{pinge}}{\text{takistus}}$$

See on Ohmi seadus.

Pinge võrdub juhtmetakistuse ja juhete läbiva elektrivoolu tugevuse korrutisega:

$$\text{pinge} = \text{elektrivoolu tugevus} \times \text{takistus.}$$

Ohmi seaduse abil võib määrata ka juhtme takistuse. Juhtme takistus on võrdne pingega juhtme otstes, jagatult juhete läbiva elektrivoolu tugevusega:

$$\text{takistus} = \frac{\text{pinge}}{\text{elektrivoolu tugevus}}$$

Elektrivoolu tugevust mõõdetakse amprites, takistust — oomides ja pinget — voltides. Ohmi seaduse kohaselt pinge võrdub elektrivoolu tugevuse ja takistuse korrutisega, järelikult:

$$1 \text{ volt} = 1 \text{ amper} \times 1 \text{ oom.}$$

Näide 1. Elektertõlviku (jootmiskolbi) klemmidevaheline pinge on 220 volti, tõlviku takistus on 550 oomi. Leida tõlviku elektrivoolu tugevus.

Ohmi seaduse järgi elektrivoolu tugevus võrdub pinge ja takistuse jagatisega: $220 : 550 = 0,4$ amprit.

Näide 2. Elektrilampi läbib 0,2 ampri tugevune elektrivool, mille pinge on 110 volti. Leida lambi takistus.

Ohmi seaduse järgi on takistus võrdne pingega ja elektrivoolu tugevuse jagatisega: $110 : 0,2 = 550$ oomi.

Ulesanne 1. Leida elektriahju läbiva elektrivoolu tugevus, kui ahju takistus on 24 oomi ja pinge on 120 volti.

Vastus: 5 amprit.

Ulesanne 2. Leida elektritaskulambi takistus, kui elektrivoolu tugevus on 0,4 amprit ja pinge on 3 volti.

Vastus: 7,5 oomi.

Ulesanne 3. Leida ampermeetri klemmidevaheline pinge, kui ampermeetrit läbib 62-amprine elektrivool ja kui ampermeetri takistus on 0,0012 oomi.

Vastus: 0,0744 volti.

Ulesanne 4. Elektrikeetjat läbib kolmeamprine elektrivool 120-voldise pinge juures. Leida keetja takistus ja mähise materjali eritakistus, kui mähise traadi põikpind on $0,08 \text{ mm}^2$ ja mähise pikkus on 8 meetrit.

Vastus: 40 oomi; 0,4.

Ulesanne 5. Leida nikeliintraadi pikkus, mida on vaja monteerida elektriahju, kui ahju peab läbima 4 ampri tugevune elektrivool 220-voldise pinge juures. Traadi põikpind on $0,1 \text{ mm}^2$.

Vastus: 13,4 meetrit.

§ 180. **Elektri võimsus.** Mitmesugused vooluallikad annavad mitmesuguse võimsusega elektrivoolu: elektri jaamas töötav generaator toidab elektrivooluga suure hulga mootoreid ja valgustuslampe; autoakumulaator ei saa aga toita korraga üle kümne autolambi; taskulambi-patarei võib anda elektrivoolu ainult üheleainsale väikesele hõõglambile.

Ülaltoodud näidetes arendab kõige suuremat võimsust generaator, kõige väiksemat võimsust aga taskulambi-patarei.

Elektri võimsuseks nimetatakse tööhulka, mida elekter teeb ühe sekundi jooksul.

Elektri tööd võib tarvitada hõõglampide või elektriahjude kuumutamiseks, elektrimootorite käivitamiseks või lahustatud ainete eraldamiseks lahustest (näiteks puhta vase eraldamiseks vasevitrioli-lahusest).

Mida suurem on pinge ja mida tugevam on elektrivool, seda suurem on elektri poolt arendatud võimsus.

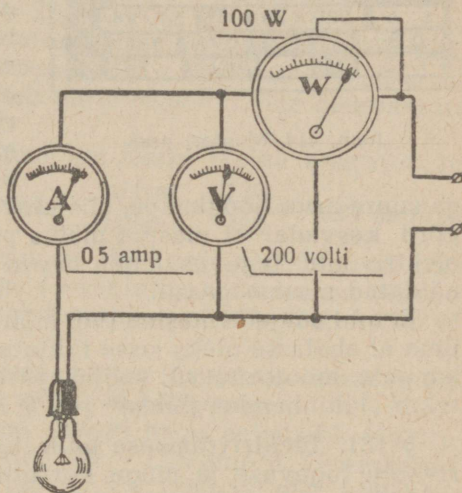
Elektri võimsus võrdub pinge ja elektrivoolu tugevuse korrutisega:
võimsus = pinge × elektrivoolu tugevus.

Sel moel võib arvutada niihästi alalisvoolu kui ka vahelduvvoolu võimsust. Vahelduvvoolu võimsust võib aga nii arvutada ainult siis, kui vahelduvvool läbib hõõglampe või soojendusaparate.

Kui aga vahelduvvool paneb liikuma mootoreid, siis peame võimsuse väljaarvutamiseks korrutama elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutist veel nõndanimetatud võimsuse teguriga, mida tähistatakse leppemärgiga $\cos \varphi$ (loe: „koosinus fii“).

See võimsuse tegur sõltub mootori mehaanilisest koormatusest. Kui mootor jookseb tühjalt, s. o. kui ta ei pane liikuma mingisuguseid masinaid või mehhanisme, siis pole võimsuse tegur suur: ta on siis umbes 0,2. Aga kui mootor teeb kasulikku tööd (paneab tiirlema masin-riistu või mehhanisme), siis on võimsuse tegur 0,8—0,9. Mootori „passil“ (mootori passiks nimetatakse mootori külge kinnitatud vask-sildikest) on alati näidatud pinge, millega mootor töötab, elektrivoolu tugevus ja mootori võimsuse tegur normaalkoormuse juures (joon. 414).

Tavaliselt töötavad elektrimootorid nõndanimetatud kolmefaasise vahelduvvooluga. Sel juhul elektri võimsuse määra-



Joon. 413. Elektri võimsus võrdub elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutisega. Elektri võimsust mõõdetakse vattides:
 1 vatt = 1 volt · 1 amper.

misel tuleb korrutada pinge ja elektrivoolu tugevuse korrutist veel arvuga 1,73.

Vooluallika poolt antava elektrivoolu tugevust nimetatakse „koormuseks“. Ohmi seaduse järgi elektrivoolu tugevus suu-

reneb, kui välisahela takistus väheneb, ning suureneb ühtlasi ka vooluallika poolt arendatud võimsus. Kui vooluallikaks on generaator, peab generaatori koormuse suurenedes suurenema ka generaatorit ringiajava mootori võimsus. Masina koormust ei tohi liiga suureks ajada, kuna liiga tugev elektrivool võib läbi põletada masina mähise. Näiteks, kui ühendame generaatoriga lii-

ga suure arvu hõõglampe, siis elektrivoolu tugevus võib sedavõrd kasvada, et masina mähis põleb läbi. Masina pinge ja elektrivoolu tugevus, mida masin võib normaalselt anda, on näidatud masina passil.

Ei tohi sulgeda masina (või mõne muu vooluallika) klemme, ilma et ahelasse oleks sisse lülitatud küllaldane takistus hõõglampide, mootorite või soojusaparaatide näol. Vastasel korral tekib „lühiühendus (lühis)“ (vt. § 186).

§ 181. **Elektrivõimsuse ühik.** Elektrivõimsus võrdub elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutisega. Elektrivoolu tugevust mõõdetakse amprites, pinget aga voltides.

**Elektrivõimsust mõõdetakse vattides:
1 vatt = 1 volt × 1 amper.**

Võimsuse ühiku — vati — tähiseks on W.

Elektri-hõõglampide, akumulaatorite, väiksemate mootorite võimsust väljendatakse vattides. Näiteks autolampide võimsus on 5 kuni 50 vatti. Tubade valgustamiseks tarvitavate hõõglampide võimsus on harilikult 15 vatist 200 vatini. Linnade väljakute valgustamiseks kasutatavate lampide ja helgiheitja-lampide võimsus ulatub 5000 vatini.



Joon. 414. Mootori pass.

**Suuri võimsusi mõõdetakse kilovattides;
1 kilovatt = 1000 W = 1,36 hj.**

Kilovati tähis on kW.

Suuremate elektrimasinate võimsus ületab 200 000 kW.

Näide 1. Alalisvoolu masina passil on järgmised andmed: pinge 500 volti, elektrivoolu tugevus 45 amprit. Leida masina võimsus.

Võimsus võrdub elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutisega: $45 \cdot 500 = 22\,500 \text{ W} = 22,5 \text{ kW}$.

Näide 2. Pinge generaatori klemmide vahel on 120 volti. Väline ahel koosneb 150 hõõglambist ja iga lambi takistus on 480 oomi. Lambid on lülitatud paralleelselt. Leida generaatori poolt arendatud võimsus.

Ohmi seaduse järgi leiame iga lampi läbiva elektrivoolu tugevuse: elektrivoolu tugevus = $\frac{\text{pinge}}{\text{takistus}} = \frac{120}{480} = 0,25$ amprit.

Kõiki lampe läbiv elektrivool on 150 korda tugevam; ta võrdub $0,25 \cdot 150 = 37,5$ ampriga. Generaatori võimsus on võrdne elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutisega: $120 \cdot 37,5 = 4500 \text{ W}$ ehk 4,5 kW.

Näide 3. Leida eelmises näites esinenud generaatori võimsus, kui välisahelas on ainult 46 hõõglampi.

Lahendame seda küsimust samuti nagu eelmistki: elektrivoolu tugevus on sel puhul $0,25 \cdot 46 = 11,5$ amprit. Generaatori võimsus võrdub sel puhul $120 \cdot 11,5 = 1380 \text{ W}$ ehk 1,38 kW. Seega me näeme, et generaatori võimsus kahaneb ühes lampide arvu vähenemisega.

Näide 4. Hõõglambi võimsus 120-voldise pinge juures on 60 vatti. Leida lampi läbiva elektrivoolu tugevus ja lambi takistus.

Lampi läbiva elektrivoolu tugevus võrdub võimsuse ja pinge jagatisega: $\frac{60}{120} = 0,5$ amprit.

Lambi takistus on Ohmi seaduse kohaselt võrdne pinge ja elektrivoolu tugevuse jagatisega: $\frac{120}{0,5} = 240$ oomi.

Ulesanne 1. Alalisvoolu mootori võimsus on 25 kW 500-voldise pinge juures. Leida mootorit läbiva elektrivoolu tugevus.

Vastus: 50 amprit.

Ulesanne 2. Hõõglambi võimsus on 44 vatti 110-voldise pinge juures. Leida elektrivoolu tugevus ja lambi takistus.

Vastus: 0,4 amprit; 275 oomi.

Ulesanne 3. Elektri ahju võimsus on 800 vatti 220-voldise pinge juures. Ahju traatmähis on valmistatud 0,5 mm² suuruse põikpinnaga nikeliintraadist. Leida mähise pikkus.

Vastus: Umbes 74 m.

Ulesanne 4. Elektritõlviku takistus on 500 oomi; pinge on 220 volti. Leida tõlvikut läbiva elektrivoolu tugevus ja tõlviku võimsus.

Vastus: 0,44 amprit; 96,8 W.

Ulesanne 5. Elektri ahju läbib 22-amprine elektrivool. Kui suur on pinge, kui ahju võimsus on 2,64 kW?

Vastus: 120 volti.

Ulesanne 6. Trolleibuse mootori pinge on 500 volti ja võimsus 80 hobujõudu. Leida mootorit läbiva elektrivoolu tugevus (1 hobujõud võrdub 0,735 kW).

Vastus: 117,6 amprit.

Ulesanne 7. Dneprogesi võimsus on 880 000 kW 110 000-voldise pinge juures. Leida jõujaama poolt antava elektrivoolu tugevus.

Vastus: 8000 amprit.

§ 182. **Elektri töö.** Vooluallikas, mis saadab elektrienergiat juhtmete kaudu tarvitajate juurde, kulutab energiat. Selleks energiaks on kas masinat liikuma paneva mootori mehaaniline energia või akumulaatori või galvaani elemendi keemiline energia. Elekter teeb tööd vooluallika poolt kulutatud energia kulul. Lampides ja elektri ahjudes elektri töö kulub soojuse tekitamiseks. Mootorites muundub elektri töö mehaaniliseks energiaks. Nagu teada:

$$\text{Töö võrdub võimsuse ja aja korrutisega:} \\ \text{töö} = \text{võimsus} \times \text{aeg.}$$

Ent käesoleval juhul meid huvitab elektri töö. Elektri võimsus võrdub elektrivoolu tugevuse ja pinge korrutisega. Seetõttu elektri töö peab võrduma elektrivoolu tugevuse, pinge ja aja korrutisega:

$$\text{elektri töö} = \text{elektrivoolu tugevus} \times \text{pinge} \times \text{aeg.}$$

§ 183. **Elektri töö ühikud.** Töö võrdub võimsuse ja aja korrutisega. Elektri võimsust mõõdetakse vattides; aega mõõdetakse sekundites või tundides.

Elektri tööd mõõdetakse džaulides, vatt-tundides ja kilovatt-tundides.

Üks džaul on töö, mida teeb ühe-vatise võimsusega elektri-
vool ühe sekundi jooksul:

$$1 \text{ džaul} = 1 \text{ vatt} \cdot 1 \text{ sekund.}$$

Džauli tähiseks on Ws, vatt-tunni tähiseks on Wh ja kilo-
vatt-tunni tähiseks on kWh.

Katseliselt on kindlaks tehtud, et üks džaul võrdub 0,102
meeter-kilogrammiga.

Üks vatt-tund on töö, mida teeb ühe tunni jooksul ühe-
vatise võimsusega vool:

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ tund} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sek} = 3600 \text{ džauli ehk Ws.}$$

Üks kilovatt-tund on töö, mida
teeb ühe kilovati võimsusega elektri-
vool ühe tunni jooksul:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ tund} = \\ &= 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sek} = 3\,600\,000 \\ &\text{ džauli ehk Ws.} \end{aligned}$$

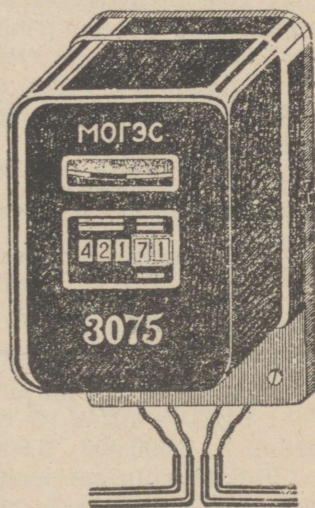
Elektri tööd mõõdetakse ena-
masti kilovatt-tundides.

Korterites ja ettevõtetes ülessea-
tud elektriarvestid näitavad kuluta-
tud elektrienergia hulka kilovatt-
tundides.

Et teada saada elektrienergia ku-
lutuse suurust, tuleb üles märkida
kaks elektriarvesti näitu: esimene
kord kuu algul ja teine kord kuu lõ-
pul. Kui nüüd lahutame teisest näi-
dust esimese, saame elektrienergia
kulu antud kuu jooksul. Oletame, et
elektriarvesti näitas kuu algul
2756,28 kWh ja kuu lõpul 3083,75
kWh; energiakulu on siis 3083,75 —
— 2756,28 = 327,47 kWh.

Joonis 415 näitab elektriarvestit ja ta lülitusskeemi.

Näide 1. Leida energiahulk, mida tarvitab 30 kW võim-
susega mootor 8 tunni jooksul.



Joon. 415.
Elektri tööd mõõdetakse
elektriarvestiga.

Töö võrdub võimsuse ja aja korrutisega: $30 \cdot 8 = 240$ kWh.

Näide 2. Dünamo pinge on 500 volti. Leida, kui suure töö sooritab selle masina ahelas 300 ampri tugevune elektrivool 10 minuti jooksul.

Elektri töö võrdub elektrivoolu tugevuse, pinge ja aja korrutisega: $300 \cdot 500 \cdot 600 = 90\,000\,000$ džauli ehk 25 kW.

Ulesanne 1. Kui palju elektrienergiat kulutab 60-vatine hõõglamp ühe kuu jooksul, kui ta põleb iga päev 7 tundi? Vastus: 12,6 kWh.

Ulesanne 2. Veejõujaama võimsus on 150 000 kW. Kui palju elektrienergiat annab jõujaam aastas, kui ta töötab vahetpidamata (võtame 360 päeva)? Vastus: 1 296 000 000 kWh.

Ulesanne 3. Kui suure töö teeb trolleibuse mootor 8 tunniga, kui elektrivoolu tugevus on 120 ampri ja pinge 500 volti? Vastus: 480 kWh.

Ulesanne 4. 400-oomise takistusega elektri-hõõglamp on lülitatud ahelasse, mille pinge on 220 volti. Kui suure töö sooritab lambist läbiminev vool 30 minuti jooksul? Vastus: 217 800 džauli.

§ 184. Elektrivoolu soojusmõju. Kui elektrivool läheb läbi hõõglampidest, elektriahjudest või muist soojendusaparaatidest, siis kulub kogu elektrienergia soojuse tekitamiseks.

Soojushulka, mida saab ühe džauli suuruse elektritööhulga kulutamisega, nimetatakse elektrivoolu soojuse ekvivalendiks.

Katselisel teel tehti kindlaks:

Kui elektrivool teeb ühe džauli suuruse töö, siis ta eraldab 0,24 kalorit.

1 džaul = 0,24 kalorit = 0,00024 kilokalorit.

Arvutame, kui palju kilokaloreid annab üks kilovatt-tund.
 $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ tund} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sek} = 3\,600\,000$
džauli = $3\,600\,000 \cdot 0,00024 = 864$ kilokalorit.

Elektrivoolu soojusmõju kasutatakse reas elektriseadmeis, milledest tähtsamad on elektri-hõõglambid, elektriahjud, elektri-majapidamisriistad ja -kaitsmed.

Näide 1. Kui palju kaloreid soojust eraldab 8 tunni jooksul 60 vati võimsusega hõõglamp?

Töö on võimsuse ja aja korrutis: $60 \cdot 8 \cdot 3600 = 1\,730\,000$ džauli.

See töö annab soojuse näol: $0,00024 \cdot 1\,730\,000 = 415,2$ kilokalorit.

Näide 2. Kui palju soojust eraldab elektri-hõõglambi metallniit 5 minuti jooksul, kui niidi takistus on 250 oomi ja niiti läbib 0,4 ampri tugevune elektrivool?

Ohmi seaduse kohaselt võrdub pinge elektrivoolu tugevuse ja takistuse korrutisega: $0,4 \cdot 250 = 100$ volti.

Töö võrdub pinge, elektrivoolu tugevuse ja aja korrutisega: $100 \cdot 0,4 \cdot 300 = 12\ 000$ džauli.

Eraldatud soojushulk on $12\ 000 \cdot 0,24 = 2880$ kalorit.

Näide 3. Elektri-keedunõud läbib 220-voldise pinge juures 2 ampri tugevune elektrivool. Kui pika aja jooksul see elektri-keedunõu soojendab 2 liitrit 6°-list vett keemistemperatuurini? Oletame, et kogu soojus kulub vee soojendamiseks.

Esmajoones määrame vee soojendamiseks tarvismineva soojushulga: $2 \cdot (100 - 6) = 188$ kilokalorit ehk 188 000 kalorit.

Uhe sekundi jooksul tehtud töö võrdub pinge, elektrivoolu tugevuse ning aja korrutisega: $2 \text{ amprit} \cdot 220 \text{ volti} \cdot 1 \text{ sek} = 440$ džauli. Uhe sekundi jooksul eraldub soojust $440 \cdot 0,24 = 105,6$

kalorit. Tarvisminevad 188 000 kalorit eralduvad $\frac{188\ 000}{105,6} = 1780$ sekundi ehk 29 minuti ja 40 sekundi jooksul.

Ulesanne 1. Elektri-hõõglamp eraldab 7,5 tunni jooksul 648 kilokalorit soojust. Leida hõõglambi võimsus.

Vastus: 100 vatti.

Ulesanne 2. Elektri-keedunõu soojendab 10 minutiga 1,2 liitrit 12°-st vett keemistemperatuurini. Leida elektri-keedunõud läbiva elektrivoolu tugevus, kui pinge on 220 volti.

Vastus: Umbes 3,3 amprit.

Ulesanne 3. Elektriahi annab ühes tunnis 24 000 kilokalorit soojust. Leida ahju takistus, kui elektrivoolu tugevus on 200 amprit.

Vastus: 0,7 oomi.

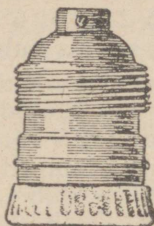
§ 185. **Elektri-hõõglamp.** Hulk linnu ja asulaid üle terve maailma tarvitab praegusel ajal elektri-hõõglampide valgust. Elektervalgustus — „Iljiti lambid“ — on tunginud meie Liidu kõige kaugemasse nurkadesse.

Elektri-hõõglamp koosneb raskesti sulavast metallniidist, mis asetseb õhutühjas klaaskuulis. Metallniidi otsad on kinnitatud kahe traadi külge, mis on klaasi sisse valatud; üks neist traatidest on joodetud lambi sokli keermega metallkesta A külge, teine — sokli tipus leiduva isoleeritud kontakti B külge (joon. 416). Üks elektrivõrgu juhtmeist on ühendatud lambipesa keermikuga, teine — lambipesa põhjas oleva kontaktiga. Hõõglambi lülitamiseks ahelasse tuleb ta keerata pesasse (joon. 417).

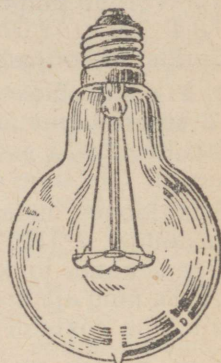
Kõige paremaiks lampideks on praegu gaasitüütega hõõglambid ehk nõndanimetatud poolvatt-lambid. Nende lampide hõõgniit on valmistatud volframist, mis on keeratud tihedasse spiraali (joon. 418). Lambi klaaspirn on täidetud gaasiga, mis ei soodusta põlemist (lämmastiku või argooniga). Sellise lambi hõõgniidi temperatuur võib ulatuda 3000 kraadini.



Joon. 416.
Hõõglamp.



Joon. 417.
Hõõglambi
pesa.



Joon. 418. Gaasiga
täidetud hõõglamp
(poolvatt-lamp).

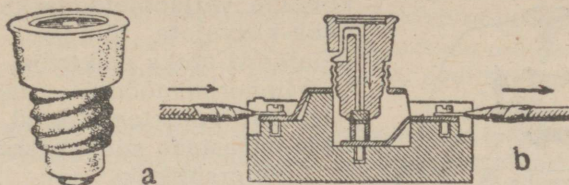
Hõõglambi sokli või klaaspirni pealt on lugeda ettenähtud pinge ja võimsus antud pinge juures.

Antud ehitusviisiga hõõglampide valgustugevus kasvab ühes nende võimsusega.

Hõõglampide tõhutegur on väike (umbes 5%), kuna lambid eraldavad valguse näol ainult väikese osa tarvitatud võimsusest; ülejäänud osa kulub ümberolevate kehade soojendamiseks.

§ 186. **Lühiühendus. Kaitsmed.** Mitmesugustel juhuslikel põhjustel (näiteks isolatsioonirikke tõttu) võivad vooluallika isenimelistelt poolustelt tulevad juhtmed kokku puutuda: tekib lühiühendus. Juhtmete takistus ei ole suur. Seetõttu võib lühise puhul elektrivoolu tugevus kasvada ülisuureks, ulatudes mitmesaja ja isegi mitme tuhande amprini. Juhtmed, mis ei ole arvutatud nii tugeva elektrivoolu läbilaskmiseks, kuumenevad ja hakkavad hõõguma. Juhtmete isolatsioon võtab tuld ja võib tekkida tulekahju. Peale selle võib lühiühendus rikkuda mitmesuguseid ahelasse lülitatud elektriseadmeid.

Nende ohtude ärahoidmiseks kasutatakse niinimetatud kaitsmeid. Kaitsmeks nimetatakse peenikest traati või õhukest plaadikest, mis on ahelasse lülitatud järjestikku. Traadi või



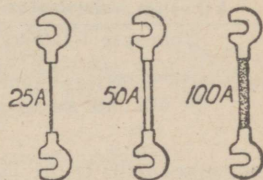
Joon. 419. Kaitsepadrun: a — väljastpoolt vaadatud; b — kaitsepadruni sisemine ehitus.

plaadikese põikpind on nii väike, et kaitse sulab, niipea kui elektrivoolu tugevus antud ahelalõigus ületab ohutuse piiri.

Kaitsmeid tarvitatakse igal pool: elukortereis, trammides, tehasehooneis jne.

Elukorterite kaitsmed asetsevad tavaliselt portselanpadrunites, et traadi läbipõlemisel tekkiv leek ei saaks põhjustada kahjutuld. Sellist kaitset nimetatakse kaitsepadruniks ehk „korgiks“ (joon. 419).

Kaitsmele on alati üles tähendatud amprite arv, mida kaitse kannatab. Joonis 420 kujutab sulavaid ribakaitsmeid erisuguste voolutugevuste jaoks.



Joon. 420. Sulavad ribakaitsmed.

§ 187. **Soojendusriistad.** Elektrivoolu soojust kasutatakse mitmesugustes soojendusriistades. On olemas elektriga töötavaid ahjusid, triikraudu, pliite, soojendajaid, keetjaid, teemasinaid, kastruleid ja koguni tibudehaudumis-aparaate.

Elektrivoolu poolt tekitatud soojust rakendatakse ka lennukitel jäätumise takistamiseks ja mõnesuguste väljaulatuvate aparaatide soojendamiseks. Stratosfäärilendudel ja arktistel lendudel kasutatakse vahel erilisi elektriga köetavaid ülikondi (joon. 421). Rooli taga istuv lendur ühendab oma ülikonna lennuki elektrivõrguga.

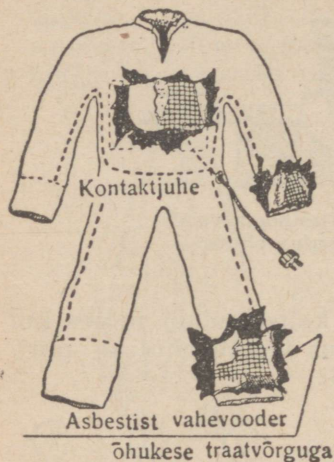
Iga soojendusriista tähtsaimaks osaks on suure eritakistusega traadist (näiteks nikeliinist) valmistatud spiraal. Traat soojeneb elektrivoolu mõjul; ta on harilikult ümbritsetud tule-

kindlast isolatsioonist: selleks võib olla asbest, vilgukivi või šamott.

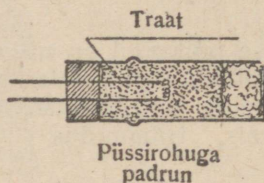
Elektrivoolu soojust kasutatakse ka arstiteaduses haigete kohtade väljapõletamiseks. Näiteks vähk-kasvajate lõikustel võetakse mõnikord abiks elektrilisi lantsette.

Mineerimistööl tarvitatakse harilikult elektersütikuid, kui on vaja purustada suuri kaljusid.

Elektersütikuks on lõhkeaine



Joon. 421. Elektriga köetav ülikond.



Joon. 422. Elektersütik.

sisse asetatud traat (joon. 422), mis kuumeneb kaugemal asetseva elektrilika voolu sisselülitamisel ja põhjustab seega plahvatuse.

§ 188. **Kaarleek ehk voltakaar.** Seni vaatlesime ainult neid soojusnähtusi, mis tekivad elektrivoolu läbiminekul metalljuhtmeist. Nüüd aga tutvume ühe tähelepanuvääriva juhuga, kus soojus tekib elektrivoolu läbiminekul gaasist.

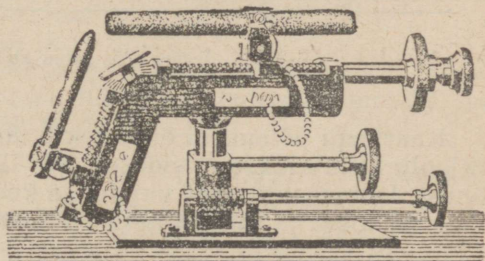
Ühendame kaks söepulka elektrivõrguga; lükkame nad esmalt teineteise vastu ja eemaldame siis nende otsad teineteisest, nii et nende vahele jääb kitsas vahe. Söepulkade otste vahele tekib helevioletne kaarekujuline leek, kuna söepulkade otsad ise hakkavad kiirgama pimestavalt heledat valgust. Seda nähtust nimetatakse voltakaareks ehk lihtsalt kaarleegiks (joon. 423).

Kaarleegi tekkimise põhjus on järgmine: enne söepulkade täielikku eemaldamist teineteisest nad puutuvad kokku ainult vähestes kohtades. Selline „halb kontakt“ avaldab elektrivoolule suurt takistust; tekib tugev kuumus. Kui nüüd eemaldame söepulgad teineteisest, nii et nende vahele jääb väike

õhuvahel, siis kuumendavad hõõguvad söed seal leiduvat õhku. Hõõg-kuumad gaasid juhivad elektrit ja elektrivool ei katke, kui söepulkade kaugus üksteisest ei ole liiga suur (söepulkade vahe võib olla mõni millimeeter). Elektrivoolu soojusmõju hoiab söepulkade otsad ja kaarleeki moodustavad gaasid hõõguvas olekus. Söed osaliselt põlevad ära, osaliselt aga muutuvad auruks.

Kaarleegi söe-elektroodide temperatuur ulatub 3500 kraadini. Kaarleek on üheks heledamaks ja ökonoomsemaks valgusallikaks; seda kasutatakse laialdaselt helgiheitjates, kinoseadmes ja tuleornides.

Söe-elektroode tuleb koomale lükata sedavõrd, kuivõrd nad põlevad lühemaks. Seda tehakse eriliste automaat- või käsi-regulaatorite abil (joon. 424).



Joon. 423. Kaarleek.

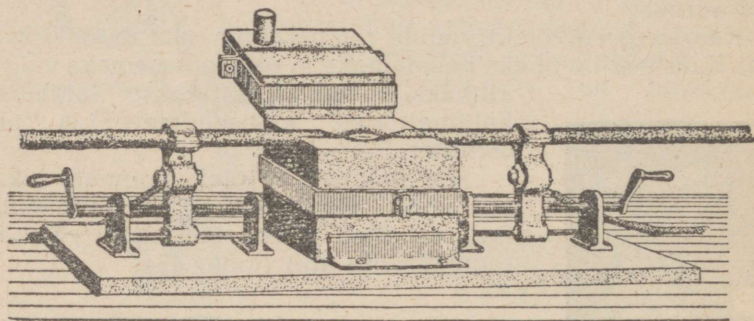
Joon. 424. Kaarleegi regulaator.

Kaarleegi soojusmõju kasutatakse elekterkeevituse aparaatides ja Moissan'i ahjudes (joon. 425 ja 426). Moissan'i ahjusid kasutatakse väga raskesti sulavate ainete sulatamiseks.

Kui asetame kaarleegi ballooni, kus rõhk on 18—20 atmosfääri, siis tõuseb kaarleegi temperatuur 5600 kraadini. Sellises „kõrgrõhu kaarleegis“ sulavad ja aurustuvad kõik meie maakeral ettetulevad ained.

Kaarleegi kuumus võimaldab teostada mitmesuguseid keemilisi reaktsioone, mis nõuavad kõrget temperatuuri. Nii-sugusteks reaktsioonideks on muuseas: alumiiniumi, magneesiumi, naatriumi ja mõne teise metalli saamine nende ühendi-

test; kaltsiumkarbiidi ja karborundi saamine (karborund on süsiniku ja siliitsiumi ühend, mille omaduseks on eriti suur kõvadus: seda kasutatakse lihvimiseks). Nende reaktsioonide läbiviimiseks on olemas võimsaid, tulekindlaid kambritesse ehitatud kaarleeki, mis tarvitavad mitme tuhande amprit tugevust elektrivoolu.



Joon. 425. Moissan'i ahi.

Kaarleegi põlemisel õhus tekib lämmastikuhapendeid. Seda asjaolu kasutatakse laialdaselt ära lämmastikhappe saamiseks õhust. Lämmastikhapet vajatakse keemiatööstuses värvainete, kunstväetiste ja lõhkeainete valmistamiseks.

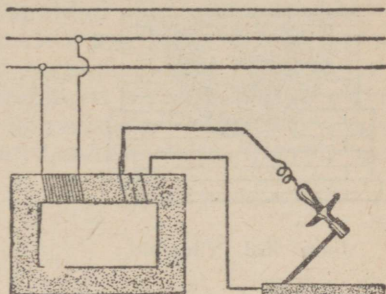
§ 189. **Elekterkeevitus.** Elekterkeevituse abil liidetakse üksteisega kokku terasest, messingist, duralumiiniumist ja teistest metallidest tehtud detaile. Elekterkeevitus võib olla kahte liiki: takistuskeevitus ja kaarkeevitus.

Takistuskeevituse puhul puhastatakse kõigepealt hoolega detailide keevitatavad kohad (et õmblusse ei satuks mustust); siis pannakse detailid üksteisega kokku ja lastakse neist läbi väga tugevat (kuni 80 000 amprit), kuid madalapingelist elektrivoolu (0,5 kuni 8 voldini). Elektrivoolu tugevus peab olema seda suurem, mida paksemad on keevitatavad detailid. Kontakt mõlema detaili vahel on võrdlemisi halb ja takistus kokkupuutekohas on palju suurem kui terve detaili takistus. Seetõttu kuumenevad detailide kokkupuutekohad elektrivoolu mõjul eriti palju. Kui see kuumenemine on saavutanud kokkupuutuvate kehade sulamispunkti, katkestatakse elektrivool ja surutakse mõlemad detailid tugevasti kokku. Detailid liituvad

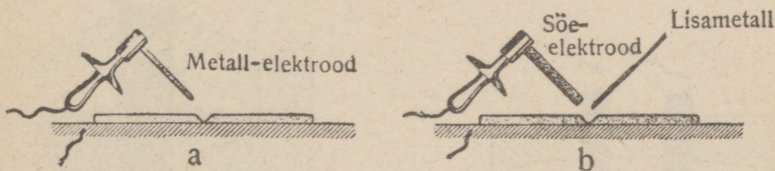
niivõrd hästi, et keevituskoht ei osutu nõrgemaks kui muud konstruktsiooni osad.

Keevitamiseks tarvitatakse keevitusaparaati (joon. 426), mis koosneb transformaatorist (§ 205) ja seadeldisest keevitavate detailide tugevaks kokkusurumiseks.

Kaarkeevituse puhul ühendatakse üks transformaatorist tulev juhe töötükiga, kuna teine juhe on ühendatud elektroodiga (keevitustraadiga) (joon. 427-a). Elektrood viiakse töötükiga kokkupuutumiseni ja tõstetakse ta siis töötükilt veidi eemale. Töötüki ja elektroodi vahel tekib kaarleek ning elektrood hakkab sulama, kusjuures mahatilkuv metall keevitab töötükid kokku. Mõnikord tekitatakse kaarleeki töötüki ja söe-elektroodi vahel ning hoitakse kaarleegis metalli, millega tahetakse õmblust täita (joon. 427-b).



Joon. 426. Keevitusaparaadi skeem.



Joon. 427. Elekter-kaarkeevituse kaks viisi.

Sel viisil võib kinni keevitada metallesemete õmblusi ja lünke. Elekter-kaarkeevitus toimub umbes 14-voldise pinges juures voolutugevusega 150—200 amprit.

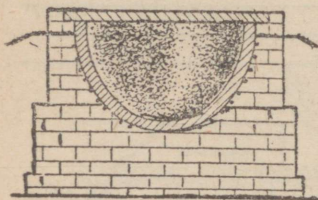
§ 190. **Elektriahjud.** Metallitööstuses tarvitatakse laialdaselt elektriahjusid. Neid rakendatakse kõrgeväertuslike legeeritud terasesortide valmistamisel, alumiiniumi tootmisel maagist ja paljudel muil juhtudel.

On olemas mitu elektriahjude tüüpi: tiigelahjud, silinderahjud, kaarleegiahjud, elektrolüütilised ahjud ja muud.

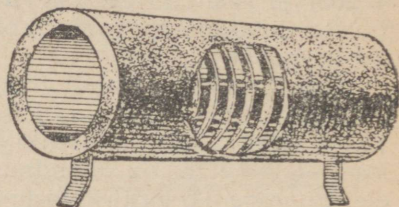
Tiigelahi (joon. 428) kujutab endast tulekindlast materjalist tiiglit, mille ümber on raskesti sulavast metallist spiraal.

Spiraalist lastakse läbi elektrivoolu, mis kuumutab spiraali ennast ja tiiglit. Ahi kaetakse soojus-isolatsiooniga.

Tiigelahjusid kasutatakse elekterterase sortide valmistamisel.



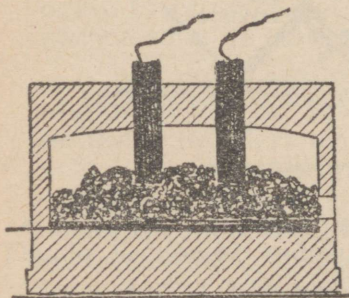
Joon. 428. Tiigelahi.



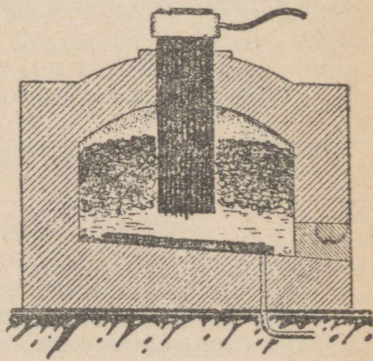
Joon. 429. Silinderahi.

Silinderahi (joon. 429) kujutab endast tulekindlast materjalist silindrit, mida ümbritseb elektrivoolu abil soojendatav, raskestisulav metall-lint.

Silinderahjusid tarvitatakse mitmesuguste materjalide kuumutamiseks ja sulatamiseks.



Joon. 430. Kaarleegiahi.



Joon. 431. Elektrolüütiline ahi.

Kaarleegiahi (joon. 430) koosneb tulekindlasse kambrisse paigutatud kaarleegist. Kaarleegiahjud annavad väga kõrgeid temperatuure (kuni 5600 kraadi).

Elektrolüütiline ahi (joon. 431) kujutab endast tulekindlat vanni, mille põhjaks on paks söeplaat. Läbi üle-

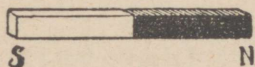
mise kaane ulatuvad ahju sisse jämedad söepulgad. Alumist söeplaati ja söepulkasid nimetatakse elektrodideks.

Elektrolüütilisi ahjusid tarvitatakse alumiiniumi sulatamisel maagist. Ahi täidetakse bauksiidiga (alumiiniumi ja hapniku ühend — alumiiniumi maak). Alumine elektrod ühendatakse vooluallika miinuspoolusega; söepulgad ühendatakse plusspoolusega. Elektrodide vahele tekkiv kaarleek sulatab bauksiiti. Elektrivool eraldab sulanud massist puhast alumiiniumi, mis eraldub negatiivsele elektrodile, s. o. ahju alusplaadile. Kui on kogunenud küllalt palju alumiiniumi, avatakse ahju alumises osas leiduv ava ja metall lastakse välja. Ülevalt aga lisatakse uut maaki.

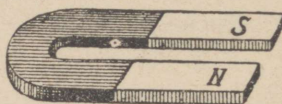
Kaheteistkümmes peatükk.

ELEKTROMAGNETISM JA INDUKTSIOON.

§ 191. **Magnetid.** Mõnel pool (näiteks meil Uuralites) leidub maapõues rauamaaki, millel on omadus ligi tõmmata

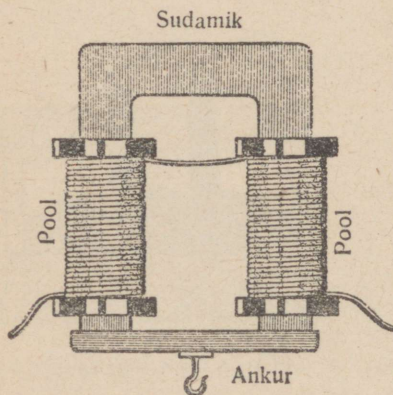


Joon. 432. Varva-
kujuline magnet.



Joon. 433. Hobuseraua-
kujuline magnet.

rauda. Seda maaki nimetatakse magnetiliseks rauamaagiks ehk magnetiidiks.



Joon. 434. Elektromagnet.

Magnetilise rauamaagi tükke nimetatakse loomulikeks magnetiteiks. Ent võib valmistada ka kunstlikke magneteid, mis tõmbavad rauda ligi palju suurema jõuga kui loomulikud magnetid.

Kunstlikud magnetid võivad olla kahte liiki: kas jääva magnetismiga terasmagnetid, s. o. magnetiseeritud varva- ja hobuserauakujulised terasetükid (joon. 432 ja 433) või elektri- voolu abil töötavad elektromagnetid (joon. 434).

Praegusel ajal tarvitatakse eranditult kunstlikke magnetid.

Terast võib magnetiseerida kahte viisi. Esiteks võib hõõruda terasetükki teise, juba magnetiseeritud terasetükiga või

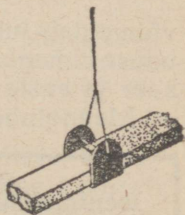
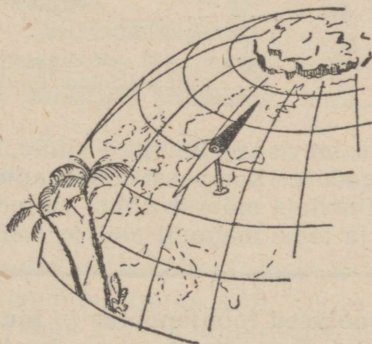
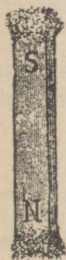
loomuliku magnetiga. Teiseks võib mähkida traati pikerguse terasetüki ümber (või asetada terasetükk traadist pooli sisse) ning lasta traadist läbi alalisvoolu. Teras magnetiseerub elektrivoolu mõjul.

§ 192. **Magneti poolused.** Paneme magneti rauapurusse. Magnetiotste külge jääb palju puru, aga magneti keskaik ei tõmba rauapuru üldse ligi.

Neid kohti magnetil, mis tõmbavad rauapuru ligi, s. o. neid kohti magnetil, kus esinevad magnetilised tungid, nimetatakse magneti poolusteks (joon. 435).

Magneti keskaika, mis rauapuru üldse ligi ei tõmba, nimeatakse neutraalseks jooneks.

Mõlemad magnetipoolused on rauapuru külgetõmbamise omaduselt täiesti võrdsed. Ent ometi ei ole nad täiesti ühesugused.

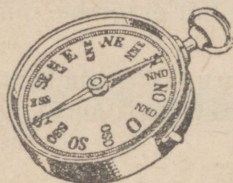


Joon. 435. Rauapuru jääb rip-puma magneti pooluste külge.

Joon. 436. Üks magnetipoolus osutab põhja poole, teine lõuna poole.

Kui riputame magnetiseeritud pulgakese niidi otsa või kinnitame magnetnõela nii, et ta võiks vabalt pöörduda (joon. 436), siis näeme, et magneti poolused võtavad kindla asendi: üks poolustest on suunatud (ligikaudu) põhja, kuna teine näitab lõunasse. Põhja suunatud magnetipoolust nimetatakse põhjapooluseks, tähistades seda N tähega. Lõunasse suunatud magnetipoolust nimetatakse lõunapooluseks, tähistades seda S tähega.

Magnetnõela põhjapoolus oksüdeeritakse mustaks. Magnetnõela omadust asetuda piki lõunast põhja kulgevat joont kasutatakse kompassi valmistamisel. Kompassi ülesandeks on kätte juhatada ilma-kaari (joon. 437 ja 438) tundmatus maastikus, merel (kui randa ei ole näha), õhus jne. Laevakaptenile ja lendurile on kompass kõige tähtsamaks riistaks, mis



Joon. 437. Kompass.



Joon. 438. Kompassiga tehakse kindlaks liikumissuund tundmatus maastikus.

võimaldab juhtida laeva või lennukit sihile, kuigi reis toimub uduse ilmaga. Vaadates kompassi teab kapten, kus on põhjakaar ja vastavalt sellele määrab sõidu suunda.

Magnetnõela ja teise magneti abil on kerge avastada:

Isenimelised poolused (põhjapoolus ja lõunapoolus) tõmbavad teineteist ligi, kuna samanimelised poolused (põhjapoolus ja põhjapoolus, lõunapoolus ja lõunapoolus) tõukavad teineteist eemale.

Katsed näitavad:

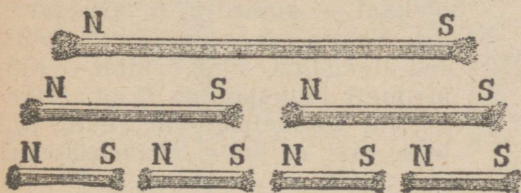
Igal magnetil on alati olemas niihästi põhjapoolus kui ka lõunapoolus.

Ühe poolusega magnet on samuti mõeldamatu kui ühe otsaga kepp. Võib valmistada magneteid kolme, nelja, viie

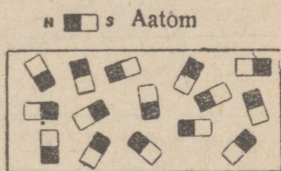
poolusega ja nõnda edasi, aga sel juhul on iga poolus tingimata kas põhja- või lõunapoolus.

Magnetipooluste külgetõmbumise või tõukumise jõud on seda suurem, mida tugevamalt magnetid on magnetiseeritud. Poolustevahelise kauguse kasvades kahaneb pooluste vastastikune mõju kiiresti.

§ 193. **Magneti ehitus.** Murrame pooleks mingisuguse magneti, näiteks magnetiseeritud sukavarda. Me näeme, et mõlemad pooled on saanud omaette magnetiteks. Endised poolused



Joon. 439. Tükeldatud magneti iga murdosa on iseseisvaks magnetiks.

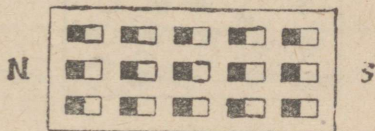


Joon. 440. Magnetiseerimata raudtüki osakesed asetuvad korrapäratult.

on alles ja peale selle on tekkinud murdekohas uus lõunapoolus ja uus põhjapoolus (joon. 439). Selles võime kergesti veenduda, kui proovime saadud murdosade mõju magnetnõe-



Joon. 441. Magnetiseeritud raua osakesed asetuvad teatavas kindlas korras.

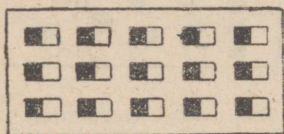
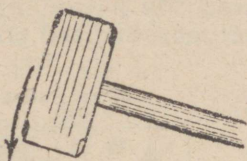


Joon. 442. Kui raud on maksimaalselt magnetiseerunud, on kõik rauaosakesed asetunud kindlas korras.

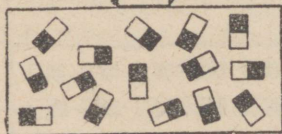
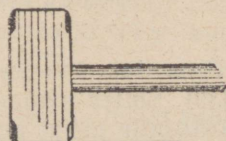
lasse. Tükeldamist võime veelgi jätkata: iga saadud murdosa on iseseisvaks magnetiks, millel on põhja- ja lõunapoolus.

Ei saa eraldada põhjapoolust lõunapoolusest.

Sellest on tekkinud oletus, et iga rauaosake on pisike magnet. Magnetiseerimata raua osakesed asetuvad korrapäratult ja magnetiseerimata raudtüki otstes on võrdne arv rauaosakeste põhja- ja lõunapooluseid. Seetõttu raudtükk kui tervik ei evi magnetilisi omadusi (joon. 440). Aga magnetiseeritud raudtüki osakesed asetuvad kindlas korras. Seejuures tekib ühes raudtüki otsas põhjapooluste ülekaal — sinna tekib põhjapoolus. Teises otsas on lõunapoolused ülekaalus ning sinna tekib magneti lõunapoolus (joon. 441).



Kui magnetiseerime raua nii tugevasti, et kõik rauaosakesed on asetunud korrapäraselt, siis saabub „magnetiline küllastumine“: raua ei ole siis võimalik magnetiseerida veel tugevamini (joon. 442).



Kuumutame magnetit umbes 800 kraadini või anname talle tugeva haamrilöögi (joon. 443): ta osakesed satuvad uuesti korratusse ja magnet kaotab oma magnetismi.

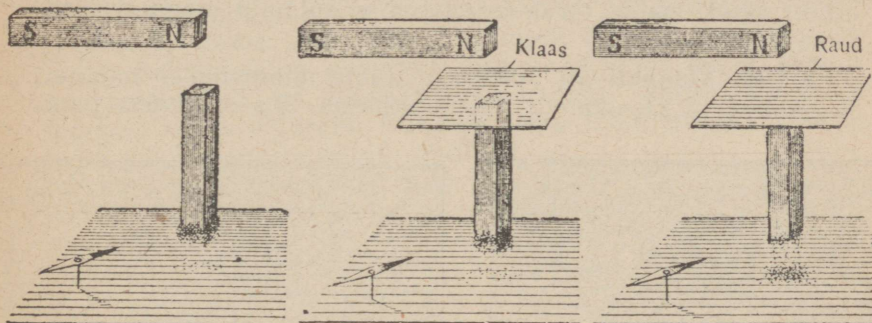
Joon. 443. Tugeva löögi mõjul kaotab magnet oma magnetismi.

§ 194. Magnetiseerimine mõjumagnetismi abil. Lähendame tavalisele pehmele raudtükkile magneti; raudtükk hakkab ligi tõmbama rauapuru (joon. 444). Eemaldame magneti raudtükkist: me näeme, et suurem osa rauapurust langeb maha.

Raud, mis asetseb magneti läheduses, magnetiseerub.

Lähendame raudpulga otsale magneti põhjapooluse. Magnetnõela abil saame siis kindlaks teha, et raudpulga otsas, mis asetseb magneti põhjapooluse lähedal, on moodustunud lõunapoolus. Teises raudpulga otsas aga, mis on magneti põhjapoolusest kaugemal, on moodustunud põhjapoolus.

Asetame magnetipooluse ja raudpulga vahele plaadikese, mis on valmistatud klaasist, vasest, alumiiniumist või mõnest muust metallist peale raua, terase ja malmi. Me näeme, et raua magnetilised omadused ei muutu. Raud tõmbab rauapuru



Joon. 444. Raudpulk magnetiseerub magneti läheduses.

Joon. 445. Klaasi vaheleasetamisega ei saa tõkestada magnetilist mõju. Raud- või terasplaadikese vaheleasetamine tõkestab magnetilist mõju.

ligi endise jõuga. Aga kui lükkame raudpulga ja magneti vahele rauast, terasest või malmist valmistatud plaadikese, siis langeb osa rauapuru pulga otsast maha.

Rauast või terasest plaadikese abil saab tõkestada magnetilist mõju.

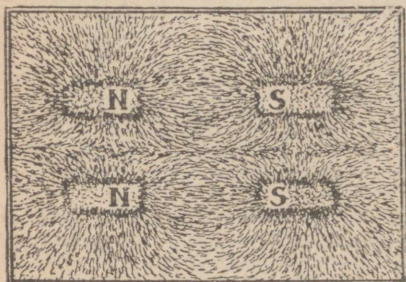
Teised materjalid ei moodusta tõket magnetilise mõju vastu (joon. 445).

Lähendame magnetile teraspulga; see magnetiseerub ja hakkab rauapuru ligi tõmbama. Kui eemaldame magneti teraspulga lähedusest, siis teraspulga magnetilised omadused ei kao. Ta tõmbab ikka veel rauapuru ligi, kuigi mitte nii hästi, kui magneti juuresolekul.

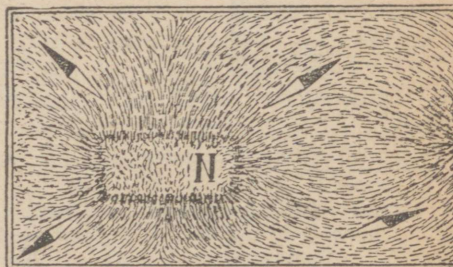
Pehme raud ei säilita magnetilisi omadusi, aga teras säilitab neid pikemat aega.

Seda võib seletada asjaoluga, et terase osakeste vahel on olemas tugevamaid vastastikuse mõju tunde, mis ei luba osakestel muuta oma korrapärasest asendit. Seetõttu tehakse jäävad magnetid terasest. Kõikide tuntud ainete hulgas evivad ainult raud, malm, teras ja mõned erisulamid magnetiseerumise võimet.

§ 195. **Magnetiväli.** Asetame lauale mingisuguse magneti ja katame ta klaastahvli või papitükiga. Siis raputame papi-



Joon. 446. Magneti tungjooned.



Joon. 447. Magnetrõel asetub piki magneti tungjooni.

tükile ühtlaselt rauapuru, koputades papile tasakesi sõrmega. Rauapuru korraldub joonteks, mis lähevad ühelt pooluselt teisele (joon. 446).

Jooni, millede suunas asetub rauapuru, nimetatakse magneti tungjoonteks.

Võtame väikese magnetnõela ja hoiame selle papitüki kohal; me näeme, et magnetnõel asetub selle tungjoone sihis, mille läheduses ta parajasti viibib (joon. 447).

Kui oleks võimalik eraldada magnetnõela põhjapoolust lõunapoolusest, siis hakkaks selline „üksik“ põhjapoolus liikuma mööda magneti tungjoont, sest magneti põhjapoolus tõukab ta eemale ja magneti lõunapoolus tõmbab ta ligi. Magnetnõela „üksik“ lõunapoolus hakkaks aga liikuma vastassuunas.

Magneti tungjoon on kõverjoon, mida mööda hakkaks liikuma üksik magneti põhjapoolus.

Suunda, milles hakkaks liikuma üksik magneti põhjapoolus, nimetatakse tungjoonte suunaks.

Leppeliselt oletatakse, et magneti tungjooned väljuvad magneti põhjapoolusest ja suunduvad lõunapoolusesse.

Kuigi tegelikult on võimatu eraldada põhjapoolust lõunapoolusest, võime siiski panna magneti liikuma mööda tungjoont. Selleks tuleb paigutada liikuva magneti teine poolus kaugemale, nii et paigalseisva magneti tungjoonte mõju temasse oleks väiksem. Vastava katse läbiviimiseks võtame tugevasti magnetiseeritud nõela, torkame selle korgitükist läbi ja paneme korgi ujuma veega täidetud klaasanumasse, nii et nõel oleks püstasendis. Hoides magnetit anuma all, võime panna nõela liikuma piki magneti tungjoont (joon. 448).



Joon. 448. Magnetiseeritud nõel ujub piki magneti tungjoont.

Ruumi, kus avaldub magnetiliste tungide mõju, nimetatakse magnetiväljaks.

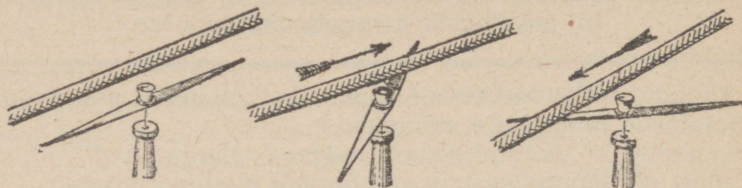
Magnetiväli on kõige tugevam pooluste läheduses. Poolustest kaugemal kahaneb magnetivälja tugevus kiiresti. Magnetipooluste läheduses on tungjooned kõige tihedamad (joon. 446 ja 447). Siit järeldame:

Magnetivälja tugevus on seda suurem, mida tihedamad on tungjooned. Mida tugevam on magnetiväli, seda tihedamad on tungjooned ja seda suurema jõuga avaldub magneti mõju.

§ 196. Elektrivoolu magnetiväli. Korgitõmbaja juhised. Katseliselt on kindlaks tehtud:

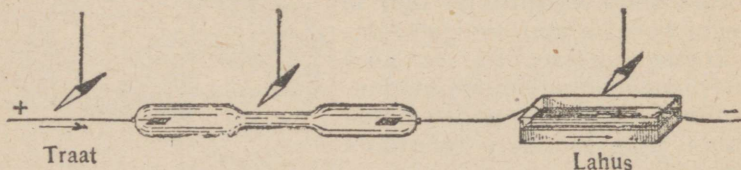
Alalisvool mõjub magnetnõelasse teatava jõuga.

(Vt. joon. 449.) Elektrivoolu ja magneti vastasmõju võib selgitada järgmise katse abil. Asetame magnetnõela rööbiti voolujuhtmele. Niipea kui lülitame juhtmesse alalisvoolu, muudab



Joon. 449. Juhet läbiv elektrivool mõjub magnetnõelasse. Nõel asetub risti elektrivoolust läbitud juhtmele.

nõel oma asendit: ta pöörduv ja asetub risti juhtmele. Joonisel 450 koosneb ahel mitmest erisugusest lõigust: metalltraadist, huumtorust ja väävelhappe-lahusega täidetud anumast.



Joon. 450. Elektrivool mõjub magnetnõelasse ühesuguselt, olenemata juhtme iseloomust.

Kõigi nende lõikude kohal mõjub elektrivool magnetnõelasse ühteviisi.

Me võime lähendada magnetnõela voolujuhtmele igast suunast — nõel asetub alati risti juhtmele (joon. 451).

Meenutame, et ruumi, kus avaldub magnetiliste tungide mõju, nimetatakse magnetiväljaks.

Voolujuhtme ümber esineb magnetiväli.

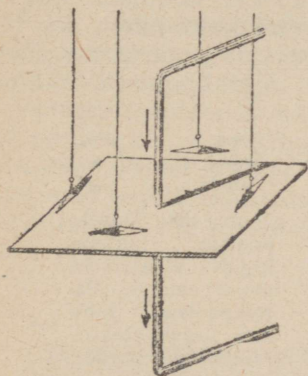
Et saada paremat ettekujutust elektrivoolu magnetivälja moodustavate tungjoonte suunast, teeme järgmise katse. Lõikame siledasse papitükki augu ja pistame sellest august läbi elektrijuhtme. Nüüd juhime elektrijuhtmesse voolu, mille tugevus on vähemalt 30 amprit (joon. 452).

Raputame papitükile rauapuru, ühendame elektrivoolu ja koputame kergelt vastu pappi. Rauapuru koondub piki elektrivoolu tungjooni.

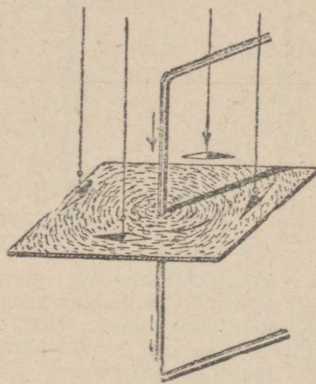
Elektrivoolust läbitud juhtme tungjoonteks on korrapärased ringid, millede tsentrum asub voolujuhtmes.

(Vt. joon. 452.)

Meenutame, et magnetivälja tungjoonte suunaks nimetatakse suunda, milles hakkaks liikuma põhjapoolus, kui ta saaks eralduda lõunapoolusest.



Joon. 451. Magnetnõel asetub alati risti elektrivoolust läbitud juhtmele, olenemata sellest, millisest küljest me lähendame nõela elektrijuhtmele.

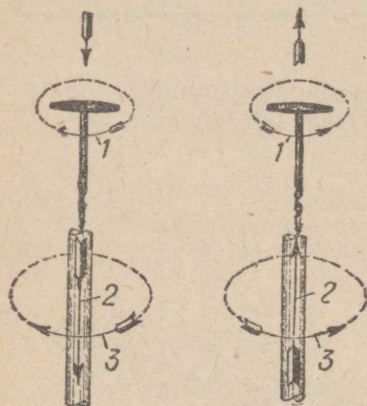


Joon. 452. Elektrivoolu magnetilised tungjooned asetuvad ringikujuliselt elektrijuhtme ümber.

Magnetivälja tungjoonte suund sõltub elektrivoolu suunast. Kui muudame voolu suunda juhtmes, pöörduvad kõik juhtme läheduses olevad magnetnõelad ringi (joon. 449). Ainult katse abil võib määrata, mis suunda pöörduvad magnetnõela põhjapoolus. On olemas rida reegleid, mis aitavad meeles pidada nõela põhjapooluse kõrvalekaldumise suunda ja elektrivoolu tungjoonte suunda. Nõndanimetatud korgitõmbaja juhised on lihtsaim ja sobivaim neist reeglitest.

Korgitõmbaja juhisis on järgmine:

Kui keerame korgitõmbajat juhtmesse voolu liikumise suunas, siis näitab korgitõmbaja käepideme pöördliikumine tungjoonte suunda,



Joon. 453. Korgitõmbaja juhisis. Nool 1 näitab korgitõmbaja käepideme pöördumissuunda. Nool 2 näitab voolu suunda. Nool 3 näitab tungjoonte suunda.

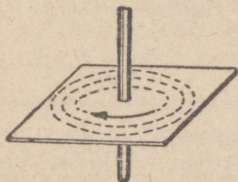
ehk seda suunda, kuhu kaldub magnetnõela põhjapoolus (joon. 453). Tuleb meeles pidada seda juhist ja õppida seda veatult rakendama tegelikus elus ette-tulevail juhtudel.

Näide. Joonisel 454 on kujutatud kaks juhet, mis läbi-vad paberit ja mida me näeme pealt. Vasakpoolses juhtmes

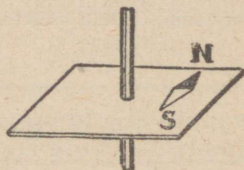


Joon. 454. Vasakpoolses juhtmes liigub elektrivool meist eemale. Parempoolses juhtmes liigub elektrivool meie poole.

liigub vool meist eemale. See on leppeliselt tähistatud ristikesega (ristike kujutab meie poolt kaugusse lendava noole



Joon. 455. Mis suunas kulgeb elektrivool?



Joon. 456. Mis suunas kulgeb elektrivool?

sulgi). Parempoolses juhtmes liigub vool meie suunas; seda märgime leppeliselt punktiga (punkt kujutab meie poole len-

dava noole otsa). Teeme kindlaks, kuidas on suunatud tungjooned nende juhtmete ümber.

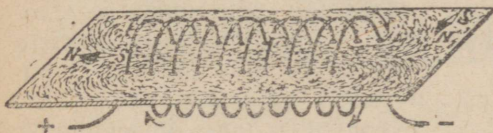
Kasutame korgitõmbaja juhust. Keerame korgitõmbajat juhtmesse elektrivoolu liikumise suunas. Vasakpoolse juhtme juures tuleb selleks teha korgitõmbajat sissekeeravat liigutust. Järelikult tungjoonte suund vasakpoolse juhtme ümber ühtib kellaosuti liikumise suunaga. Parempoolse juhtme juures tuleb aga korgitõmbajat välja keerata. Järelikult on tungjooned parempoolse juhtme juures kellaosutile vastupidise liikumissuunaga.

Ülesanne 1. Joonisel 455 on kujutatud magnetiliste tungjoonte suund voolujuhtme ümber. Mis suunas kulgeb elektrivool?

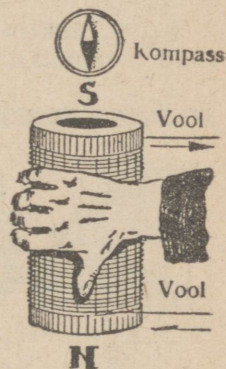
Ülesanne 2. Joonis 456 näitab voolujuhtme lähedusse asetatud magnetnõela kõrvalekaldumist. Mis suunas kulgeb elektrivool?

§ 197. **Keermetaolise traatpooli (solenoidi) magnetiväli.** Elektromagnetite, transformaatorite ja elektrimasinate mähistel on traatpoolide kuju. Uurime katseliselt pooli magnetivälja.

Võtame traatpooli, mille keerud läbivad papitükki, nagu kujutatud joon. 457, ja laseme sellest poolist läbi alalisvoolu. Raputame papile rauapuru, koputades papile sõrmega. Me saame joonisel 457 näidatud pildi.



Joon. 457. Elektrivooluga traatpooli magnetiväli; pooli põhjapoolus on vasakul.



Joon. 458. Traatpooli põhjapoolust võib leida parema käe juhise abil.

Asetame vooluga pooli lähedusse väikese magnetnõela. See võtab asendi piki tungjoont.

Me näeme, et magnetilised tungjooned väljuvad ühest pooli otsast ja lähevad sisse teisest otsast. Pooli magnetiline põhjapoolus on selles otsas, kust tungjooned väljuvad; lõunapoolus selles otsas, kuhu tungjooned sisse lähevad. Paneme pooli kõrvale magnetnõela: pooli põhjapoolus tõmbab ligi mag-

netnõela lõunapoolust (joon. 457). Et meeles pidada pooli põhja- ja lõunapooluse asukohta, kasutame parema käe juhust (joon. 458).

Parema käe juhust on järgmine:

Tuleb võtta pool paremasse kätte nii, et neli sõrme osutaksid elektrivoolu suunda pooli keerdudes. Pöial näitab siis pooli põhjapoolust.

Katseliselt on kindlaks tehtud:

Mida tugevam on pooli läbiv elektrivool ja mida suurem on pooli traadikeerdude arv, seda tugevam on magnetiväli.

§ 198. **Elektromagnet.** Võtame rauast või terasest valmistatud „südamik“ ja paneme ta traatpoolisse, mida läbib alalisvool. Südamik magnetiseerub.

Südamikuga traatpooli nimetatakse elektromagnetiks.

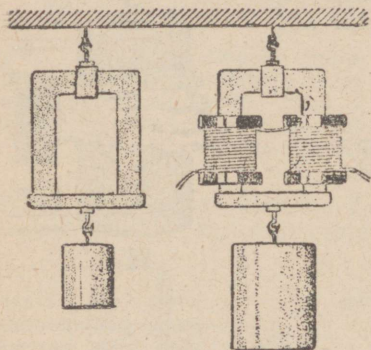
Parema käe juhise järgi võib määrata elektromagneti põhja- ja lõunapooluse asukohta (joon. 458). Südamikuga varustatud pool mõjutab magnetnõela palju tugevamini kui samasugune pool ilma südamikuta.

Elektromagnetid on tavaliselt palju tugevamad kui jääva magnetismiga magnetid (joon. 459).

Elektromagnetitel on väga palju praktilisi rakendusviise.

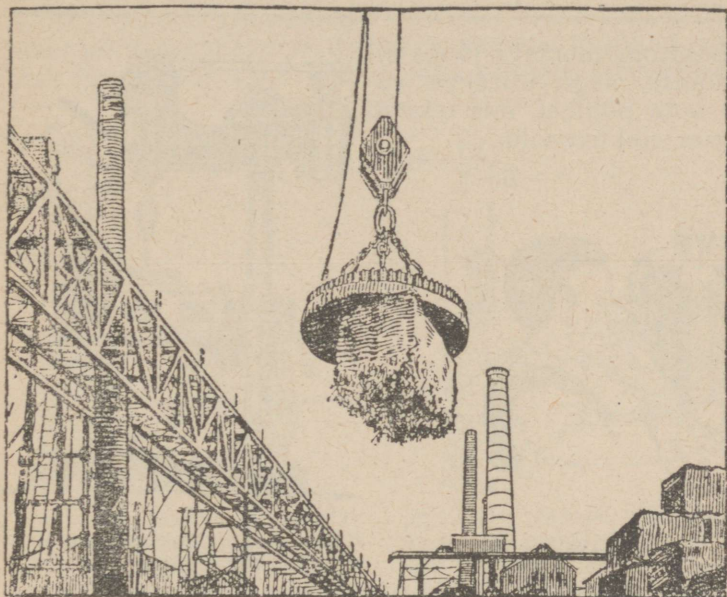
Elektromagneteid kasutatakse metallitehastes raudesemete ja vanaraua tõstmiseks (joon. 460).

Tugevaid elektromagneteid tarvitatakse ka arstiteaduses rauakildude eemaldamiseks silmast (joon. 461).



Joon. 459. Elektromagnet on tugevam kui harilik jääva magnetismiga magnet. Elektromagnet võib üleval hoida suuremat raskust.

Paljud masinriistad teras-esemete lihvimiseks ja puurimiseks varustatakse elektromagnetiliste kinnituspadrunitega (joon. 462). Detaili kinnitamiseks piisab elektrivoolu sisselülitamisest; detaili lahtipäästmiseks lülitatakse elektrivool välja. Kui masin ei tööta, peab elektrivool olema välja lülitatud, et vältida asjatut elektrienergia kulu.



Joon. 460. Elektromagnet vanaraua transportimiseks.

Peale selle tarvitatakse elektromagneteid veel elektrikölistites, telegraafi- ja telefoniaparaatides, valjuhääldejais ja mitmesugustes automaatides.

Elektromagnetilise automaadi töö seisneb alati järgmises: kui elektromagneti mähisesse lülitatakse elektrivool, südamik magnetiseerub ja tõmbab jõuliselt ligi teraslati, mida nimetatakse ankruks. Ankur liigub ja sooritab ettenähtud töö. Automaatseid vinnaküliliteid, pidureid, trammi- ja raudteerööpaseadmise aparate käivitatakse elektromagnetite abil.

§ 199. **Elektromagnetiline induksioon.** Nüüd vaatleme nähtust, millel on tehnikas erakordselt suur tähtsus. Selleks näh-

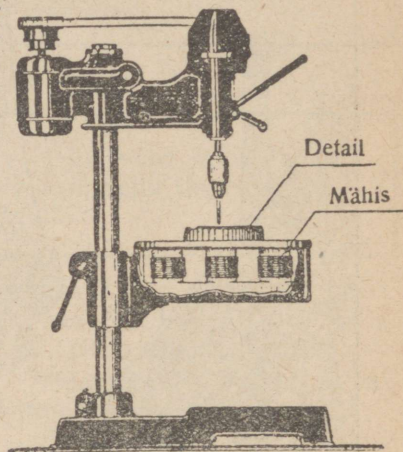
tuseks on elektromagnetiline induktsioon. Elektromagnetiline induktsioon on avastatud kuulsa teadlase Faraday poolt. Faraday avastas:

Elektromotoorne jõud tekib igas juhtmes, mis lõikab magnetilisi tungjooni.

Elektromotoorseks jõuks nimetatakse, nagu ütlesime varem, seda põhjust, mis tekitab juhtmes elektrivoolu.



Joon. 461. Elektromagnet rauakildude eemaldamiseks silmast.



Joon. 462. Elektromagnetilise kinnituspadruniga masinriist.

Elektromotoorse jõu tekkimist magnetilisi tungjooni lõikavas juhtmes nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks.

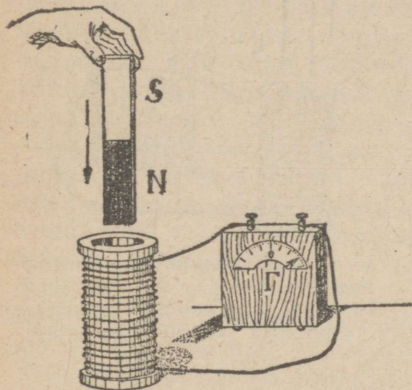
Elektromagnetilise induktsiooni nähtustel põhineb kõikide elektrimasinate, transformaatorite ja raadiojaamade töö.

Järgmistes paragrahvides kirjeldatakse katseid elektromagnetilise induktsiooni tekkimise selgitamiseks.

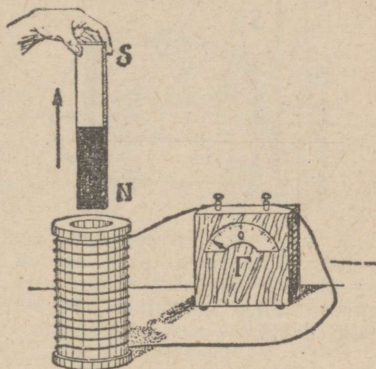
§ 200. **Faraday katsed.** Uhendame traatpooli tundliku ampermeetri (tundlikku ampermeetrit nimetatakse ka galvanomeetriks), mille nullpunkt on skaala keskel, nii et osuti saab näidata kõrvalekaldumist mõlemas suunas. Lükkame pooli

sisse tugeva varbmagneti põhjapooluse. Me näeme, et ampermeetri osuti kaldub kõrvale selle lühikese ajavahemiku jooksul, kui magnet on pooli sisse minemas (joon. 463). Aga kui magnet on juba pooli sees ega liigu enam, siis läheb ampermeetri osuti nullpunkti tagasi. Nüüd võtame magneti poolist välja. Seejuures kaldub ampermeetri osuti uuesti kõrvale, aga vastassuunas (joon. 464). Kui magnet on poolist eemaldunud, läheb osuti tagasi nullasendisse.

Nüüd pöörame magneti ümber ja paneme ta lõunapooluse poolisse (joon. 465): osuti kaldub jälle kõrvale. Kõrvalekaldu-



Joon. 463. Magneti põhjapooluse poolisse lükkamise ajal kaldub ampermeetri osuti kõrvale.



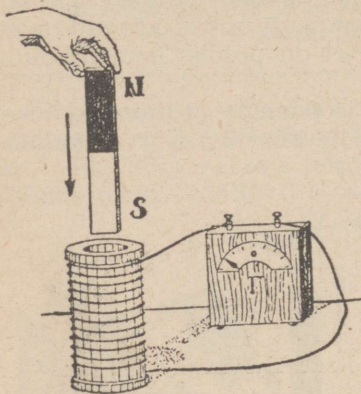
Joon. 464. Magneti põhjapooluse poolist eemaldamise ajal kaldub ampermeetri osuti samuti kõrvale, kuid vastassuunas.

mise suund on sama mis põhjapooluse eemaldamise puhul. Järelikult on ükskõik, kas lükata poolisse lõunapoolus või eemaldada sellest põhjapoolus.

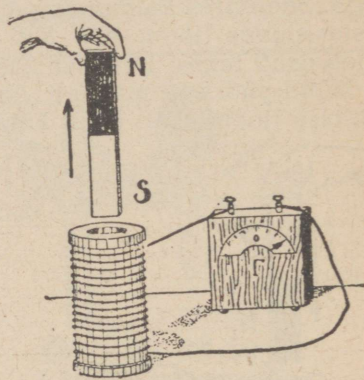
Võtame magneti lõunapooluse poolist välja. Niikaua kui magnet liigub, näitab ampermeetri osuti kõrvalekaldu, mille suund vastab kõrvalekaldule põhjapooluse sisselükkamisel (joon. 466). Järelikult on ükskõik, kas eemaldada poolist lõunapoolus või lähendada põhjapoolus. Tehtud katseist järeldub:

Niikaua kui magnet liigub juhtme läheduses (näiteks pooli sees), tekib juhtmes elektromotoorne jõud, mida nimetatakse indutseeritud elektromotoorseks jõuks.

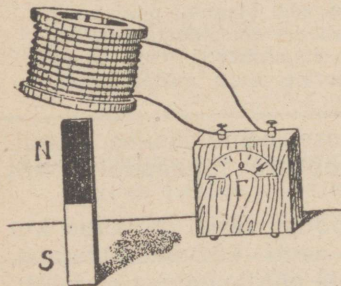
Meie näites on pool ühendatud ampermeetriga. Pool ja ampermeeter kokku moodustavad suletud elektri ahela. Seetõttu tekib indutseeritud elektromotoorse jõu mõjul induktsoonivool, mis sunnibki mõõduriista osutit kõrvale kalduma.



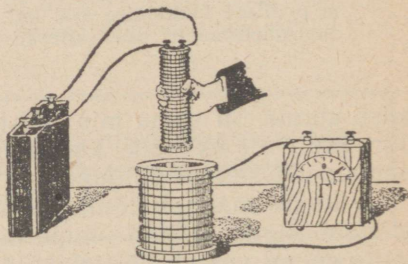
Joon. 465. Magneti lõunapooluse poolisse lükkamise ajal kaldub ampermeetri osuti kõrvale samas suunas, milles ta kaldus kõrvale põhjapooluse eemaldamise ajal.



Joon. 466. Lõunapooluse eemaldamise ajal kaldub osuti kõrvale nii sama nagu ta kaldus kõrvale põhjapooluse lähendamise puhul.



Joon. 467. On täiesti ükskõik, kas liigutada pooli või liigutada magnetit.



Joon. 468. Elektromagneti liigutamisel on sama mõju, mis jäämagneti liigutamisel.

Indutseeritud elektromotoorne jõud on olemas ainult siis, kui magnet liigub pooli sees või selle läheduses. Niipea kui magnet jääb paigale, kaob ka indutseeritud elektromotoorne jõud.

§ 201. **Teisi viise indutseeritud elektromotoorse jõu saamiseks.** Magneti liikumine juhtme läheduses ei ole ainuke põhjus, mis tekitab indutseeritud elektromotoorset jõudu. Selle tekitamiseks on ka teisi viise. Loetleme mõne neist viisidest.

1. Paneme varbmagneti otsapidi lauale seisma. Võtame traatpooli, mis on ühendatud ampermeetriga painduvate juhtmete kaudu; lähendame seda pooli magnetile nii, et magneti ülemine ots läheb pooli sisse (joon. 467). Osuti kaldub kõrvale täpselt samuti, nagu ta kaldus kõrvale siis, kui pool oli paigal ja magnet liikus.

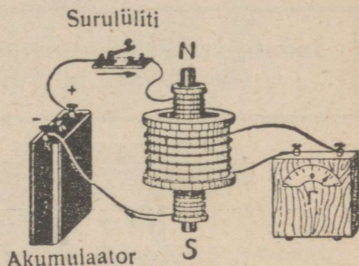
2. Nüüd võtame varbmagneti asemele elektromagneti, mille mähis läbib elektrivool (alalisvool). Lükkame elektromagneti pooli sisse ja võtame teda sealt jälle välja (joon. 468). Ampermeeter näitab neidsamu kõrvalekaldumisi nagu jääva magneti liikumiselgi, ainult selle vahega, et kõrvalekaldumine on tugevam.

3. Nüüd asetame pooli sisse elektromagneti, mis on ühendatud alalisvoolu-allikaga (joon. 469). Suleme ja katkestame elektrivoolu elektromagneti mähises. Kui elektrivoolu sulgemisel elektromagneti alumises otsas tekib põhjapoolus, siis on olukord nii, nagu oleksime poolisse lükanud magneti põhjapooluse: osuti kaldub sinnasamasse, kuhu ta kaldus varbmagneti põhjapooluse sisselükkamisel. Osuti kõrvalekaldumine on väga lühiajaline. Pärast seda läheb osuti nullpunkti tagasi, kuigi elektrivool elektromagneti mähises ei ole katkestatud.

Katkestame voolu elektromagneti mähises. Elektromagneti südamik kaotab oma magnetismi. Olukord on nii, nagu oleksime poolist välja võtnud magneti põhjapooluse: osuti kaldub sinna, kuhu ta kaldus magnetiseeritud varva põhjapooluse väljavõtmise momendil.

Ühendame elektromagneti mähise vahelduvvoolu allikaga, näiteks seinakontaktiga.

Vahelduvvool muudab oma suunda sada korda sekundis. Seepärast tekib elektromagneti alumises otsas vaheldumisi põhja- ja lõunapoolus. See tähendab, et olukord on nii, nagu



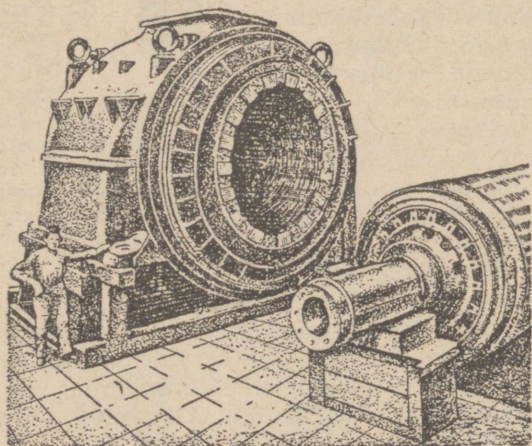
Joon. 469. Elektromagneti mähises elektrivoolu sulgemise ja katkestamise momendil tekib poolis samasugune elektrivool nagu magneti liikumise puhul.

liigutaksime magnetit sada korda sekundis poolis edasi-tagasi. Pooli traatmähises tekib vahelduv elektromotoorne jõud, mille suund muutub sada korda sekundis.

Kui meie ampermeeter on kasutatav niihästi alalisvoolu kui ka vahelduvvoolu jaoks, siis kaldub osuti kõrvale ja näitab poolis tekkinud vahelduva induksioonvoolu suurust.

Kui paneme elektromagneti või magneti pooli sisse või võtame nad sealt välja, või kui suleme ja katkestame elektri-
voolu elektromagneti mähises, siis lõikavad magneti tungjoo-
ned pooli keerduid.

**Indutseeritud elektromotoorne jõud tekib juhtmes alati
siis, kui see juhe lõikab magnetilisi tungjoo-
ni.**



Joon. 470. Võimas alternaator, mille rootor on
välja võetud.

§ 202. **Vahelduvvoolu generaator (alternaator).** Eespool nägime juba, et kõik elektrimasinad on ehitatud elektromagnetilise induksiooni põhimõttel. Vaatleme alternaatori ehitust ja tööd. Alternaator on masin, mida tarvitatakse vahelduvvoolu saamiseks (joon. 470).

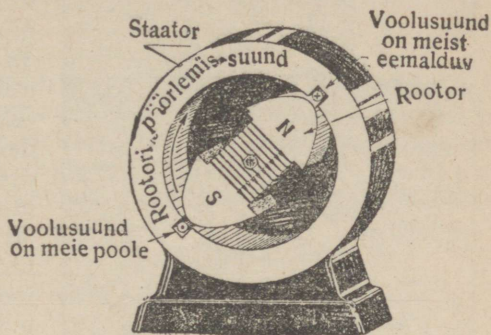
Alternaator koosneb kahest põhiosast: liikumatust staatorist ja tiirlevast rootorist (joon. 471). Staatoril on mähis vahel-

duvvoolu saamiseks. Rootoriks on elektromagnet, mille mähisesse lastakse väikese dünamo — nõndanimetatud ergutusdünamo — alalisvoolu. Ergutusdünamo pöörleb tavaliselt samal teljel rootoriga. Joon. 471 kujutatud staatoril koosneb mähis ainult kahest juhtmest. Tegelikult on neid juhtmeid väga palju; kõik nad on omavahel järjestikku ühendatud.

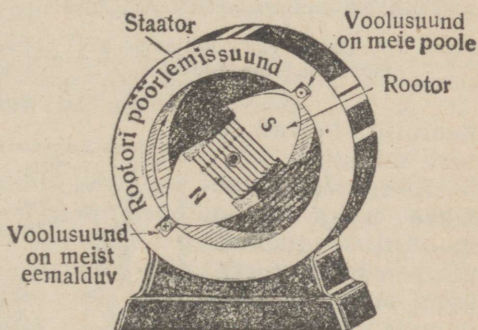
Tiirleva rootori poolustest väljunud magnetilised tungjooned lõikavad liikumatul staatoril leiduva mähise juhtmeid.

Kui rootori põhjapoolus läheb staatori liikumatu juhtme alt läbi, tekib juhtmes teatavasunaalne elektromotoorne jõud. Kui aga juhtme alt läheb läbi rootori lõunapoolus, siis tekib juhtmes vastasunaalne elektromotoorne jõud (elektromotoorse jõu suunaks nimetatakse suunda, milles liiguks elektrivool, kui ahel oleks suletud). Järelikult on staatori mähises vahelduv elektromotoorne jõud.

Kui alternaatori mähis on ühendatud juhtmete kaudu mingisuguse välisahelaga (hõõglampide, mootorite või soojendusriistadega), siis hakkab vahelduv induktioonvool liikuma selles ahelas. Voolu suund muutub iga kord, kui staatori juhtme alt läheb läbi teisenimeline magnetipoolus (joon. 472).

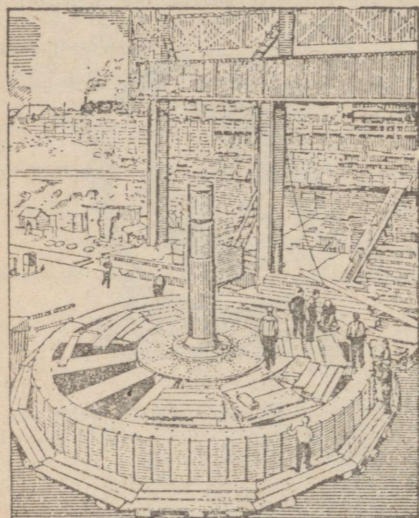


Joon. 471. Alternaatror on masin vahelduvvoolu saamiseks. Staatoril on mähis, milles tekib vahelduvvool.



Joon. 472. Induktatsioonvoolu suunamuutus igal poolpöördel.

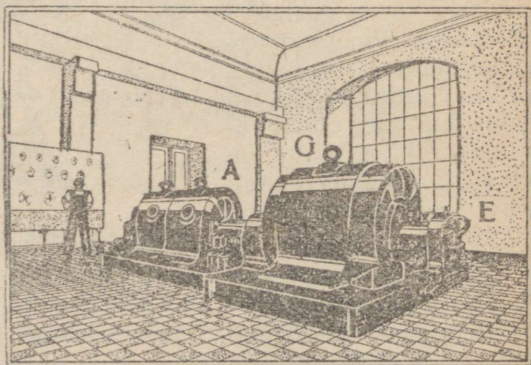
Tehnikas rakendatakse vahelduvvoolu, mille sagedus on 50 perioodi sekundis. Perioodiks nimetatakse ajavahemikku, mille vältel elektrivool jõuab läbida juhet ühes ja teises suunas; ühe perioodi jooksul toimub kaks voolu suunamuutust. Joonistel 471 ja 472 on alternaatori rootoril ainult üks pooluste-paar. Et tekitada vahelduvvoolu sagedusega 50 perioodi sekundis, peab selline rootor tege-
 ma 50 tiiru sekundis ehk $50 \cdot 60 = 3000$ tiiru minutis. Ehitatakse ka masinaid, millele rootorid on varustatud mitme pooluste-paariga. Mida suurem on pooluste-paaride arv, seda väiksem peab olema rootori tiirude arv minutis 50-perioodilise elektrivoolu saamiseks. Näiteks on Dneprogesi jõujaamas võimsaid alternaatoreid, millele rootoritel on 36 paari pooluseid (joon. 473). Need alter-



Joon. 473. Dneprogesi jõujaama mitmepooluseline rootor.

naatorid teevad 84 tiiru minutis.

Alternaatorit aetakse ringi mingi mootori — tavaliselt auru- või veeturbiiniga. Auruturbiiniga ühendatud alternaatorit nimetatakse turbogeneraatoriks (joon. 474). Auruturbiini tiirude arv minutis on väga suur. Sel põhjusel ühendatakse auruturbiiniga kahe poolusega alternaatoreid, mille



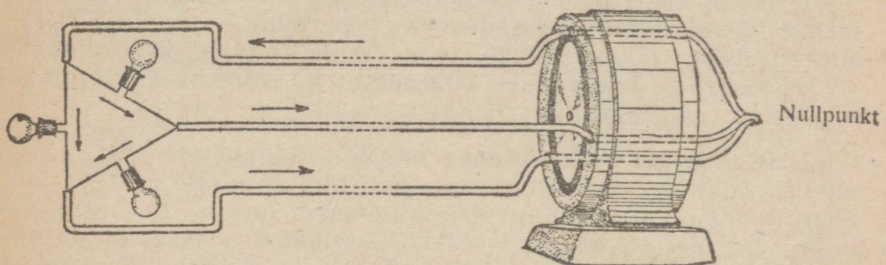
Joon. 474. Turbogeneraator: G — generaator; A — auruturbiin; E — ergutusdünamo.

rootor teeb 3000 tiiru minutis. Veeturbiin tiirleb palju aeglase-
malt ja sellega ühendatakse mitmepooluselisi alternatoreid.

Alternaatoreid muundab mootori mehaanilist tööd elektri-
energiaks.

§ 203. **Kolmefaasise voolu mõiste.** Kolmefaasine vool kuju-
tab endast kolme iseseisvat vahelduvvoolu, mis saadakse ühest
masinast — kolmefaasisest alternaatrist.

Kolmefaasine alternaatoreid sarnleb eelmises paragrahvis kir-
jeldatud ühefaasise alternaatoriga, ainult selle vahega, et
kolmefaasise alternaatoreid staatoril on üheainsa mähise asemel
kolm täiesti iseseisvat mähist — kolm „faasi“. Kolmefaasise
alternaatoreid lihtsustatud skeem on kujutatud joonisel 475. Meie



Joon. 475. Kolmefaasise alternaatoreid skeem. Staatoril on kolm mähist (neid
nimetatakse faasideks). Faaside otsad on omavahel ühenduses. Iga faasi
juurest lähevad traadid tarvitaja juurde.

joonisel algab esimene mähis (esimene faas) staatoril ülemises
osas; teine mähis algab ühe kolmandiku võrra kaugel-
mal; kolmas mähis algab järgmise kolmandiku võrra kaugel-
mal. Toodud joonisel koosneb iga faas ainult ühest traadist.
Tegelikult koosneb iga faas väga paljudest, omavahel järjes-
tiku ühendatud juhtmeist.

Tiirlev rootor tekitab iga faasis vahelduvvoolu, aga nende
elektrivoolude tekkimine ja kadumine ei toimu üheaegselt.
Kõigepealt tekib elektrivool esimeses faasis, siis — kui roo-
tor on teinud ühe kolmandiku täispöörde, s. o. kolmandiku
perioodi järel — elektrivool tekib teises faasis, ja lõpuks, kui
rootor on pöördunud veel ühe kolmandiku võrra, ka kolman-
das faasis. Siis tekib elektrivool uuesti esimeses faasis ja
nõnda edasi. Faaside otsad on omavahel ühendatud. Iga faasi
alguse juurest lähevad juhtmed tarvitajate juurde. Elektrivool

lähed tarvitajate juurde sellest faasist, kus antud momendil on kõige suurem elektromotoorne jõud, ja tuleb sealt tagasi mõlema ülejäänud faasi kaudu.

Kolmefaasisel voolul on võrreldes hariliku ühefaasise vooluga kaks paremust.

Esiteks: elektriliini ehitamisel kolmefaasise voolu ülekandmiseks kulub vähem vaske kui ühefaasise voolu liini ehitamisel (kui kolmefaasise ja ühefaasise voolu liinide kaudu kantakse üle võrdse võimsuse ja pingega elektrivoolu).

Teiseks: kolmefaasise voolu mootorite ehitus on erakordselt lihtne. Kõik tööstuses tarvitataavad masinriistad (väheste eranditega) pannakse käima kolmefaasise voolu mootoriga.

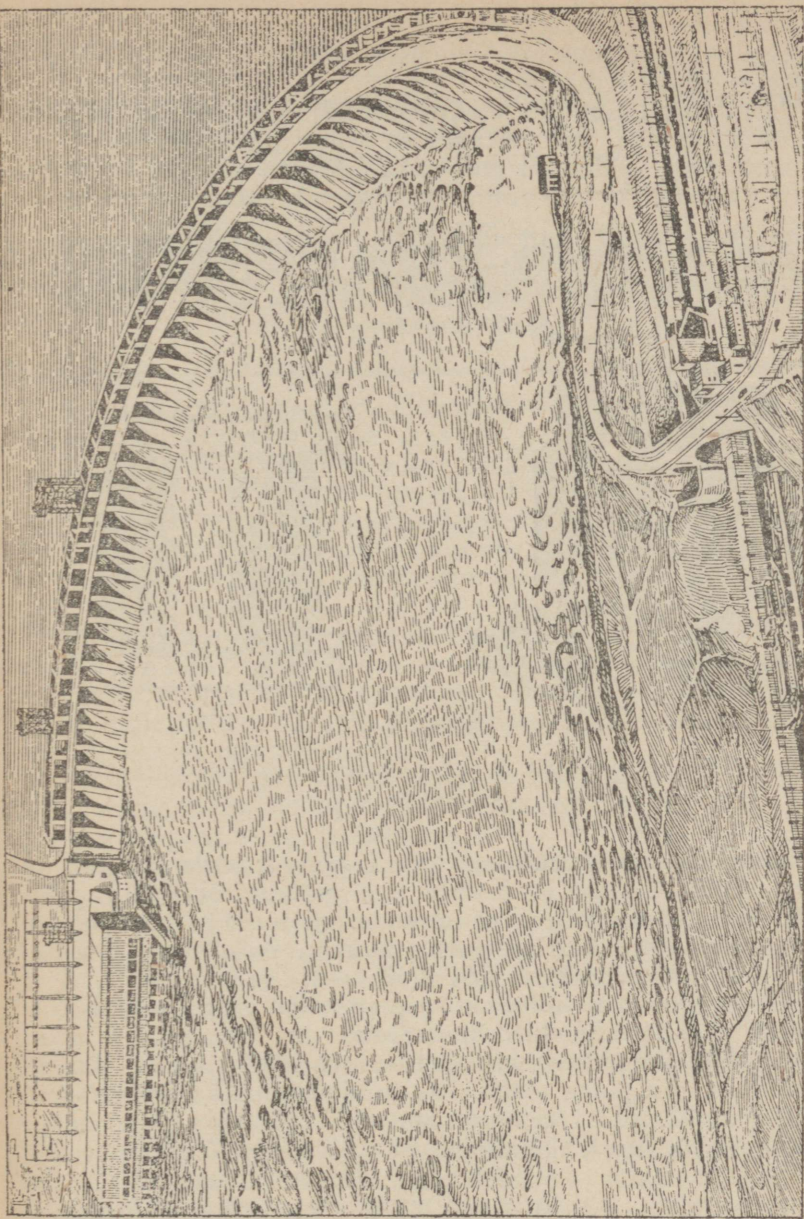
Sel kahel põhjusel tarvitatakse tehnikas eranditult kolmefaasist vahelduvvoolu, sagedusega 50 perioodi sekundis. Kõik suured elektri-jõujaamad annavad ainult kolmefaasist voolu.

Moodsate kolmefaasiste alternaatorite võimsus võib olla väga suur: üle kahesaja tuhande kilovati.

§ 204. **Energia edasiandmine suurtele kaugustele.** Elektrienergia tootmine on eriti tasuv seal, kus on olemas odavaid energiaallikaid generaatorite käitamiseks: turvas, pruunsüsi, kosed jne. Paljud võimsad elektri-jõujaamad asetsevad selliste energiaallikate läheduses, näiteks: Kašira jõujaam Moskva pruunsöelademetel läheduses, Šatura jõujaam turbarabade läheduses, Dneprogesi jõujaam Dnepri jõe karestikude kohal (joon. 476). Ainult suuremais linnades ehitatakse jõujaamu, mida käitatakse kaugemalt kohale toimetatud küttega. Näiteks Moskva linna elektriyaam (MOGES) töötab naftaküttega.

Jõujaamast peame saatma elektrienergia neisse kohtadesse, kus asuvad tarvitajad (näiteks Kašira ja Šatura jõujaamadest saadetakse elektrienergiat Moskvasse, kuna Dneprogesi elektrienergia läheb Dneprimaadele). Elektrienergia edasiandmiseks tarvitatakse õhuline (joon. 400) ja maa-aluseid kaableid (joon. 401).

Suured elektri-jõujaamad toodavad suure võimsusega elektrivoolu. Selle võimsus võib ulatuda kümnete ja koguni sadade tuhandete kilovattideni. Me teame, et elektrivoolu võimsus võrdub elektrivoolu tugevuse ja pingega korrutisega. Suure võimsusega elektrivoolu võib edasi anda kahel viisil: kas suure voolutugevusega madala pingega juures või väikese voolutugevusega kõrge pingega juures. Ent suure voolutugevuse jaoks vajaksime jämedaid juhtmeid, millede valmistamiseks



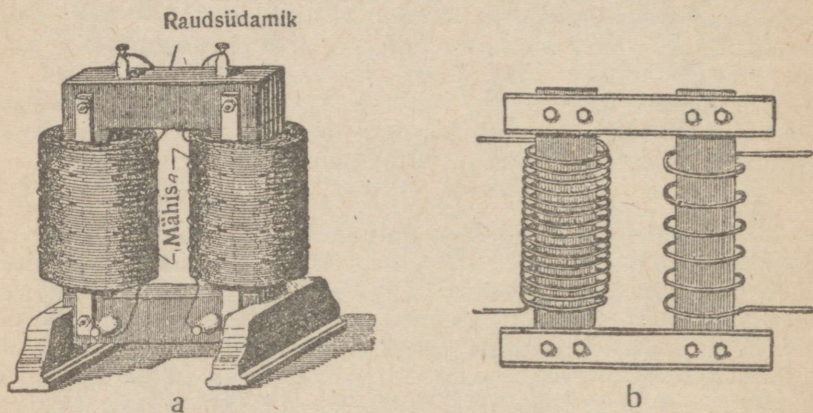
Joon. 476. Dneprogesi jõujaam.

peaksime kulutama palju kalihinnalist vaske. Peale selle ajaks tugev elektrivool juhtmed kuumaks ja elektriliinis läheks palju energiat kasutult kaduma.

Palju kasulikum on elektrienergiat üle kanda väikese voolutugevusega, aga võimalikult kõrge pinge juures.

Meil NSV Liidus on elektri-kaugliinide üldiselt tarvitata-vaks pingeks. 110 000 volti. Tehakse ettevalmistusi ülemine-kuks veel kõrgemale pingele, nimelt 220 000 voldile.

§ 205. **Transformaator.** Eelmisest paragrahvist nägime, et elektrienergia edasiandmine jõujaamadest tarvitamiskohtadele



Joon, 477. Transformaator: a — transformaator; b — transformaatori piltskeem.

on kõige kasulikum suurema pinge juures. Mida kõrgem on pinge, seda väiksem on kasutu energiakulu elektriliini juht-meis. Ent alternaatorid ei anna elektrivoolu pingega üle 15 000 voldi. Järelikult me peame kuidagiviisi tõstma generaatori poolt antava elektrivoolu pinget.

Teiselt poolt ei kõlba kõrgepingevool elektriahjude küt-miseks, elektervalgustuse otstarbeks jne. Me peame aland-ama kõrgepingeliini juhtmeist tuleva elektrivoolu pinget. Vahelduvvoolu pinge tõstmiseks ja alandamiseks tarvitatakse transformaatoreid. Transformaatori töö põhineb elektromag-netilise induksiooni nähtustel.

Transformaator koosneb suletud raudsüdamikust, mille ümber on kaks mähist (joon. 477). Uks mähis — primaar-

mähis — ühendatakse vahelduvvoolu allikaga. Teine mähis — sekundaarmähis — ühendatakse tarvitajaga.

Primaarmähist läbiv vahelduvvool magnetiseerib vahelduvalt transformaatori raudsüdamikku. Südamikus tekkivad magnetilised tungjooned lõikavad sekundaarmähise keerdusid ja tekitavad neis indutseeritud elektromotoorset jõudu.

Pinge transformaatori sekundaarmähise otste vahel on nii mitu korda suurem pingest primaarmähise otste vahel, kui mitu korda on sekundaarmähisel keerdusid rohkem kui primaarmähisel.

Kui transformaatori sekundaarmähisel on keerdude arv suurem kui primaarmähisel, siis on pinge sekundaarmähise kontaktide vahel kõrgem primaarmähise kontaktide pingest. Selle-eest on elektrivoolu tugevus sekundaarmähises väiksem kui primaarmähises. Selline transformaator tõstab elektrivoolu pinget: ta muudab suure voolutugevusega madalapingelist elektrivoolu väiksema voolutugevusega kõrgemapingeliseks elektrivooluks.

Kui transformaatori sekundaarmähises on vähem keerdusid kui primaarmähises, siis alandab selline transformaator elektrivoolu pinget: ta muudab väikese voolutugevusega kõrgepingelist elektrivoolu suurema voolutugevusega madalamapingeliseks elektrivooluks.

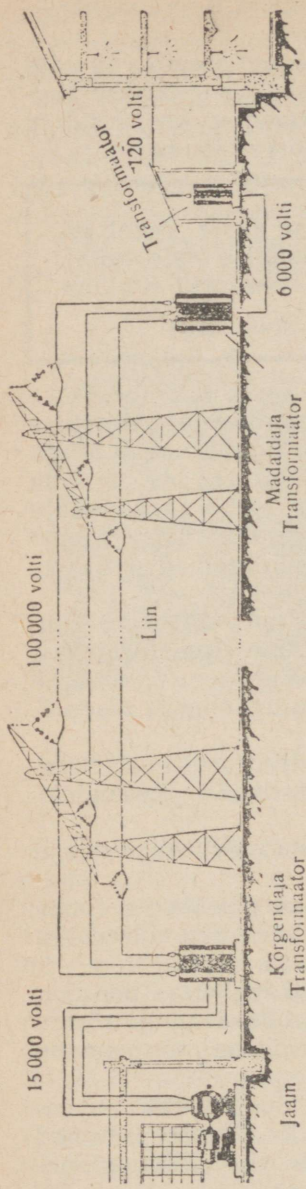
Suure transformaatori südamik ja mähised asetsevad tavaliselt masinaõliga täidetud raudkastis. Masinaõli ülesandeks on isoleerimine ning jahutamine.

Transformaatori ehitus on lihtne, ta töötab tõrkumisteta ega vaja alalist järelevalvet.

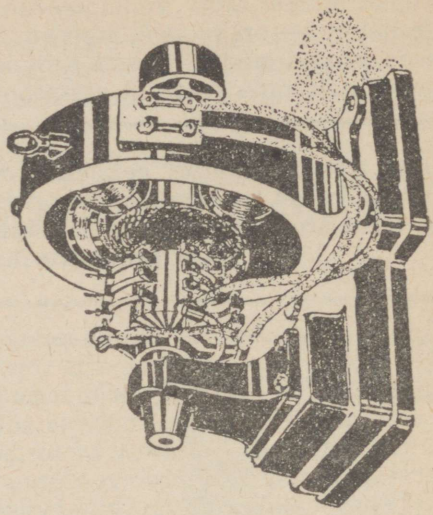
Kolmefaasise voolu transformeerimiseks ehitatakse transformaatoreid kolme primaarmähise ja kolme sekundaarmähisega või lülitatakse igasse faasi üks transformaator.

Elektrienergia edasiandmisel suurtele kaugustele paigutatakse alternaatori ja elektriliini vahele võimas pingettõstev transformaator. Selliseid transformaatoreid on jõujaamade läheduses lahtise taeva all.

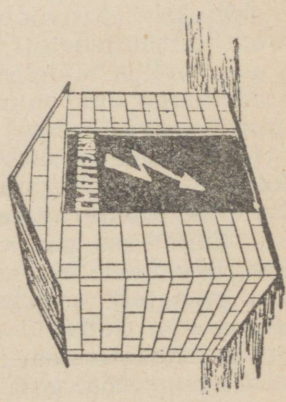
Pärast pingettõstvat transformaatorit algab elektri edasiandmise liin. Tavaliselt on kõrgepingeliiniks õhuliin. Juhtmed kinnitatakse raudpostidele kett-isolaatorite abil. Kõrgepingeliini pikkus ületab sageli 200 kilomeetrit.



Joon. 478. Elektri edasiandmise skeem.



Joon. 480. Dünamo.



Joon. 479. Rajooni-transformaatori putka.

Tarvitamiskohas peab elektrivoolu pinget alandama. Seda tehakse kahes järgus: kõigepealt tsentraalses alajaamas alandatakse pinge transformaatrite abil 110 000 voldilt 6000 voldile.

Siis juhitakse 6000-voldise pingega elektrivool maa-aluste kaablite kaudu rajooni-transformaatoritesse, mis muudavad elektrivoolu pinge omakorda 6000 voldilt 380 kuni 110 voldile, olenevalt valgustusvõrgus kasutatavast pingest. Rajooni-transformaatoritest juhitakse vool hoonetesse (joon. 478). Rajooni-transformaatorid asetsevad akendeta kiviputkades, millede terasustel on pealkiri: „Ettevaatust, elukardetav!“ (joon. 479).

Ulesanne 1. Rajooni-transformaatori võimsus on 240 kW. Primaarpinge on 6000 volti. Sekundaarpinge on 120 volti. Leida elektrivoolu tugevus primaar- ja sekundaarmähistes.

Vastus: Primaarvoolu tugevus on 40 amprit; sekundaarvoolu tugevus on 2000 amprit.

Ulesanne 2. Raadiovastuvõtjas on transformaatror, millel on kaks sekundaarmähist; üks sekundaarmähis annab 4-voldist pinget, teine — 400-voldist pinget. Primaarpinge on 120 volti. Primaarmähise keerdude arv on 180. Leida mõlema sekundaarmähise keerdude arv.

Vastus: 6 keerdu ja 600 keerdu.

§ 206. Alalisvoolu generaator (dünamo). Paljudel juhtudel on tingimata vajalik alalisvool: näiteks transpordivahendeis, raadiojaamades, akumulaatorite laadimisel ja alumiiniumi ning vase tootmisel.

Alalisvoolu andvat masinat nimetatakse dünamoks.

Dünamo koosneb staatorist, millele on kinnitatud elektromagnetid, ja rootorist, mille ümber on keritud mähis (joon. 480). Rootor saab oma liikumisenergia mingisuguselt mootorilt.

Dünamo staatorile kinnitatud elektromagnetid on liikumatud, kuna rootori mähis tiirleb koos rootoriga. Alternaatoris oli lugu vastupidine: mähis asetseis staatoril ja oli liikumatu, kuna rootori elektromagnetid tiirlesid.

Tiirleval rootoril asetsevad juhtmed lõikavad elektromagnetite tungjooni ja rootori mähises indutseeritakse elektromotoorne jõud.

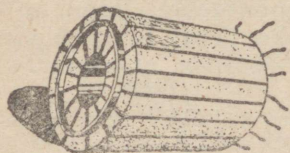
See indutseeritud elektromotoorne jõud on vahelduv. Kui rootori juhe läheb põhjapooluse alt läbi, tekib juhtmes teatavasunaalne elektromotoorne jõud. Kui juhe läheb läbi lõunapooluse alt, tekib juhtmes vastassunaalne elektromotoorne jõud.

Järelikult tekitab rootori tiirlemine elektromagneti pooluste vahel rootori mähises vahelduvvoolu. Et muuta seda

vahelduvvoolu alalisvooluks, tarvitatakse nõndanimetatud kommutaatorit.

Lihtsaimaks kommutaatoriks on mitmest osast koosnev vaskrõngas (joon. 481); üksikud osad on üksteisest eraldatud vilgukivist vahedega. Kommutaator tiirleb koos rootorivõlliga.

Rootori ülemistelt ja alumistelt juhtmetelt tulevate traatide otsad on joodetud kommutaatori külge. Kommutaatorit puudutavad kaks sõepulka, mida nime-



Joon. 481. Kommutaator.

tatakse harjadeks. Harjad asetsevad vastavais toendites. Harjad libisevad mööda tiirleva kommutaatori pinda.

Harjade asetus on selline, et momendil, kui voolu suund juhtmes muutub, astub selle juhtmega ühendatud kommutaatori lest (lamell)

kontakti teise harjaga. Seetõttu on ühes harjas voolu suund alati rootorilt tarvitamiskoha poole, kuna teises harjas voolu suund on alati tarvitamiskoha poolt rootori poole.

Tarvitamiskohad saavad dünamolt alalisvoolu.

Staatori elektromagnetite mähis saab elektrivoolu dünamolt eneselt.

Dünamomasinad annavad mitmesuguse pingega elektrivoolu. Pinge võib olla 4 voldist 6000 voldini. Dünamomasina võimsus tavaliselt ei ületa 1000 kilovatti.

Dünamomasinaid tarvitatakse laialdaselt võrgu toitmiseks ja akumulaatorite laadimiseks lennukitel, autodel, raudteerongidel ja allveelaevadel.

Dünamot võib tarvitada ka mootorina: selleks tuleb dünamosse juhtida mõne teise allika alalisvoolu.

§ 207. **Juhtme liikumine magnetiväljas.** Katsume vastata küsimusele: kuidas võib dünamomasin täita elektrimootori aset? Selle küsimuse selgitamiseks me peame teadma, mis toimub juhtmega, mida läbib elektrivool, kui see juhe asetseb magneti läheduses.

Võtame hobuserauakujulise magneti. Selle pooluste vahel ripub painduvate elektrijuhtmete külge kinnitatud vask- või alumiiniumtraadi tükk (joon. 482). Lastes traadist läbi alalisvoolu, me näeme, et traat kaldub kõrvale; kui muudame elektrivoolu suunda, siis traat kaldub kõrvale vastassuunas.

Magnet mõjub teatava jõuga juhtmesse, mida läbib elektrivool. See jõud on seda suurem, mida tugevam on elektrivool.

Seda, et magnet peab mõjuma elektrivoolusse, võis juba arvata siis, kui oli juttu elektrivoolu mõjust magnetisse. Mõju ja vastumõju seadusest (peatükk VIII, § 114) järeldub, et kui elektrivool mõjub magnetisse, siis ka magnet peab avaldama mõju elektrivoolusse. Nii see tõepoolest ongi.

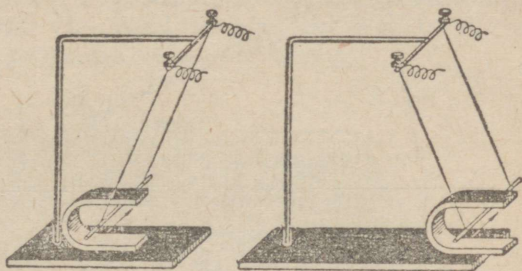
Magneti mõjule elektrivoolusse põhinebki elektrimootorite ehitus. Alljärgnevalt jutustame alalisvoolu mootorist ja kolmefaasisest asünkroonmootorist.

§ 208. **Alalisvoolu mootor.** Alalisvoolu mootori (joon. 483) ehitus ei erine milleski dünamomasina ehitusest.

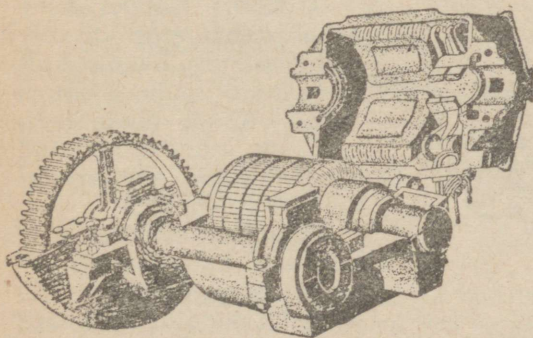
Elektromagnetite mähiseid ja rootori mähist läbib mõne alalisvoolu allika elektrivool. Elektromagnetid mõjuvad teatava jõuga rootori

mähiseid läbivasse elektrivoolu ja rootor hakkab tiirlema.

Käivitamisel reostaat lülitatakse alati järjestikku alalisvoolu mootoriga. Käivitamise alguses, kui mootor veel ei tiirle, peab reostaadi takistus olema täielikult sisse lülitatud. Niipea kui mootor



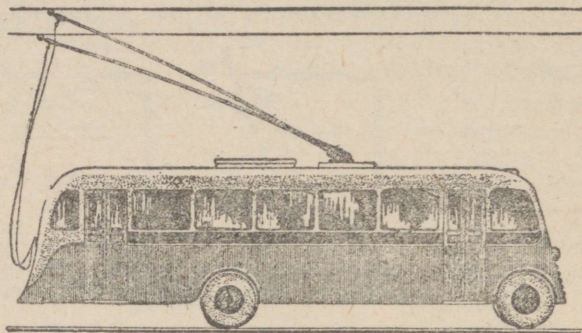
Joon. 482. Magneti mõju traadisse, mida läbib elektrivool.



Joon. 483. Trammivaguni alalisvoolu mootor; mootori ülemine pool on üles tõstetud.

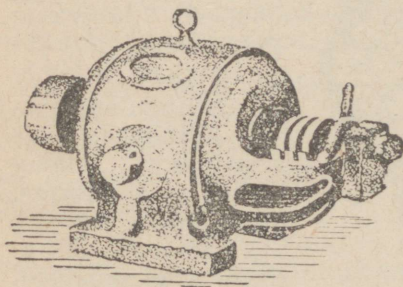
ühendatakse võrguga vinnakülitiga, hakkab rootor tiirlema. Sedamööda, kuidas rootori tiirlemiskiirus suureneb, vähendatakse reostaadi takistust. Lõpuks, kui mootor on saavutanud ettenähtud tiirlemiskiiruse, lülitatakse reostaat täiesti välja: mootor on siis otseühenduses võrguga.

Alalisvoolu mootorid hakkavad kergesti tiirlema. Sel põhjusel neid kasutatakse laialdaselt transpordivahendite liikumapanemiseks: alalisvoolu mootorite jõul liiguvad elektrirongid,



Joon. 484. Trolleibus.

trolleibused, allmaaraudtee-rongid ja trammivagunid. Alalisvool juhitakse mootori juurde mööda õhuliini, ta läbib liikuva kontakti, kaitsmed, reostaadi ja mootori ning läheb tagasi jõujaama rataste ja rööbaste kaudu (nõnda on see mitmesuguste elektri-raudteede juures) või teise liikuva kontakti ja teise õhuliinijuhtme kaudu (nagu trolleibustel) (joon. 484).



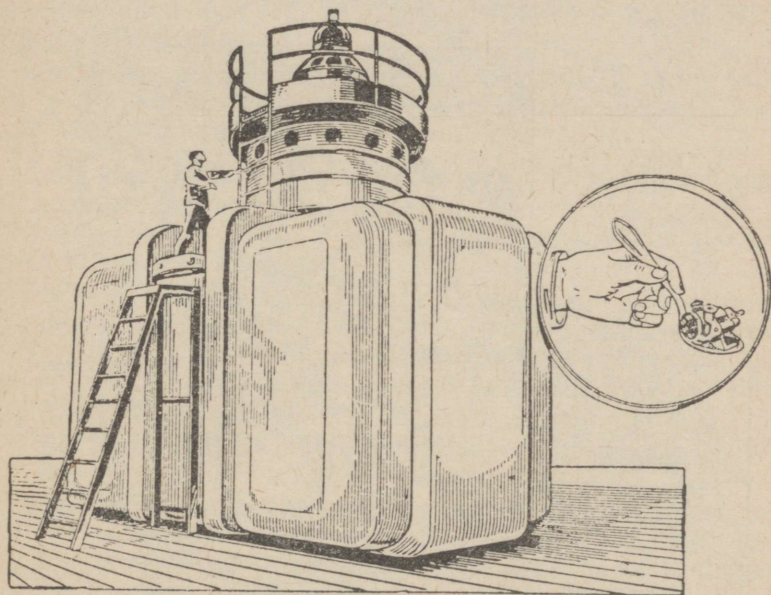
Joon. 485. Kolmefaasine asünkroonmootor.

§ 209. **Kolmefaasine asünkroonmootor.** On olemas mitmesuguseid kolmefaasise voolu mootori tüüpe. Kõige enam levinud on nõndanimetatud kolmefaasine asünkroonmootor (joon. 485).

Asünkroonmootor koosneb kahest osast — staatorist ja rootorist. Liikumatul staatoril on kolmefaasine mähis, mis on ühendatud kolmefaasise

voolu võrguga. Rootoril on samuti mähis, kuid seda ei ühendata mingisuguse vooluallikaga. Kui mootor töötab, siis on rootori mähise juhtmed omavahel ühendatud. Staatori mähist läbiv kolmefaasine vahelduvvool tekitab muutuva magnetivälja, mille tungjooned lõikavad rootori mähist ja kutsuvad selles esile induksioonvoolu. Rootori mähises tekkinud induksioonvoolusse mõjub staatori magnetiväli. See mõju paneb rootori tiirlema.

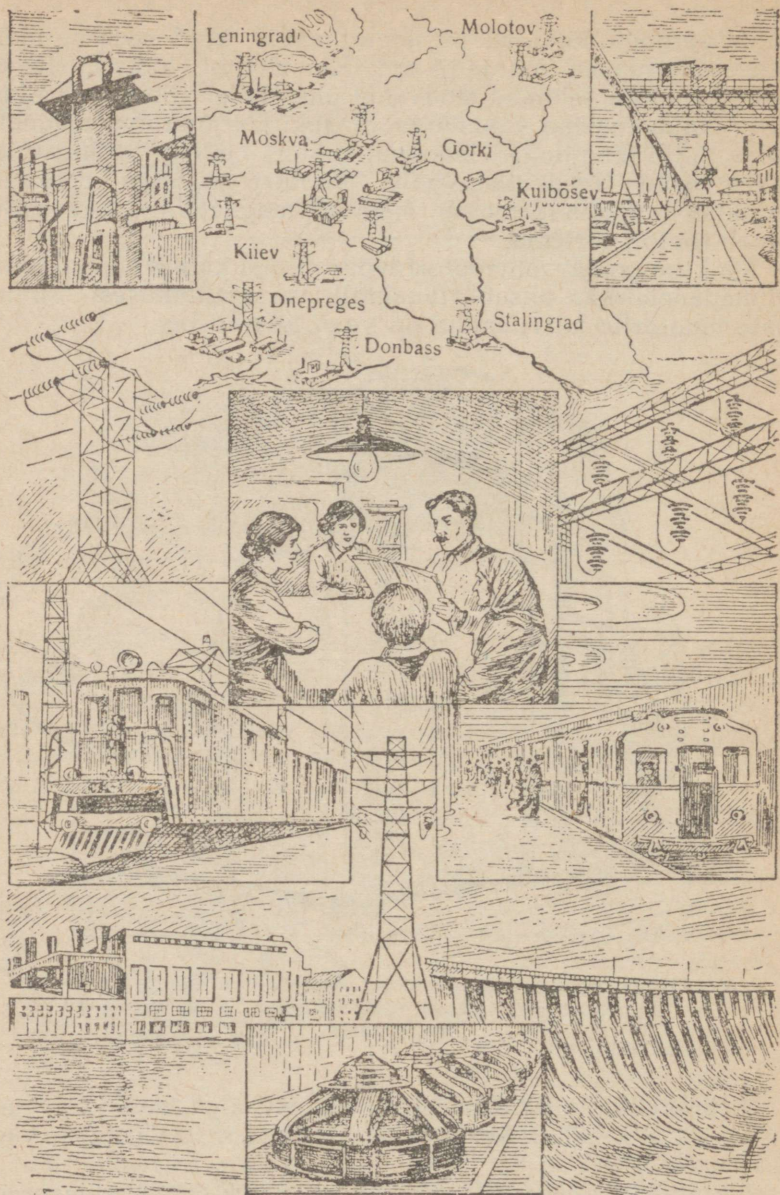
Väikese asünkroonmootori (võimsusega kuni 20 hobujõudu) käimapanemiseks piisab vinnaklüliti sisselülitamisest; suuremate mootorite käivitamine on veidi keerulisem.



Joon. 486. Võimas asünkroonmootor. Selle kõrval sõõris on kujutatud maailma kõige väiksem elektrimootor. Ta mahub vabalt teelusikasse.

Asünkroonmootorid on lihtsa ehitusviisiga, nad on kerged käsitseda ja kindlad. Seetõttu tarvitatakse neid tööstuses väga laialdaselt.

Ehitatakse kõige mitmekesisema suuruse ja võimsusega asünkroonmootoreid, alates ventilaatori-mootoreist võimsu-



Joon. 487. Maa elektrifitseerimine.

sega $\frac{1}{20}$ hobujõudu ja lõpetades määratu suurte mootoritega, millede võimsus ulatub mitmekümne tuhande hobujõuni (joon. 486). Asünkroonmootori puudumiks on asjaolu, et teda on raske liikuma panna. Seetõttu ei kõlba asünkroonmootorid trammivagunite, trolleibuste, elektrirongide ja teiste elektrisõidukite liikumapanemiseks.

Lõpetades seda elektrimasinate lühikest kirjeldust, märgime veel, et elektrimasinad on lihtsad, odavad, vastupidavad, hädahoitud ja väga kindla ning kerge käsitsusviisiga.

Elektrimasin võib töötada maapinnal, õhus, õhutühjas ruumis või veepinna all. Elektrimasina töö ei tekita mustust ega riku õhku, nagu seda teevad sisepõlemootorid ja katlaga ning koldega aurumasinad.

Elektrimasinate tõhutegur on väga kõrge: 60 kuni 98 protsenti, olenevalt masina suuruselt. Mida suurem on masin, seda suurem on ta tõhutegur.

§ 210. **Elektrifitseerimine.** Elektrienergia on kõige kergemini käsitsetavaks energialiigiks.

Kõrgepingeliinide kaudu võib elektrienergiat edasi anda sadade kilomeetrite kaugusele.

Elektrienergiat võib väga kergesti muuta teisteks energialiikideks — mehaaniliseks energiaks, valgusenergiaks, keemiliseks energiaks jne. Tsentraalse keskjõujaama poolt toodetavat määratu suurt elektrienergia hulka on kerge jaotada paljude tarvitajate vahel.

Elektervalgustus on kõige ökonoomsem, mõnusam ja ohutum valgustusviis.

Elektrimootorid on kõige kindlamad, kõige ökonoomsemad ja kõige kergemini käsitsetavad kõigist mootoriliikidest. Seetõttu kasutatakse nüüd vabrikuis ja tehastes eranditult elektrimootoreid.

Elektrijõul töötab väga palju sõidukiliike: elektri-raudteed, allmaarongid, trammid ja trolleibused.

Elektrienergiat kasutatakse laialdaselt ka põllumajanduses. Elektrit tarvitatakse seal põllutöömasinate liikuma panemiseks, lehmälüpsmiseks, võivalmistamiseks jne.

Kolmanda viisaastaku kohaselt pidi Nõukogude Liidu elektrijaamade koguvõimsus kahekordistuma.

Neljanda viisaastaku jooksul peab täielikult taastatama elektrijaamad okupatsiooni all olnud rajoonides ja käiku las-

tama kõigis NSV Liidu elektrijaamades 11 700 000 kilovatti, viies elektrijaamade kindlaksmääratud võimsuse 1950. aastal 22 400 000 kilovatini.

Meie sotsialistliku kodumaa tööstuse ja rahvamajanduse arenemine käib käsikäes elektri jaamade võrgu arenemisega. Kommunistlikus ühiskonnas peab elektri kasutamine kasvama enneolematult suureks. Vladimir Iljitš Lenin on väljendanud seda mõtet järgmiste sõnadega:

„Sotsialism on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine.“

Kolmeteistkümnes peatükk.

HÄÄL.

(Põhiteadmisi akustikast.)

§ 211. **Hääled looduses.** Meid ümbritsevad kõige mitmekesisemad esemed: me ei saa liikuda paigalt ilma mõnd eset puudutamata või liigutamata. Kui me kõnnime põrandal, painduvad põrandalauad kergelt me jalgade all, nad hakkavad võnkuma. Kuigi me püüame kruusi asetada lauale väga ettevaatlikult, hakkavad kruus ja laud ikkagi tasakesi võnkuma. Metsloomad puudutavad oma jooksul puid ja puuksi, pannes neid kõikuma. Kui aga jooksmas on mõni suurem loom, siis maa „müdiseb“ tema sammudest. Sellised võnked on harilikult silmale nähtamatud, ent nad on siiski olemas. Füüsika ja tehnika tunnevad seadmeid isegi kõige tühisemate võngete kindlakstegemiseks. Äärmiselt tundliku aparadi abil võib näiteks tõestada, et otstega tugedele toetuv terasrööbas hakkab võnkuma, kui puhume selle rööpa keskohta.

Õhk ümbritseb meid igast küljest. Me elame nagu õhuookeanis. Iga meie liigutus paneb õhku liikuma. Pannes võnkuma mõnd keha — näiteks maapinda, puuksi, lauda jne. — me paneme ühtlasi võnkuma õhku, sest õhk puutub kõikide esemetega kokku ja liigub ühes nendega. Õhuvõnked tekivad väga kergesti. Esilekutsutud õhuvõnkumine levib õhus igas suunas, nõrgeneb aegamööda ja kaob siis.

Õhk võib samaaegselt edasi anda kõige mitmekesisemaid võnkumisi, mis on suunatud mitmesse suunda. Iga võnkumine levib seejuures nii, nagu polekski olemas teisi võnkumisi.

Inimesel ja enamikul loomadel on erilised organid, mis on eriti tundlikud õhuvõnkumiste suhtes. Neiks organeiks on kuulmisorganid ehk kõrvad. Õhuvõnked satuvad kõigepealt kõrva väljapoole ulatuvasse ossa ja panevad siis võnkuma kuulmisorgani mitmesugused omavahel ühendatud osad.

Kui me kuuleme häält, siis tähendab see, et kusagil on toi-

munud võnkumine, mis on jõudnud meieni ja on pannud võnkuma meie kuulmisorgani seesmised osad. Kuulmisorgani seesmiste osade võnkumised ärritavad kuulmisnärve, mis lähevad meie peaaegu, kus tekibki see mulje, mida me tunnetame, kui kuuleme kõuekärgatust, suurtükipauku, raudteerongi müra, muusikat, inimese kõnelemist, mändide mühinat tuules, sääskede suminat jne.

Hääl — see on meie kõrva poolt tajutav õhuvõnkumine.

Igapäevases elus ja meid ümbritsevas looduses toimub järjest selliseid võnkumisi: me elame häälte maailmas. Harilikult me oskame hästi vahet teha kuuldud häältel, kuna mitmesugustest põhjustest olenevad võnked erinevad üksteisest ja me oleme õppinud neid üksteisest eraldama.

Me eraldame ühe isiku häält teise isiku häälest ja ühte sõna teisest sõnast. Meie kõrv eraldab isegi inimhääle kõige peenemaid varjundeid, mis lubavad teha järeldusi inimese hingeliste läbielamuste suhtes.

Õhuvõnkumised mängivad inimese elus määratu suurt osa, sest nad võimaldavad inimesele ülihead sidet teiste inimeste ja ümbritseva maailmaga.

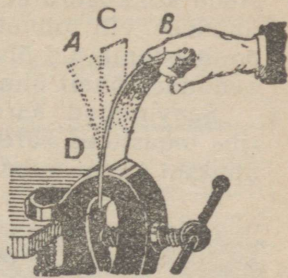
§ 212. **Hääleallikad. Häälevõnked. Keha, mille võnkumine on hääle põhjuseks, nimetatakse hääleallikaks või helisevaks kehaks.** Hääleallikaks sobivad eriti hästi elastsed kehad, nagu näiteks kruustangide vahel kinnihoitud teraseriba, kuljus, puust lauake, muusikariista keel või pingulitõmmatud membraan (näiteks trummil).

Mitte ainult tahked kehad, vaid ka vedelikud ja gaasid võivad olla hääleallikaiks. Vesi sageli heliseb torustikus, samuti võib huuata õhk korstnas või petrooleumiahjus. Kõigis puhkpillides on hääleallikaks võnkuv õhk.

Et saada selgemat ettekujutust heliseva keha võnkeist, teeme järgmise katse. Võtame kitsa teraseriba, näiteks puusepa vibusaelehe, ja kinnitame selle üht otsa pidi kruustangide vahele. Painutame saelehe vaba otsa kõrvale ja laseme ta siis lahti; saeleht võngub (joon. 488).

Vaatame, kuidas need võnked tekivad. Oletame, et saelehe ots on alles lahkunud punktist B, kust ta on läinud oma tasa-

kaaluasendisse, see on punkti C (võib kergesti tähele panna, et saeleht läbib tasakaaluasendit kõige suurema kiirusega). Punktist C liigub saeleht inertsil mõjul samas suunas edasi ning läheb punktini A, kust ta tuleb tagasi. Siis võnked korduvad. Nad kestaksid igavesti, kui saag ei kohtaks oma liikumisel mingisuguseid takistusi. Tegelikult aga on iga järgmine võnge eelmisest võnkest veidi lühem ja nõrgem.



On oluline teada, kuidas arvutatakse elastse riba (või mõne muu võnkuva keha) võnkeid. Nimelt loetakse üheks täisvõnkeks elastse riba liikumist tasakaaluasendist C äärmisse asendisse B ja sealt tagasi vastasasendisse A ning tasakaaluasendisse C (s. o. teed CBCAC). Pool täisvõnget nimetatakse lihtvõnkeks. On selge, et riba liikumine ühest äärmisest asendist teise, see on tee AB, vastab ühele lihtvõnkele.

Joon. 488. Elastse riba võnked: DC — riba tasakaaluasend; DA ja DB — riba äärmised asendid. Tee CBCAC (või ABA) vastab ühele täisvõnkele. Tee AB (või CAC) vastab ühele lihtvõnkele.

Kella sekundiosuti abil püüame lugeda saelehe võngete arvu näiteks 15 sekundi jooksul. Kui saeleht on õhuke ja umbes $\frac{3}{4}$ meetrit pikk, siis on seda kerge teha, kuna võngete sagedus ei ole siis suur — ligikaudu üks täisvõnge sekundis. Seejuures me ei saa mingit hääleaistingut.

Nüüd kinnitame saelehe pooles pikkuses kruustangide vahele. Võngete sagedus on nüüd 4 korda suurem ja nüüd on juba raskem neid lugeda. Häält ei ole ikka veel kuulda.

Kinnitame nüüd saelehe nii, et vaba ots oleks ainult üks neljandik ta pikkusest. Võnkesagedus suureneb veelgi 4 korda ja vastab 16 võnkele sekundis. Me kuuleme tumedat, väga „madalat“ häält.

Peame meeles:

Võnkesageduseks nimetatakse võngete arvu sekundis.

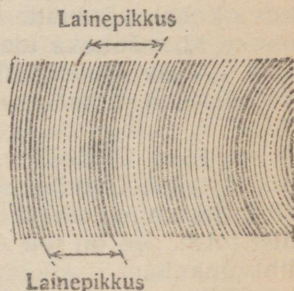
§ 213. **Häälelained.** Oletame, et ühel teataval momendil meie võnkuv riba liigub vasakule. Seejuures ta paneb liikuma

vasakul pool leiduvat õhku ja tihendab seda. Tihendatud õhu rõhumine on suurem tihendamata õhu rõhumisest; seetõttu annab tihendatud õhu kiht teatava tõuke järgmisele, veel vasemale õhukihile, mis tiheneb nüüd omakorda. Samal ajal esimene kokkusurutud kiht paisub ja saavutab uuesti normaal-tiheduse. Nii toimub see ka järgmiste kihtidega: elastse riba poolt sünnitatud õhutihenemine levib kiiresti vasakule poole, kandudes ühelt õhukihilt teisele.

Saavutanud äärmise vasakpoolse asendi, alustab elastne riba tagasiteed paremale. Seejuures saab vasakul pool asetsev õhukiht enam vaba ruumi: õhk hõreneb seal ja ta rõhumine



Joon. 489. Häälelainete piltlik kujutus ühe teatud momendi kohta. Peened jooned näitavad hõrenemist; jämedad jooned näitavad tihenemist. Iga joont tuleb mõttes pikendada nii, et ta moodustaks ringi, mille keskel on helisev keha. Tegelikult on lained kerapinnakujulised.



Joon. 490.
Häälelaine pikkus.

on nõrgem normaal-tihedusega õhu rõhumisest. Vasemal asetsev naaberkiht saab võimaluse paisuda hõrenenud esimese kihi arvel ja hõreneb omakorda. Sama nähtus kordub ka kaugemal: võnkuva riba läheduses tekkinud õhuhõrenemine levib kiiresti vasakule sama teed, mida mööda kandus eespool kirjeldatud tihenemine.

Hõrenemisele järgneb uus tihenemine, siis jälle hõrenemine ja nõnda edasi. Seda hõrenemiste ja tihenemiste vaheldust kujutab piltlikult joonis 489.

Õhus levivaid tihenemisi ja hõrenemisi nimetatakse häälelaineiks.

Häälelained levivad helisevalt kehalt igas suunas.

Nad on olemas isegi sel juhul, kui meie kõrv ei taju hääle-
aistingut. Nii oli see meie katsetel saelehega, kui võetud pik-
kus oli liiga suur ja võnkesagedus liiga väike.

On kindlaks tehtud, et inimese kuulmisorgan tajub hääle-
laineid ainult siis, kui nende võnkesagedus (mis vastab hääle-
allika võnkesagedusele) on 16 ja 20 000 võnke vahel sekundis.

**Ühe tihenemise ja ühe hõrenemise ulatust kokku nime-
tatakse lainepikkuseks.**

Lainepikkus on kujutatud joonisel 490. Väikese sagedu-
siga häälele vastavad pikad lained (näiteks mõne meetri
pikkused). Neid hääli nimetatakse „madalaiks“. Suure sage-
dusega häälele vastavad lühikesed lained (näiteks mõne
sentimeetri pikkused). Neid hääli nimetatakse „kõrgeiks“.

§ 214. **Hääle edasiandjad.** Häälelained võivad levida mitte
ainult õhus, vaid ka igas teises keskkonnas — maapinnas, vees
jne. Paljud meie hulgast on kogenud, et asetades kõrva maa-
pinnale võib kuulda kaugel jooksva hobuse kabjaplagnat, või
ka seda, et pannes kõrva raudteerööpa peale võib kuulda
kaugelt rongimürinat. Kõik, kes oskavad sukelduda, teavad,
kui selgesti kostab vee all kivi pörkamine kivi vastu. Koputust
keskküttetorule on kuulda terves majas.

Hääle ei saa levida tühjas ruumis.

Seda teeme kindlaks järgmise katsega: paneme elektrikõlisti
õhukindla kupli alla ja hakkame õhku kupli alt välja pum-
pama; kellahelin muutub üha nõrgemaks.

**Heliseval kehal on mehaanilist energiat; ta annab seda
energiat järjest ära teda ümbritsevale keskkonnale.**

Üks osa seda energiat kulub häälelainete tekitamiseks
ümbritsevas keskkonnas; teine osa kulub ainult selle peale,
et panna keskkonna molekulid korrapäraselt liikuma (umbes
nii, nagu liigub sääseparv vaikselt suveõhtul). Selline korra-
pärasu liikumine ei tekita häält. Nende liikumiste tekitamiseks
kulutatud energia „absorbeeritakse“ keskkonna poolt.

Kui keskkond annab häält hästi edasi, siis tähendab see, et ta neelab ainult väikese osa teda läbivast hääle-energiast. Headeks hääle edasiandjaks (võiks öelda ka: juhtideks) on õhk, raud, vesi ja veel paljud teised kehad. Halbadeks hääle edasiandjaks (ehk häält-isoleerivaiks kehadeks) on kehad, mis koosnevad üksikuist võrdlemisi pehmeist teradest või kiududest, millele vahel on õhku. Sellisteks kehadeks on näiteks vilt ja korgipurü. Igaüks teab, et karjades pehme padja sisse, mis on surutud vastu nägu, ei ole peaaegu üldse kuulda häält.

Kui hoone vaheseinad on tehtud häist hääleisolaatoreist, siis kostab kõne vaevalt ühest toast teise, seinaga eraldatud tuppa.

§ 215. **Häälelainete levimiskiirus.** Häälelained levivad ühes või teises keskkonnas kindla kiirusega, mis oleneb selle keskkonna omadustest.

Häälelainete levimiskiirus õhus on umbes $\frac{1}{3}$ kilomeetrit sekundis.

Kui õhutemperatuur tõuseb, suureneb veidi häälelainete kiirus. Moodsate kiiremate lennukite — hävitajate — kiirus on hääle kiirusest ainult kaks korda väiksem. Suurtükimürsud ja püssikuulid jooksevad palju kiiremini kui häälelained õhus: kuulist tabatud sõdur ei kuule veel pauku, sest kuul jõuab temani kaks korda kiiremini kui hääl.

Vees levivad häälelained tunduvalt suurema kiirusega kui õhus; tahketes kehaes on häälelainete kiirus veel suurem.

Häälelainete levimiskiirust nimetatakse tavaliselt (lühiduse pärast) hääle kiiruseks.

Küsimus 1. Jälgime kaugelt jaamale lähenevat vedurit. Me näeme esmalt signaalvile torust väljuvat aurupilve ja alles pärast seda kuuleme vilet. Seletada seda.

Küsimus 2. Välgu puhul tekib väga tugev õhuvapustus. Mispärast me kuuleme müristamist alati hiljem kui näeme välku?

Küsimus 3. Missuguse vaatlusega saab tõestada, et pikad ja lühikesed lained levivad õhus võrdse kiirusega?

Ulesanne 1. Müristamist oli kuulda 5 sek. pärast välgu sähvatust. Kui kaugel sähvas pikne?

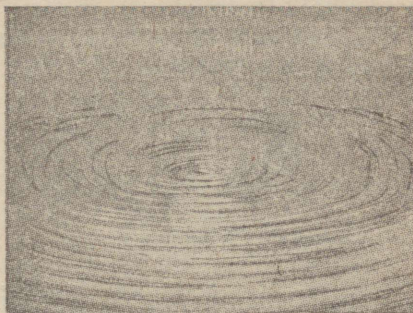
Vastus: Umbes 1,7 km kauguses.

Ulesanne 2. Vaatleja kuuleb suurtükipauku 8 sek. pärast lasu välgatamist. Kaugus suurtüki ja vaatleja vahel on 2,72 km. Leida hääle kiirus.

Vastus: 340 meetrit sekundis.

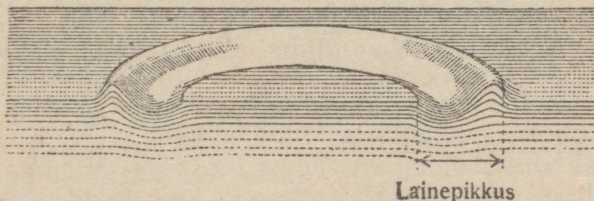
§ 216. **Lained veepinnal.** Häälelained on mõnes suhtes (kuid mitte igas suhtes) sarnased lainetega veepinnal. Kuna veepinnal tekkivate lainete vaatlemine ei tekita raskusi, siis aitab nende omadustega tutvumine paremini tungida häälelainete olemusse.

Joonis 491 kujutab laineid, mis tekkisid veepinnal nende tsentrumis oleva palli üles-alla liikumise tagajärjel (sama tekiks ka siis, kui palli asemel viskaksime kive ühte ja samasse kohta). Tsentrumist tulevad üha laiemaks muutuvad ringikujulised laineharjad. Iga laineharjade paari vahel on laineorg. Lainehari ja sellega kõrvutiolev laineorg moodustavad ühe laine (joon. 492).



Joon. 491. Lained levivad veepinnal ringjoonte kujuliselt selle koha juurest, kus toimub võnkumine.

Milles seisneb häälelainete ja veepinnal tekkivate lainete sarnasus? Esiteks on nii ühtede kui ka teiste põhjuseks lainete



Joon. 492. Veepinnal tekkinud laine pikkus.

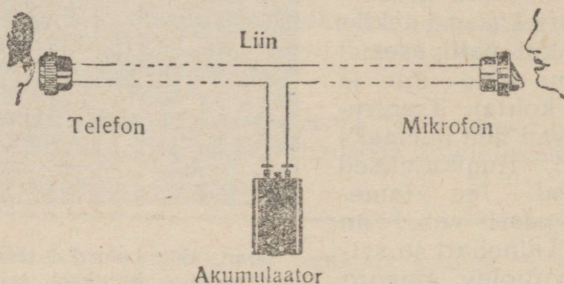
keskkohas asetseva keha võnkumine; teiseks levivad nii ühed kui ka teised keskkoha juurest teatava kiirusega.

Aga häälelainete ja veepinna lainete vahel on ka oluline erinevus. Häälelained liiguvad kogu ruumis võnkuma keha ümber, kuna veelained liiguvad ainult mööda vee pinda. Teiseks koosneb häälelaine tihenemisest ja hõrenemisest, kuna veelaine koosneb laineharjast ja laineorust.

§ 217. **Telefoniseade.** Suurim kaugus, mille tagant kaks inimest võivad jutelda, on kõige soodsamal juhul ainult mõnisada meetrit.

Kui kaks inimest asuvad kahe hoone siseruumides, siis nad ei saa jutelda harilikkude häälelainete abil, sest seinad takistavad hääle levimist.

Rääkimiseks ühest ruumist teise ja kaugel maa taha kasutatakse telefoniseadet.



Joon. 493. Lihtsaim telefoniseade.

Telefoniseade muudab häälevõnkeid elektrilisteks võngeteks. Elektrilised võnked lähevad juhtmete kaudu sihtkohta ja muudetakse seal jälle häälevõngeteks (joon. 493).

Käesoleval ajal on telefoniliine, mille pikkus ületab kümneid tuhandeid kilomeetreid (näiteks liin Moskva-Vladivostok). Elektrilised võnked läbivad selle vahemaa peaaegu silmapilkselt — mõne sajandiku sekundi vältel.

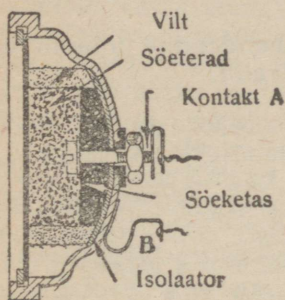
Kui hääle saaks ületada kaugust Moskvast Vladivostokini, ilma et ta hajuks või absorbeeruks, siis kestaks hääle teekond $10\,000 : \frac{1}{3} = 30\,000$ sekundit ehk üle 8 tunni. Olles asetanud küsimuse, me saaksime sellele vastuse umbes 17 tunni pärast.

Lihtsaim telefoniseade (joon. 493) koosneb järgmistest osadest: mikrofonist, telefonist, vooluallikast (akumulaatorist või elemendist) ja juhtmeist.

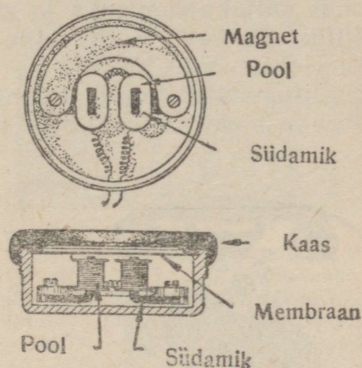
Mikrofon (joon. 494) koosneb lamedakujulisest metallkarbist, mille esseinaks on söeplaat (membraan): karbi põhjas asetseb kestast isoleeritud söeketas. Söeketta ja membraani vahel on erilisel viisil valmistatud söeteri (nende suurus on ligikaudu võrdne suhkruaterade suurusega).

Uks elektrijuhe ühendatakse metallkarbiga, teine — ketta juurest tuleva kontaktiga. Elektrivoolu teekond mikrofonis on järgmine: elektrivool läheb kontaktilt A söeketta ja terade kaudu membraanile ja kontaktile B. Rääkides hoitakse mikrofon suu juures.

Telefon (joon. 495) koosneb karbist, kus on kaks elektromagnetit. Elektromagnetite mähised on üksteisega järjestikku



Joon. 494.
Mikrofoni läbilõige.



Joon. 495. Telefoni läbilõige.

ühendatud; mähiste keerdude arv on väga suur. Elektromagnetite raudsüdamikud on kinnitatud tugeva hobuserauakujulise magneti külge; seetõttu on magnetid alati magnetiseeritud. Elektromagnetite kohal on ümmargune raudplaadike (membraan). Telefon asetatakse kõrva juurde.

Telefon on järjestikku ühendatud mikrofoniga. Ahelasse on lülitatud vooluallikas (joon. 493).

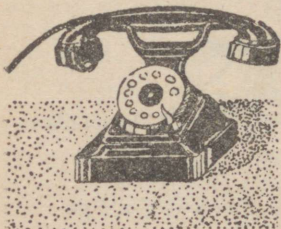
§ 218. **Telefoniseadme töö.** Telefoniseadme töö seisneb järgmises: mikrofone ees tekitatud häälelained panevad võnkuma mikrofone membraani. Neil momentidel, kui mikrofone membraan paindub häälelainete mõjul sissepoole, söeterad tihenevad. Seetõttu mikrofone takistus väheneb ja elektrivoolu tugevus ahelas kasvab. Telefoni elektromagneteid läbib siis tugevam elektrivool; südamikude magnetism kasvab ja nad tõmbavad membraani tugevamini ligi. Selle tagajärjel paindub telefoni membraan ka sissepoole. Kui aga mikrofone membraan läheb sirgemaks, kasvab mikrofone takistus ja kahaneb elektrivoolu tugevus, mille tagajärjel telefoni membraan paindub

samuti sirgemaks. Sel viisil kordab telefoni membraan võrdlemisi tõetruult kõik mikrofoni membraani võnked ja tekitab häält, mis sarnaneb mikrofoni võnkumist põhjustanud häälega.

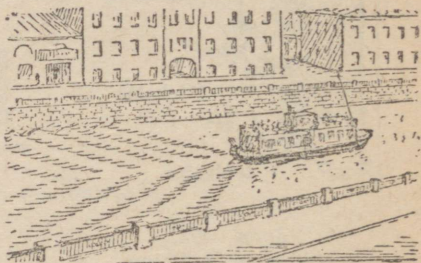
Niisiis muudab mikrofon häälevõnked elektrilisteks võngeteks, kuna telefon muudab elektrilised võnked häälevõngeteks.

§ 219. **Telefoniaparaadi ehitus.** Telefoniaparaat (joon. 496) koosneb mikrofoni ja telefoni ühendavast torust, helistist abonendi väljakutsumiseks ja mõnest üksikosast, millel ei ole põhilist tähtsust. Hark, mille peal seisab telefonitoru, on ühtlasi elektrivoolu lülitiks.

Automaattelefonide abonentide ühendamine toimub väga keeruka elektromagnetilise automaadi abil.



Joon. 496.
Telefoniaparaat.



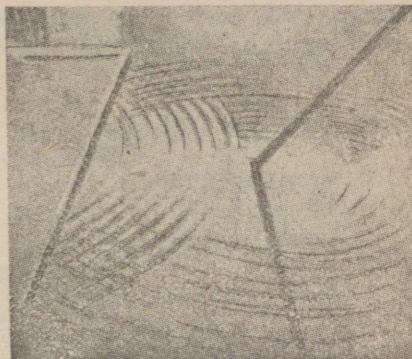
Joon. 497. Auriku poolt tekitatud ja kaldalt peegeldunud lained. Lained on siin sirged ja mitte ringikujulised.

§ 220. **Lainete peegeldumine.** Vastu seina visatud pall põrkab tagasi. Sama toimub ka häälelainetega, kui takistus, mille vastu nad põrkavad, on küllalt suuremööduline.

Kui häälelained kohtavad oma teekonnal takistust, mille möödud on suured võrreldes laine pikkusega, siis nad peegelduvad, s. o. paiskuvad tagasi.

Me kõik oleme kunagi kuulnud kaja. Läänud lahtisele väljale, kauge metsa või kõrge müüri vastas olevasse kohta, hüüatame või plaksutame käsi. Mõne aja möödudes me kuuleme esiletoodud hääle kordumist. Häälelained on jõudnud tõkkeni, sellelt peegeldunud ja tagasi tulnud.

Eranditult kõik lained evivad omadust takistustelt peegelduda. Väga huvitav on jälgida, kuidas sõitva auriku poolt tekitatud lained peegelduvad kaldalt (joon. 497), või kuidas kepilöögil veepinnale tekkinud lained peegelduvad ujuvalt lauatükilt (joon. 498).



Joon. 498. Paremas ülalpooles nurgas on kepp, mille abil tekitatakse veepinna laineid. Lained levivad kepiotsa juurest ja jõuavad veepinnal ujuva latini, millelt nad peegelduvad.

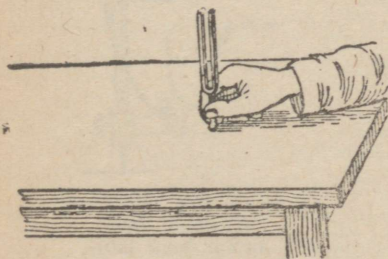
§ 221. **Resonants.** Võtame heliseva helihargi (joon. 499) ja toetame selle käepidet vastu lauda. Hää, mis alguses oli vaevu kuuldav, muutub õige valjuks. Selle põhjuseks on, et helihargi võngete mõjul on laud hakanud ka ise võnkuma: õhku läbivad nüüd palju võimsamad lained (muide, seejuures lõpeb helihargi energia palju kiiremini).

Nähtust, kus üks keha justkui kajab vastu teise keha võnkumistele ning hakkab ka ise võnkuma, nimetatakse resonantsiks.

Iga elastne keha võib võnkuda teatud kindla, temale omase võnkesagedusega. Keha oma võnkesagedus on sagedus, millega keha hakkab võnkuma löögi või tõuke mõjul.

Eriti tugev resonants tekib siis, kui algvõnkumise sagedus on võrdne kaasaheliseva keha omavõnkesagedusega.

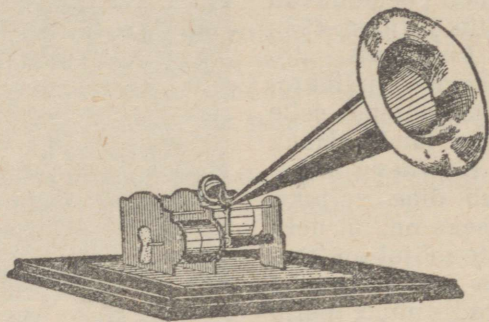
Iga töötav masin väriseb suuremal või väiksemal määral — ta „vibreerib“. Kui masina vibreerimise sagedus on võrdne masina-aluse omavõnkesagedusega, siis tekib masina ja aluse vahel resonants. Vundament võib hakata rappuma nii suure jõuga, et ta puruneb. Vibratsioonid on väga kardetavad ka lennukitele: kui mootori vibratsioonide sagedus



Joon. 499. Laud heliseb kaasa helihargi võnkumistele.

dus langeb ühte lennukikere omavõnkesagedusega, siis võib lennuk õhus koost laguneda.

§ 222. **Hääle üleskirjutamine ja uuesti kuuldavaks tegemine.** Häält saab üles kirjutada ja seda vajaduse puhul mitmeid kordi uuesti kuuldavaks teha.

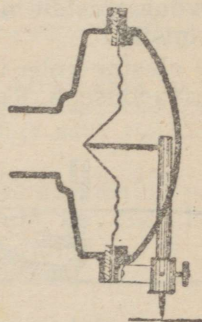


Joon. 500. Fonograaf.

Joonis 500 kujutab lihtsaimat abinõu hääle üleskirjutamiseks ja reprodutseerimiseks. See on fonograaf. Üleskirjuta-



Joon. 501. Fonograafi ehituse skeem.



Joon. 502. Grammofoni-membraani läbilõige.

tavad hääled suunatakse fonograafi torusse (ruuporisse); see juhib hääle membraani juurde (joon. 501). Membraaniga on ühendatud nõel, mis kirjutab membraani võnkumised lainelise soonekese näol pehmest ainest silindrile. Üleskirjutamise ajal

silinder tiirleb ja ühtlasi liigub ka telje sihis edasi, nii et nõel jätab silindri pinnale keerme-kujulise joone.

Kui hääle üleskirjutamisel tekkinud sooneke läheb teistkordselt nõela alt läbi, siis kordavad nõel ja membraan neid-samu võnkeid, mida nad tegid hääle üleskirjutamisel. Membraan annab need võnked õhule edasi ja fonograaf teeb üleskirjutatud hääled uuesti kuuldavaks.

Muusika ja kõne edasiandmiseks tarvitatakse grammofone, mida meil nimetatakse ka patefoonideks.

Joonis 502 kujutab grammofoni membraani läbilõiget. Nõel liigub mööda grammofoniplaadi lainelist soonekest ja paneb vastava kangikese kaudu võnkuma membraani, mis kordab üleskirjutatud häält.

Hääle kõvendamiseks ühendatakse grammofoni membraan ruuporiga.

Helifilmil on hääled üles kirjutatud kinolindile kitsa heliriba näol. Hääl antakse edasi valjuhäälaja kaudu.

Neljateistkümnes peatükk.

VALGUS.

(Algteadmisi optikast.)

§ 223. **Valgusallikad.** Valgust andvaid kehi nimetatakse valgusallikaiks. Maakeral on Päike peamiseks valgusallikaks.

Valguse kiirgamise peamiseks põhjuseks on keha kõrge temperatuur: Päikese pind, elektri-hõõglambi niit, kaarleegi söe-elektroodid või tuleleegid kiirgavad valgust sellepärast, et neil on kõrge temperatuur.

Kiirgava valguse värvus muutub ühes keha temperatuuriga.

Temperatuuril 500—600 kraadi hõõgub keha tumepunaselt; selle temperatuurini kuumutatud keha, näiteks terasetükk, kivi või söetükk, annab tumepunast valgust; 600—800 kraadi piirides on kirsspunane hõõgumine; 800—1000 kraadi piirides on helepunane hõõgumine; 1000—1200 kraadi piirides on kollane hõõgumine. Umbes 1500 kraadi juures algab valge hõõgumine ja 2000 kraadi juures — erevalge hõõgumine.

Võimsa elektri-hõõglambi metallniidi temperatuur on 2500 kraadi ümber; lähedal on selle metallniidi valgus silmale väljakannatamatult valus. Kaarleegi söe-elektroodidel on kuni 4000-kraadine temperatuur. On välja arvatud, et helendava päikesepinna temperatuur on 6000 kraadi ümber.

Mida kõrgem on keha temperatuur, seda heledam on kehast kiirguv valgus.

Ent ka madala temperatuuriga kehad kiirgavad sageli valgust. Sellise „külma“ kiirgamise põhjused võivad olla mitme-

sugused. Tehnika seisukohalt on kõige suurem tähtsus gaaside kiirgamisel neid gaase läbiva elektrivoolu mõjul (sellest oli juttu XI peatükis, § 168, joon 381).

Tulekivi ja suhkur kiirgavad hõõrumise või löögi mõjul. Õhu käes seisev fosfor helgib pikaldaselt toimuva keemilise reaktsiooni tagajärjel. Kui peame valguse käes tüki fluoriiti ehk sulapagu (see on üks mineraal) ja viime ta siis pimedasse ruumi, siis annab fluoriit mitme tunni kestel rohekas-sinist valgust.

Kaua aega tarvitati valgusallikaina küünlaid. Praegugi võrreldakse mitmesuguste valgusallikate valgust küünlavalgusega. Näiteks öeldakse, et hõõglamp on 25-küünlaline. See tähendab, et lamp annab samapalju valgust kui 25 küünalt.

Valgustavad kehad kiirgavad energiat. Et valguse kiirgumine ei lõpeks, tuleb asendada kiirgava keha energiakadu.

Näiteks hõõglambi metallniit kiirgab teda läbiva elektrienergia kulul. Mida suurem on elektri võimsus, seda heledamat valgust kiirgab metallniit. Huumtorus olev gaas helendab samuti elektrivoolu mõjul. Päike kiirgab valgust tema südamikus toimuvate eriliste füüsikaliste nähtuste tagajärjel. Fosfor helendab keemilise energia kulul, mis kuulub temale ja õhuhapnikule; fluoriit varub energiat valguse käes olles, aga pimedas ta aeglaselt kulutab kogutud energia tagavara.

§ 224. Valguse mõju kehasse.

Valgus, mis langeb mõnelt valgusallikalt ühele või teisele kehale, jaguneb kolmeks osaks: üks osa peegeldub tagasi, teine osa läheb kehast läbi ja levib edasi, kolmas osa absorbeeritakse keha poolt.

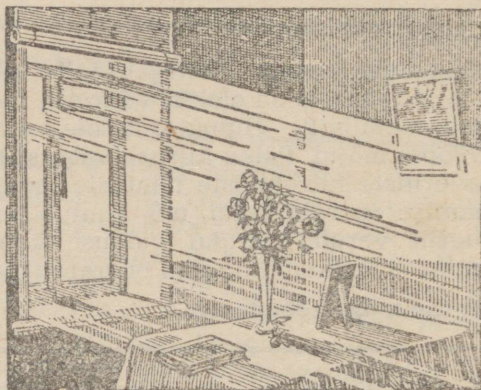
Absorbeeritud valgusenergia kulub tavaliselt keha soojendamiseks.

Kui keha peegeldab palju valgust, nimetatakse teda läikivaks (peeglid, poleeritud metallid) või heledaks (pilved, paber, kriit).

Valgust läbilaskvat keha nimetatakse läbipaistvaks (vesi, klaas) või läbikumavaks (õhuke paber, matt klaas, udu). Keha, mis ei lase valgust läbi, nimetatakse läbipaistmatuks.

Ei saa teha kindlat vahet läbipaistvate ja läbipaistmatute kehade vahel, kuna iga läbipaistmatu keha muutub läbipaistvaks, kui ta on küllalt õhuke. Väga õhukeseks plekiks valtsitud kuld laseb läbi rohelist valgust, hõbe aga — helesinist valgust. Õhuke tahmakord paistab läbi punaka valgusega. Teiselt poolt, läbipaistvad kehad ei lase valgust läbi, kui nad on küllalt paksus kihis. Kilomeetripaksune veekiht ei lase üldse valgust läbi: merede ja ookeanide sügavuses valitseb igavene pimedus.

Kehi, mis neelavad eriti palju valgust, nimetatakse tumedateks või mustadeks. Tumedad kehad soojenevad päikese kiirtes eriti palju. Suvel päikesepaistel on tumeda särgiga palju palavam kui valge särgiga; selle põhjuseks on asjaolu, et tume riie neelab palju enam päikese kiiri kui valge riie.



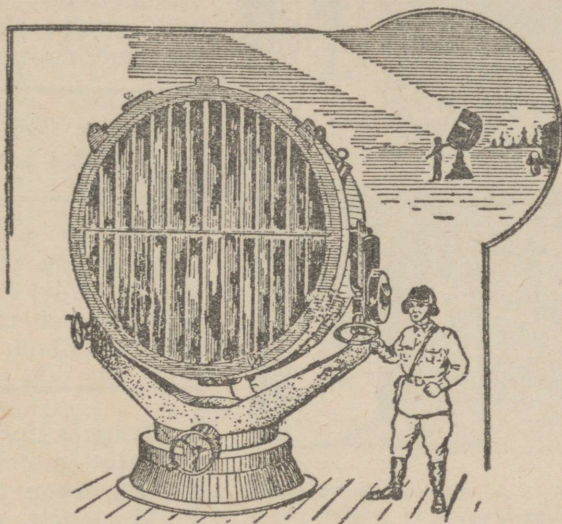
Жо.п. 503. Акнассе тунгивад пәкесекииред он пиригелдуд сиргете жоонтга.

§ 225. **Valguse levimine.** Igapäevaste tähelepanekute varal võime veenduda:

Valgus levib sirgjooneliselt.

Vaatame, kuidas näevad välja aknasse tungivad päikese-kiired: nende kiirte piirjooned on sirged (joon. 503).

Arusaamatuste vältimiseks ütleme kohe alguses, et valguse kiired on nähtavad ainult sel juhul, kui õhus on tolmukübeid või pisikesi veepiisku. Kuigi meile tundub, et me näeme külje pealt helgiheitja (joon. 504) või päikese kiiri, ei ole see tegelikult nii: me näeme vaid uduosakesi või tolmukübeid, mis hõljuvad õhus ja läigivad valguse käes.



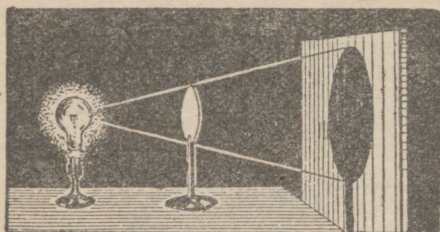
Joon. 504. Helgiheitja valgus levib sirgjoonelisel.

Joont, mida mööda valgus levib, nimetatakse valguskiireks.

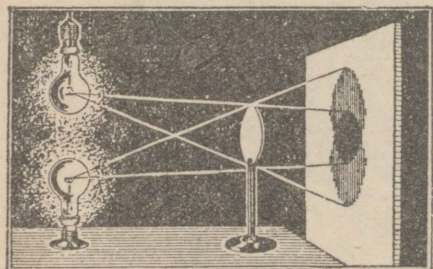
Valguskiirte teel asetsev läbipaistmatu keha annab varju (joon. 505). Uurides varju kuju me võime veenduda, et valguse levimine on sirgjooneline.

Joonisel 505 kujutatud katse valgusallikaks on lühikese sirge metallniidiga hõõglamp (autolamp). Võib öelda, et selline lamp on punktitaoline valgusallikas ehk valgustäpp. Me näeme, et valgustäpp annab teravate piirjoontega varju. Võtame nüüd kaks lampi; me näeme, et läbipaistmatu keha vari on sel juhul kahekordne. Seal, kus mõlemad varjud katavad teineteist, on ekraan täiesti must: seda kohta nimetatakse täisvarjuks.

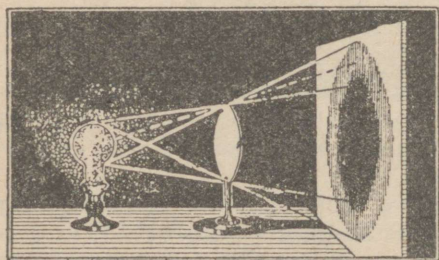
Neid kohti aga, kuhu langeb ainult ühe valgusallika valgus, nimetatakse poolvarjuks (joon. 506). Nüüd võtame lambi,



Joon. 505. Läbipaistmatu keha annab varju.



Joon. 506. Valgustamisel kahe lambi abil saame varju ja poolvarju.



Joon. 507. Valgustamisel mattklaasiga lambi abil saame varju ja poolvarju.

Valgus võib levida tühjas ruumis.

Näiteks läbib valgus vabalt tühja ruumi baromeetri torus; Päikese kiired jõuavad meieni läbi tühja maailmaruumi.

Valgus levib ettekujutlematult suure kiirusega: 300 000 kilomeetrit sekundis.

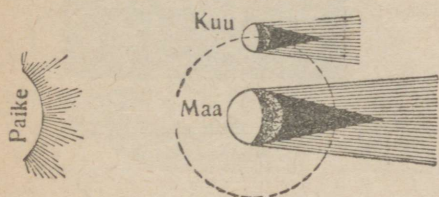
Kui lennuk saaks lennata valguse kiirusega, jõuaks ta teha ühe sekundiga seitse ja pool ringi ümber maakera.

Raadioteated ja elekt-risignaamid juhtmeis levi-vad samuti valguse kiirusega.

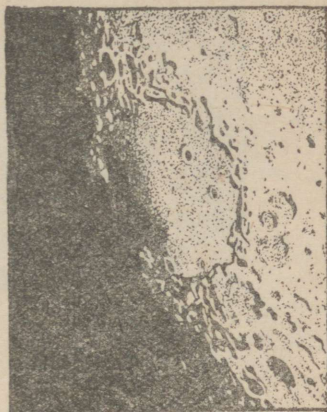
§ 226. **Päikese- ja kuuvarjutused.** Päikese-

ja kuuvarjutuste põhjus on selles, et Maa ja Kuu annavad varjusid, kuna nad on läbipaistmatud kehad (joon. 508). Kuu ei

anna ise valgust, ta ainult peegeldab Päikese kiiri. Me näeme ainult seda osa Kuu pinnast, mis antud momendil on valgustatud Päikese kiirtest (jon. 509); kui Päike valgustab kogu Maa poole pööratud Kuu pinda, siis me näeme tervet kuuketast — see on täiskuu ajal. Kui Päike valgustab seda osa Kuu pinnast, mis ei ole meile nähtav, siis on noorkuu. Maa annab varju ja poolvarju. Täiskuu aegu võib

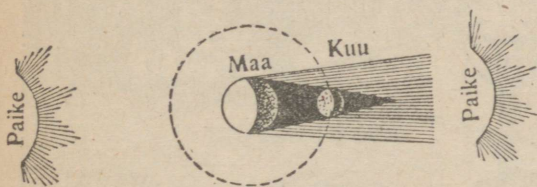


Joon. 508. Maa ja Kuu annavad varje.

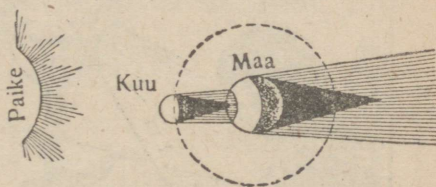


Joon. 509. Kuu ülesvõte.

Kuu sattuda Maa varju: toimub kuuvarjutus (joon. 510). Kuuvarjutust ei ole iga täiskuu ajal, kuna Kuu võib Maa varjust mööda minna.



Joon. 510. Kui Kuu satub Maa varju, toimub kuuvarjutus.

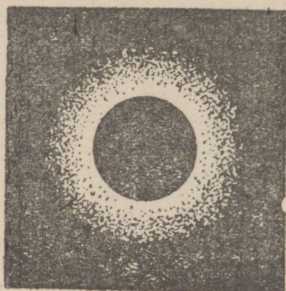


Joon. 511. Kui kuu vari langeb Maa peale, siis on vastavais kohtades maakeral päikesevarjutus.

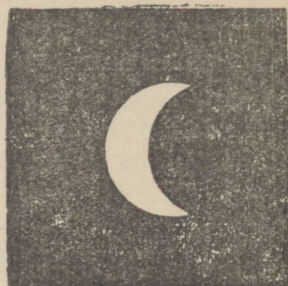
Kui Kuu vari langeb Maa peale, siis on vastavais kohtades maakeral päikesevarjutus (joon. 511). Täielik päikesevarjutus on neis kohtades, kuhu langeb täisvari; osaline päikesevarjutus on seal, kuhu langeb poolvari (joon. 512 ja 513).

§ 227. **Valgustugevus. Pinnavalgustus.** Mitmesugused valgusallikad annavad mitmesuguse tugevusega valgust.

Elektrilambi valgus on tugevam kui künäla valgus, kaarleegi valgus on tugevam kui elektrilambi valgus, päikese valgus on tugevam kui kaarleegi valgus.



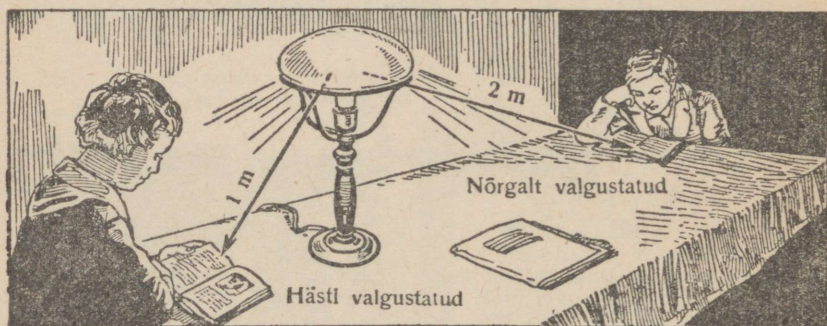
Joon. 512. Täielik päikesevarjutus.



Joon. 513. Osaline päikesevarjutus.

Valgusallika valgustugevuse ühikuks on rahvusvaheline künäl.

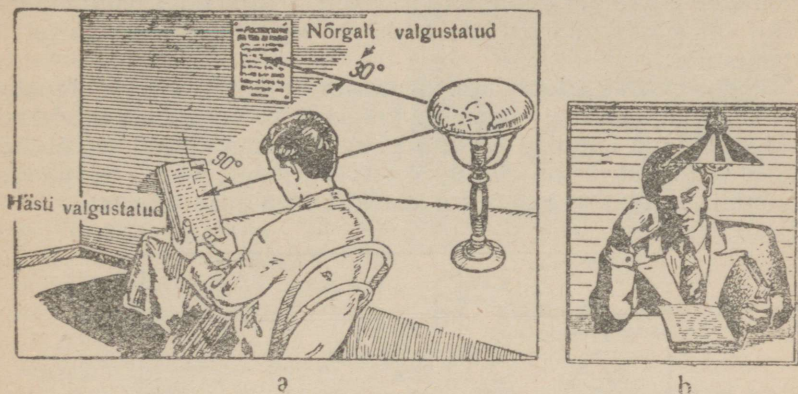
Hariliku steariinküünla valgustugevus on veidi väiksem rahvusvahelisest künäl valgustugevusest.



Joon. 514. Mida väiksem on vahemaa valgusallika ja valgustatud eseme vahel, seda suurem on pinnavalgustus.

Elektrilambi valgustugevus on elektri võimsusest. Näiteks on „Swetlana“ tehase hõõglampide valgustugevused järgmised: 60-vatine lamp annab umbes 65 künäl; 150-vatine lamp annab 200 künäl; 1000-vatine lamp annab 2000 künäl.

Esemed on valgustatud seda tugevamini, mida lähemal nad on valgusallikale: mida lähemal raamat on lambile, seda tugevamalt on raamatu leheküljed valgustatud (joon. 514). Pinnavalgustus sõltub ka nurgast, mida moodustavad valguskiired ja



Joon 515: a — mida lähemal täisnurgale on valguskiirte ja pinna nurk, seda suurem on pinnavalgustus; b — raamatu vasak lehekülj on halvasti valgustatud.

valgustatav pind. Mida lähemal see nurk on täisnurgale, seda suurem on pinnavalgustus (joon. 515). Suvel on pinnavalgustus suurem kui talvel, sest päikesekiirte suund on suvel püstloodile lähemal (joon. 516).



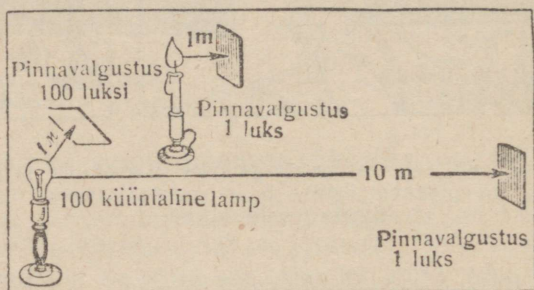
Joon. 516. Suvel on pinnavalgustus suurem kui talvel.

Pinnavalgustuse ühikuks on see pinnavalgustus, mille annab üks rahvusvaheline küünal pinnale, mis asub risti

valguskiirtele ühe meetri kaugusel valgusallikast. Selle pinnavalgustuse ühiku nimetuseks on luks.

Päikesekiired, mis langevad keskpäeval selge taeva juures risti pinnale, annavad pinnavalgustuse 130 000 luksi; kõige eredam kuuvalgus annab aga ainult $\frac{1}{4}$ luksi. Viiskümmend luksi on silmale soodsaimaks pinnavalgustuseks lugemisel ja kirjutamisel.

Mehaaniliste töökodade ja masinaruumide pinnavalgustus peab olema kehtivate normide kohaselt 20 kuni 35 luksi. Masinate asetus ja lampide arvutus peavad olema tehtud nii, et töökoha pinnavalgustus ei oleks alla normaalsuuruse ei päeval loomuliku valguse ega öösel kunstliku valguse juures.



Joon. 517. Pinnavalgustus on seda suurem, mida suurem on valgusallika valgustugevus, ja seda väiksem, mida suurem on kaugus.

Pinnavalgustus on seda suurem, mida tugevam on valgusallikas. Kui vahemaa valgusallika ja valgustatava eseme vahel suureneb, siis kahaneb eseme pinnavalgustus kiiresti (joon. 517). Näiteks 100-küünlaline lamp annab 10 meetri kaugusel sama pinnavalgustuse kui 1 küünel 1 meetri kaugusel.

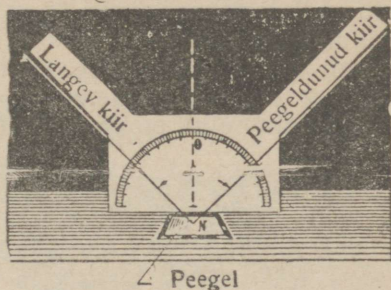
Valge lae ja valgete seintega ruumi pinnavalgustus on suurem kui tumedate seinte ja tumeda laega ruumis, kuna osa valgust peegeldub seintest ja laest.

§ 228. **Valguse peegeldumine ja hajumine.** Kaugelt suurem osa maakeral leiduvaid kehi peegeldavad neile langevat valgust. Mida enam valgust keha peegeldab, seda läikivam ta on.

Valguse peegeldumise seadused on eriti lihtsad neil juhtudel, kus peegeldav pind on poleeritud või väga sile, nagu näi-

teks rahuliku veekogu, elavhõbeda või hea peegli pind. Valguse peegeldumise uurimiseks kasutame head peeglit.

Juhime peeglile kitsa kimbu päikese või projektsioonlambi kiiri (joon. 518); nimetame seda kimpu langevaks kiireks. Kiir peegeldub peegli pinnalt. Asetame peegli kohale suure papi- või vineeritüki, millele on poolsõõris märgitud kraadijaotised; 0° märgime poolsõõri keskele. Poolsõõr peab seisma nii, et ta keskkohast langeks ühte kiire langemiskohaga ja et mõlemad kiired — langev kiir ja peegeldatud kiir — jätaaksid poolsõõri pinnale heleda jälje (joon. 518).



Joon. 518. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

Nurka langeva kiire ja joone NO vahel, mis on tõmmatud kiire langemiskohta risti peegli pinnale, nimetatakse langemisnurgaks. Nurka joone NO ja peegeldatud kiire vahel nimetatakse peegeldumisnurgaks. Kaldenurkade kraadid poolsõõril näitavad:

Langemisnurk on võrdne peegeldumisnurgaga.

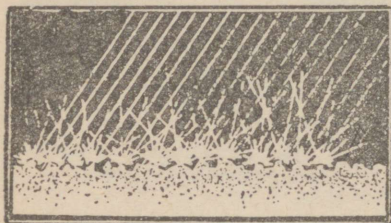
Peale selle võime kindlaks teha:

Langev kiir, peegeldunud kiir ja ristjoon peeglile kiire langemispunktis asetsevad samas tasapinnas.

Neid kahte seadust nimetatakse valguse peegeldumise seadusteks.

Tuleb märkida, et need seadused on kehtivad mitte ainult valguse, vaid ka heli peegeldumise kohta ja ka selliste nähtuste kohta nagu piljardikuulide tagasipõrkamine piljardilaua äärelt või tennispalli tagasipõrkamine väljakult — üldse iga-suguste lainete ja elastsete kerade põrkamise kohta takistuste vastu.

Kui valgus langeb paberile, valgekclubjatud seinale või mõnele muule mitteläikivale kehale, siis ei ole reeglipärasest peegeldumist: valgus peegeldub paljudes suundades. Seda nimetatakse valguse hajumiseks. Me teame, et püüdes päikesekiiri valge paberilehega, ei saa me selle abil seinale valguse-laiku, nagu seda on võimalik teha peegli abil: paber on ühtemoodi valge, olenemata sellest, kust poolt me vaatame seda paberit. Seevastu näib peegel läikivana ainult siis, kui valguse-laik on suunatud meile otse silmi.



Joon. 519. Valguse hajumine.

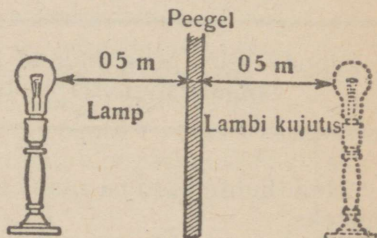
Igasugune poleerimata pind (paber, valgekclubbatud sein) koosneb pisikestest kiududest või teradest, mis asetsevad täiesti korrapäraselt. Sellisele pinnale langev valguskiir hajub paljudeks, igas suunas peegelduvaiks kiirteks (joon. 519).

Selline hajunud ehk difuusne valgus on silmadele palju soodsam kui vahetu või peegeldunud valgus. Valguse kunstliku hajutamise otstarbel tarvita-

takse mattklaasist lambivarje ja lubjatakse lagesid valgeks.

Päevavalgus on alati hajunud, kui ta ei tule otse päikeselt. Päevavalgust hajutavad peamiselt pilved ja — palju vähemal määral — õhk.

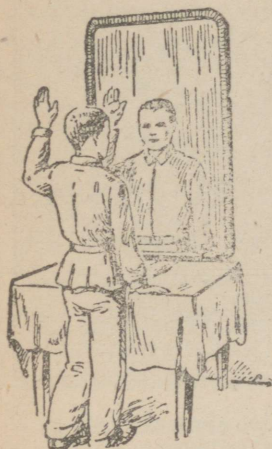
§ 229. **Tasapeegel.** Igaüks teab, et asetades mingisuguse eseme tavalise peegli ette, me näeme selle eseme kujutist, mis näib asuvat peegli taga. Võib tõestada, et eseme iga täpp ja selle peegelpilt asetsevad ristjoonel peegli pinnale. Seejuures on eseme iga täpp ja ta peegelpilt peeglist võrdsel kaugusel (joon. 520). Joonisest 521 nähtub, et ese ja ta peegelpilt on võrdse suurusega. (Pöörata tähelepanu sellele, et eseme parem pool vastab peegelpildi vasakule poolele.)



Joon. 520. Ese ja ta peegelpilt asetsevad ristjoonel peeglile, võrdsetel kaugustel peeglist.

Tuleb märkida, et me ei näe puhta peegli pinda, vaid ainult esemete kujutisi peeglis. Valguse peegeldumisel põhineb liht-

saima kaeviku-periskoobi ehitus (joon. 522). Vaadeldava eseme kujutis tekib enne ülemisse peeglisse, siis alumisse. Sõdur vaatab alumisse peeglisse ja näeb kõik, mis toimub kaevikuääres; seejuures ei tarvitse tal asetada end vaenlase kuulide alla.



Joon. 521. Ese ja ta kujutis peeglis.



Joon. 522. Kaeviku-periskoop.

Pöörates periskoopi ja muutes peeglite kallakut, võib läbi uurida kogu maastiku kaeviku ees.

Küsimus 1. Valguakiir langeb risti peeglipinnale. Mis suunas läheb peegeldunud kiir?

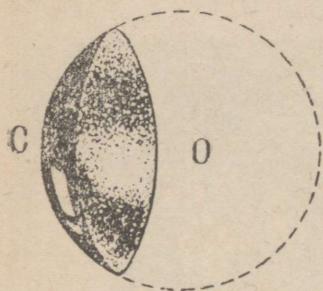
Küsimus 2. Milles seisneb eseme ja ta peegelkujutise vahe (vaadelda kella numbrilaua kujutist peeglis; võrrelda oma peegelkujutist oma päevapildiga)?

§ 230. **Nõguspeeglid.** Sageli tarvitatakse peegleid, mille peegeldavaks pinnaks on osa kerapinnast (joon. 523). Kui peegeldavaks pinnaks on kera välispind, siis nimetatakse peeglit kumerpeegliks (joon. 523); kui aga peegeldavaks pinnaks on kera sisepind, siis on meil tegemist nõguspeegliiga. Nõguspeegleid rakendatakse laialdaselt teaduses ja tehnikas.

Sirgjoont, mis ühendab peegli tsentrumi C ta kõverus-tsentrümiga O , nimetatakse peegli optiliseks teljeks (joon. 523).

Kui asetame kumerpeegli ette mingisuguse eseme, siis näeme kumerpeeglist eseme vähendatud päripidist (mitte ümberpööratud) kujutist (joon. 524).

Pöörame nõguspeegli vastu päikest, nii et päikesekiired langeksid peeglile rööbiti ta optilise teljega (joon. 525). Võib

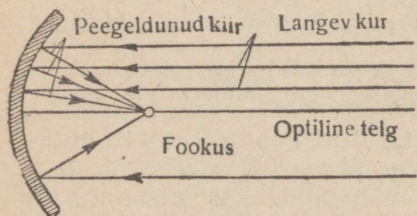


Joon. 523. Peeglipinnaks on osa kerapinnast.

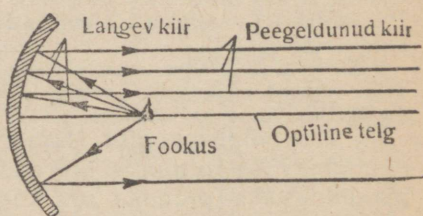


Joon. 524. Kumerpeegel annab päripidised vähendatud kujutised.

ka juhtida nõguspeeglisse projektsioonilambi paralleelkiirte kimbu. Me näeme, et peegeldunud kiired koonduvad väike-



Joon. 525. Nõguspeeglile langevad rööpsed kiired koonduvad pärast peegeldumist ühte punkti, mida nimetatakse fookuseks.



Joon. 526. Nõguspeegli fookuses asetseva valgusallika kiired moodustavad pärast peegeldumist paralleelkiirte kimbu.

sesse ruumi peegli optilisel teljel, peaaegu ühte punkti. Seda punkti nimetatakse peegli tulipunktiks ehk fookuseks.

Niisiis võime öelda:

Nõguspeeglile optilise teljega rööpselt langev kiir läheb pärast peegeldumist läbi fookuse.

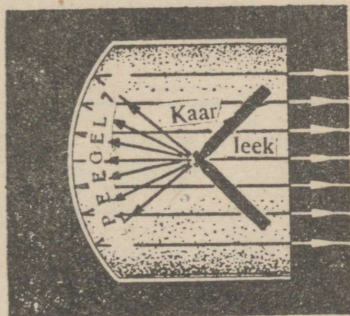
Asetame tuletikupea või puutükikese punkti, kuhu koonduvad nõguspeeglit peegeldunud päikesekiired: tuletikk hakkab põlema ja puu hõõgub. Nõguspeeglit võib nimetada ka koondavaks peegliks ehk koguvpeegliks.

Asetame nõguspeegli fookusesse mingi helendava täpi — põleva küünla või kaarleegi söe-elektroodide otsad (joon. 526). Peegeldunud kiired moodustavad rööpsete kiirte kimbu.

Järelikult:

Kiired, mis langevad nõguspeeglile fookuses asetsevast levusallikast, levivad pärast peegeldumist rööbiti optilise teljega.

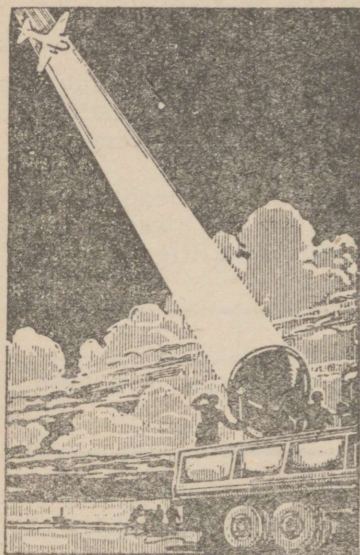
§ 231. **Helgiheitja.** Sageli on öösel vaja valgustada maastikku või mõnd kaugemal asetsevat eset. Selleks kasutatakse helgiheitjaid. Helgiheitja koosneb suurest nõguspeeglist (läbimõõduga kuni 2 meetrit), mille tulipunktis asetseb võimas mitmesaja tuhande küünla tugevune kaarleek või suure valgusjõuga elektri-hõõglamp (joon. 527). Säärase helgiheitja abil võib võrdlemisi heledasti valgustada esemeid, mis on üle kümne kilomeetri kaugusel. Helgiheitjaid kasutatakse sõja- asjanduses vaenlase lennukite avastamiseks öistel lendudel (joon. 528) ja samuti maastiku valgustamiseks rünnaku ajal. Helgiheitjaid kasutatakse sõjalaevadel ja kaubalaevadel; mere-tuletornid ja lennuväljade signaaltornid on samuti varustatud võimsate helgiheitjatega. Väikeste helgiheitjatega on varustatud ka lennukid (joon. 529), autod, vedurid ja jalg-



Joon. 527.
Helgiheitja konstruktsioon.

rattad, nende helgiheitjate valgusallikaks on elektri-hõõglambid või atsetüleenpõletid.

Kui nihutame valgusallikat peeglile lähemale, siis annab helgiheitja laieneva kiirtekimbu. Seda valgustusviisi tarvitatakse siis, kui pole vaja valgustada üksikese-meid, vaid teatud pindala: maastikku, kus liiguvad vaenlase väed, linnaväljakut, sadamasilda või suurt raudteejaama (joon. 530).



Joon. 528. Helgiheitjate abil avastatakse lennukid tumeda öötaeva taustal.

§ 232. **Valguse murdumine.** Valguskiired võivad oma teekonnal läbida rea mitmesuguseid läbipaistvaid keskkondi.



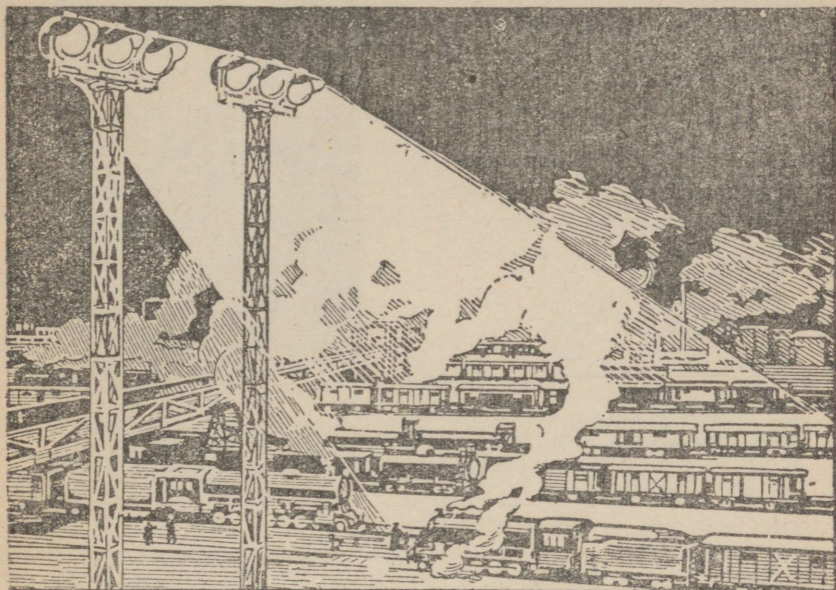
Joon. 529. Lennukid on varustatud väikeste helgiheitjatega.

Valguskiir murdub ühest läbipaistvast keskkonnast teise minnes, näiteks õhust vette või õhust klaasi minnes.

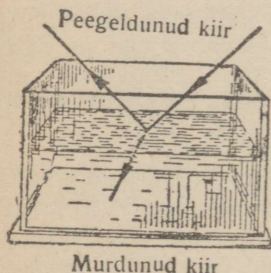
Joonis 531 kujutab veepinnale langevat valguskiirt. Me näeme, et valguskiir on muutnud oma suunda üleminekul õhust vette — valguskiir on murdunud. Peale selle me näeme, et mitte kõik valgus ei ole vette üle läinud, vaid et osa valgust on veepinnalt peegeldunud.

Kahe keskkonna (näiteks vee ja õhu) lahtuspinnal toimub valguse murdumine ja ühtlasi valguse peegeldumine.

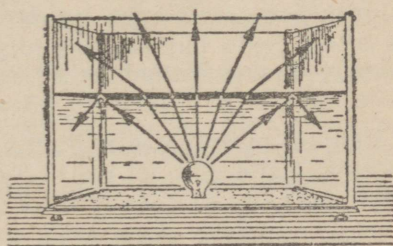
(Et valguskiirte tee oleks paremini nähtav, tuleb vees lok-
sutada natuke kriiti ja lasta õhku veidi tubakasuitsu.) Vee



Joon. 530. Helgiheitja-seadeldis suure sorteerimisjaama valgustamiseks.



Joon. 531. Veepinnale lan-
gev valgus osalt murdub,
osalt aga peegeldub.

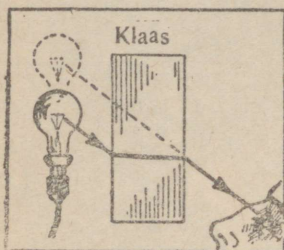


Joon. 532. Valguse murdamine
üleminekul veest õhku.

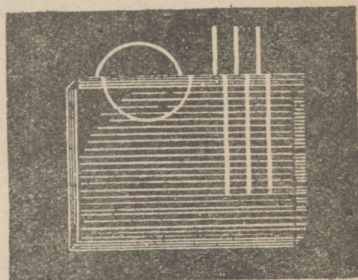
pind on antud juhul valguse murdumispinnaks. Nurka langeva
kiire ja murdumispinnale tõmmatud ristjoone vahel nimeta-

takse langemisnurgaks. Nurka murdunud kiire ja murdumispin-
nale tõmmatud ristjoone vahel nimetatakse murdumisnurgaks.

Valguskiirt võib juhtida õhust vette igasuguste langemis-
nurkade all: murdumisnurk üleminekul õhust vette on alati
väiksem kui langemisnurk.



Joon. 533. Valguskiire
tee klaasplaadis.



Joon. 534. Kui katame mõne
joonise osaliselt klaasplaadiga,
siis põhjustab valguskiirte kõr-
valenihkumine joonise kõver-
dumist.

Valguskiirt veest õhku juhtides (joon. 532) näeme, et üle-
minekul veest õhku on murdumisnurk suurem kui langemis-
nurk.

Laseme valguskiirel läbida paksu klaasplaadi (joon. 533).
Valguskiir murdub kaks korda: minnes õhust klaasi ja välju-
des sealt. Selle tagajärjel nihkub valguskiir külgsihis veidi
kõrvale, aga ta kulgeb edasi rööpselt oma esialgse sihiga.
Meile näib, et ese on veidi kõrvale nihkunud (joon. 534).

Valguse murdumise näiteid paneme sageli tähele igapäeva-
ses elus: meile näib, et lusikas veeklaasis (joon. 535) või kepp
veeanumas on pooleks murtud.

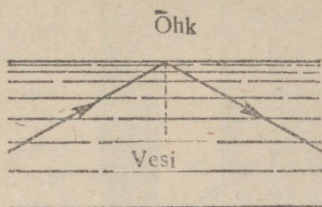
Kiirte minekul veest õhku või klaasist õhku võib tekkida
täielik sisepeegeldumine. Juhime valguskiirte kimbu veest
õhku (joon. 536). Teatud langemisnurga juures kiired ei välju
üldse veest, vaid peegelduvad ta pinnast sissepoole. Jooni-
sel 532 kujutatud juhul saavad äärmised kiired paremalt ja
vasakult samuti täieliku sisepeegeldumise osaliseks. Täielik
sisepeegeldumine leiab rakendamist paljudes optilistes riista-



Joon. 535. Meile näib, et lusikas teeklaasis on pooleks murtud.

siis on veepind täiesti must, välja arvatud väike valgusketas peakohal.

des. Täieliku sisepeegeldumisega on muuseas seletatav ka järgmine nähtus: sukeldudes lahtisi silmi vee alla, näeme pea kohal ainult



Joon. 536.
Täielik sisepeegeldumine.

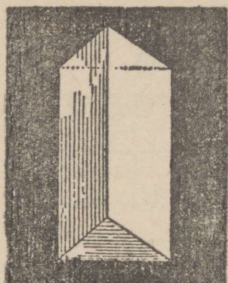
väikest valgusketast, kuna ülejäänud veepind on peeglitaoline ja selles peegeldub põhi ning mitmesugused vee all leiduvad esemed. Aga kui me oleme sukeldunud sügavasse kohta ja põhja ei paista,

Valgus murdub erinevalt erinevais läbipaistvais keskkondades.

Valgus murdub eriti suurelt teemandis; järgnevad: raske klaas (kristall), harilik klaas ja vesi. Tühjast ruumist tulevad valguskiired murduvad koguni õhus, ent see murdumine on üsna väike.

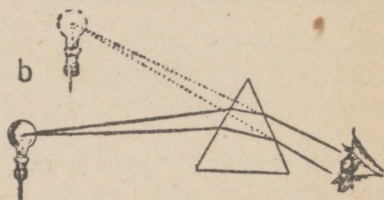
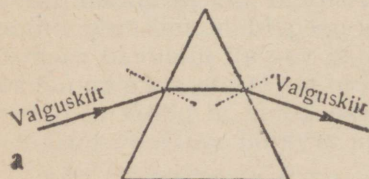
§ 233. **Prismad.** Joonis 537 kujutab tavalist optilist prisma. Uurime sellise prisma mõju teda läbivaisse valguskiirtesse. Joonisel 538-a näeme klaasprisma ristlõiget. Prismale langev valguskiir kaldub prisma läbimise juures kaks korda kõrvale. Mõlema kõrvalekaldumise suund on prisma aluse poole.

Kui vaatame mingit eset (näiteks hõõglampi) läbi prisma, nagu seda kujutab joonis 538-b, siis meile näib, et lamp on oma tegelikust asukohast veidi kõrgemal. Selle nähtuse põhjus on kergesti arusaadav. Lambist tulevate kiirte tegelik tee on näidatud joonisel 538-b pidevate joontega. Ent meie näeme lampi seal, kus lõikuvad meie silma sattunud kiirte pikendusjooned: meile näib, et kiir kulgeb otsejoont, vaatamata sellele, millist teed ta on tegelikult kasutanud meie silmani jõudmiseks (joon. 538-b).



Joon. 537.
Optiline prisma.

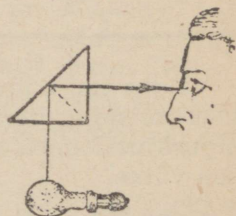
Väga laialdaselt rakendatakse täieliku sisepeegeldumisega prismsid (joon. 539). Sellise prisma abil võib



Joon. 538. a — valguskiirte murdumine prisma; b — hõõglampi läbi prisma vaadates näib, et lamp on nihkunud prisma serva poole.

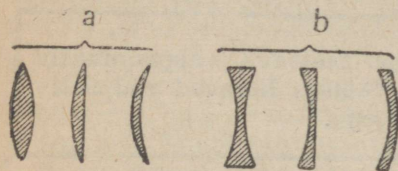
näha kõike, mis toimub vaatamissuunale täisnurgi. Seejuures tundub, nagu asetseksid läbi prisma nähtavad esemed otse meie ees. Täieliku sisepeegeldumisega prismsid kasutatakse allveelae-vade periskoopides, kaugusmõõtjais, prismabinoklites ja teistes optilistes riistades.

§ 234. **Läätsed.** Tehnikas on väga suur tähtsus optilistel klaasidel ehk läätsedel, mis muudavad valguskiirte kulgu, nagu seda teevad nõgus- ja kumerpeeglid. Optilisi klaase näeme kõige sagedamini prilliklaasidena. Läätsed võivad olla kahte liiki: kumerad ja nõgusad läätsed (joon. 540). Kumerail läätsedel on keskosa paksem kui

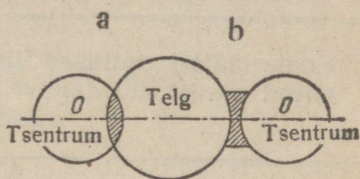


Joon. 539. Täieliku sisepeegeldumisega prisma.

ääred; nõgusatel läätsedel aga on keskkohat äärtest õhem. On olemas kolm liiki kumeraid läätsi ja kolm liiki nõgusaid läätsi; nende põikpinnad on kujutatud joonisel 540. Niihästi kumerad kui nõgusad läätsed valmistatakse tavaliselt nii, et nende mõlema pinnad on kerapinna osadeks. Joonisel 541 on kujutatud, kuidas moodustatakse kerapindadest kumeraid ja nõgusaid läätsi.



Joon. 540. a — kumerate läätsede põikpinnad; b — nõgusate läätsede põikpinnad.

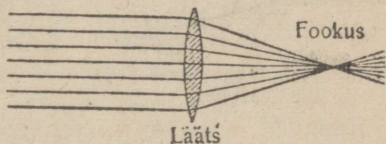


Joon. 541. a — kerade üksteist kattev osa annab kumerlääts; b — kerade-vaheline osa annab nõguslääts.

Sirgjoont, mis läheb läbi läätses kerapindade tsentrumi, nimetatakse läätses optiliseks teljeks. Optiline telg läbib ühtlasi läätses keskkohat.

Juhime kumerläätses optilise teljega rööpses kiirte kimbu (joon. 542). Me näeme:

Kumerläätses läbiläinud rööpsed kiired koonduvad ühte punkti.



Joon. 542. Kumerlääts koondab optilise teljega rööpsed kiired ühte punkti, mida nimetatakse fookuseks.

Punkti, kuhu koonduvad optilise teljega rööpsed kiired, nimetatakse läätses optiliseks fookuseks ehk tulipunktiks.

Kaugust läätses optilise fookuseni nimetatakse optilise fookuse ehk lihtsalt fookuse kauguseks.

Kumerlääts kogub rööpses kiiri ühte punkti; seepärast nimetatakse kumerläätses ka koguvläätses.

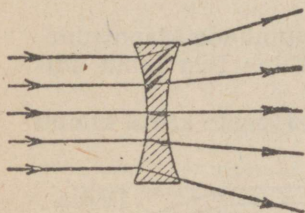
Pöörame läätses vastu päikest ja paneme tuletikupea või puutükikesse sinna kohta, kuhu koonduvad päikesekiired (nagu me tegime seda nõguspeegli omadustega tutvumisel). Tuletikk

süttib põlema ja puu hakkab hõõguma. Seega võiksime kumerläätsse nimetada ka süütavaks läätsesks.

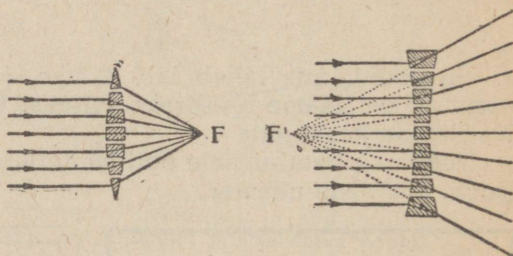
Keegi inglise õpetlane ütles ligi kakssada aastat tagasi, et tuld võib süüdata jää abil. Keegi ei uskunud teda. Siis ta valmistas jääst kumerläätsse, pannes vett jäätuma vastavas vormis; selle jääst-valmistatud läätsesga ta koondas päikesekiiri, mis üldiseks hämmastuseks süütasid puutüki põlema.

Kumerläätses optilises fookuses asetseva valguspunkti kiired pärast murdumist kumerläätses lähevad rööpselt optilise teljega.

Suuname rööpsete kiirte kimbu nõgusläätsesle (joon. 543). Pärast murdumist nõgusläätses rööpsed kiired hajuvad. Seejärel nimetatakse nõgusläätsi ka hajutavaiks läätsedeks. Kui



Joon. 543. Nõguslääts hajutab valguskiiri.



Joon. 544. Lääts näib koosnevat üksikuist prismadest.

me asetame ekraani hajunud kiirte tee nõgusläätses ette, siis tekib ekraanile tume laik, mida ümbritseb hele valgusrõngas. See valgusrõngas suureneb, kui nihutame ekraani läätsesst kaugemale.

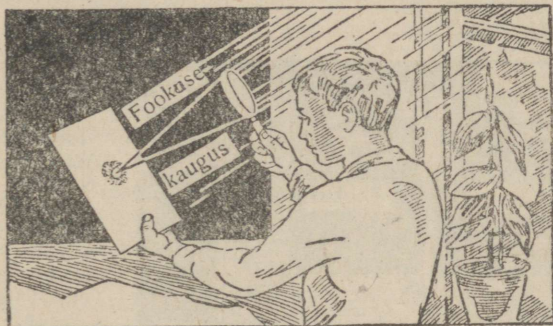
Vaatleme ümberolevaid esemeid nõgusläätses läbi, mida me hoiame silmast veidi eemal; me näeme kõiki neid esemeid vähendatud kujul.

Läätsesde mõju valguskiirtele on arusaadav, kui kujutleme, et iga lääts koosneb paljudest väikestest prismadest. Mida lähemal säärane väike prisma asetseb läätses keskkohale, seda väiksem on valguskiire kõrvalekaldumine (joon. 544). Läätses tsentrumist läbiminev kiir ei kaldu üldse kõrvale oma esialgsesst suunast. Mida kumeram on lääts ja mida tugevam on

läätse valmistamiseks tarvitatud aine valgustumrdvad omadused, seda väiksem on läätse fookuse kaugus.

§ 235. **Läätsede abil tekkivad kujutised.** Läätsede abil võib saada helendavate või valgustatud esemete kujutisi. Kujutist, mida saab kinni püüda ekraani abil, nimetatakse tõeliseks kujutiseks. Kujutist, mida me küll näeme, aga mis ei lase end ekraanile heita, nimetatakse ebakujutiseks (näiteks esemete kujutised tasapeeglis või kumerpeeglis on ebakujutised).

Võtame koguvläätse, hajutava läätse, elektrilambi ja tüki valget pappi, mida kasutame ekraanina. Läätsed ja lamp peavad asetsema alustel, nii et lambi kiirgav metallniit oleks ühel kõrgusel läätse tsentrumiga. Katset tuleb teha pimedas toas. Asetame lambi ette hajutava, s. o. nõgusa läätse; me võime muuta kuidas-tahes ekraani, läätse ja lambi kaugust üksteisest,



Joon. 545. Fookusekauguse mõõtmine.

aga me ei saa kuidagi lambi kujutist ekraanile. Ekraanil on näha ainult ebamäärasest valgest rõngast ümbritsetud tume laik. Kui aga vaatame lampi läbi läätse, siis näeme lambi vähendatud kujutist.

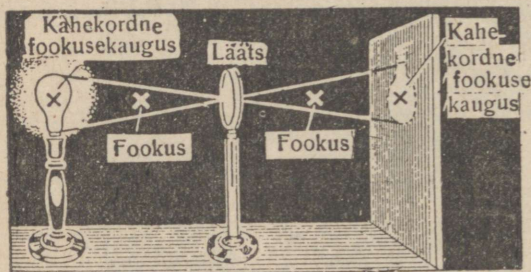
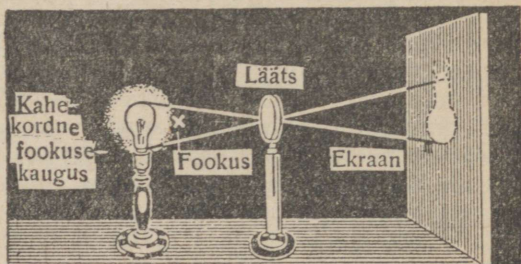
Niisiis on hajutava läätse abil saadud kujutis päripidine vähendatud ebakujutis.

Nüüd asetame lambi ja ekraani vahele koguvläätse (kumerläätse). Vahemaa lambi ja läätse vahel olgu väiksem läätse fookusekaugusest (fookusekaugust saab mõõta, suunates läätsesele rööpsete kiirte kimbu; fookusekaugus on kaugus läätsese tsentrumi ja tulipunkti vahel; joon. 545). Me võime nihutada lampi ja läätsese mistahes kaugusele ekraanist; ekraanile ei teki lambi kujutist, vaid ainult valge laik. Vaatame lampi läbi läätsese; me näeme lambi päripidist suurendatud kujutist.

Ümberpööratud kujutiseks nimetatakse kujutist, mis — võrreldes eseme endaga — seisab „jalad taeva poole“.

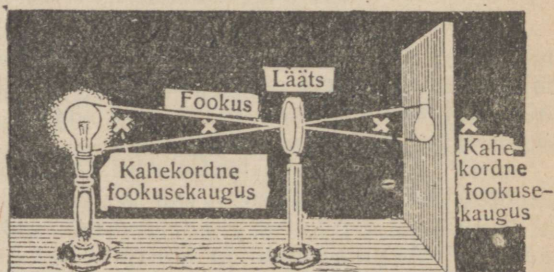
Selliste katsete tulemusi võib lühidalt väljendada järgmiselt:

Joon. 546. Kui lendav ese on fookusekauguse ja kahekordse fookusekauguse vahel, tekib ekraanile tõeline ümberpööratud ning suurendatud kujutis.



Joon. 547. Kui ese on läätsest kahekordsel fookusekaugusel, tekib ekraanile suuruselt võrdne ümberpööratud kujutis, mis on läätsest sama kaugel kui ese.

Joon. 548. Kui ese on läätsest kaugemal kui kahekordne fookusekaugus, tekib ekraanile tõeline ümberpööratud ning vähenendatud kujutis. Kujutis asetseb fookuse ja kahekordse fookusekauguse vahel.

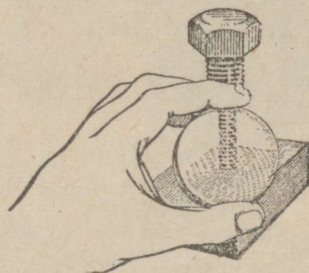


1. Kui ese on kumerlääte ja optilise fookuse vahel, siis saame päripidise suurendatud ebakujutise (mis on seda tugevamini suurendatud, mida lühem on kaugus eseme ja fookuse vahel). Kujutis on samal pool läätse kus esegi (joon. 550).

2. Kui ese asetseb fookusekauguse ja kahekordse fookusekauguse vahel, siis saame tõelise ümberpööratud ning suurendatud kujutise (suurendus on seda suurem, mida lähemal ese on fookusele). Kujutis on teisel pool läätse, kaugemal kui kahekordne fookusekaugus (joon. 546).

3. Kui ese on kahekordsel fookusekaugusel, siis kujutis tekib teisel pool läätse samal kaugusel; kujutis on tõeline ümberpööratud ja samasuur kui ese (joon. 547).

4. Kui ese on kaugemal kui kahekordne fookusekaugus, siis kujutis on tõeline ümberpööratud ning vähendatud (vähendus on seda tugevam, mida kaugemal läätsest on ese). Kujutis on teisel pool läätse, fookuse ja kahekordse fookusekauguse vahel (joon. 548).

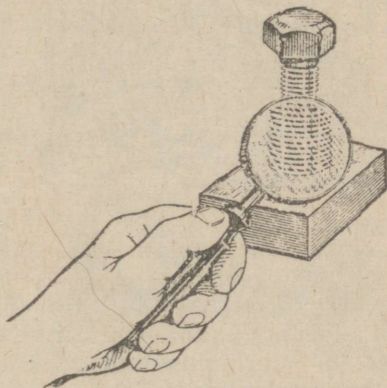


Joon. 549. Nõgusläätis annab päripidise vähendatud ebakujutise.

5. Hajutav (nõgus) lääts annab eseme päripidise vähendatud ebakujutise; me näeme seda ebakujutist samal pool läätse, kus asub ese (joon. 549).

Kõigil neil kujutiste saamise viisidel on väga suur praktiline tähtsus.

§ 236. **Suurendusklaas (luup).** Kumerlääts saab tarvitada suurendusklaasi ehk luubina. Eelmises paragrahvis tehtud katseist me teame, et asetades kumerläätsesse eseme lähedale (nii et ese oleks läätse ja fookuse vahel), näeme läbi läätse eseme suurendatud kujutist (joon. 550). Mitmesugused luubid annavad erinevaid suurendusi: **mida suurem on luubi**



Joon. 550. Luubis näeme eseme päripidist suurendatud ebakujutist.

kumerus ehk mida lühem on ta fookusekaugus, seda tugevam on suurendus. Aga ka üks ja seesama luup võib anda erinevaid suurendusi: kui ese on luubile väga lähedal, pole suurendus suur; mida suurem on eseme kaugus luubist, seda tugevam on suurendus. (Ent juhul, kui vaadeldav ese kaugeneb fookusekauguseni, ta kujutis kaob.) Asetades eset kahekordse fookusekauguse taha, me hakkame nägema ta vähendatud überpööratud kujutist.



Joon. 551. Kellamehhanismide kokkupanemisel kasutatakse sageli luupe.

Valmistatakse luupe, mis suurendavad kuni 27 korda.

Tööstuses tarvitatakse luupe laialdaselt pindade uurimiseks pärast töötlemist treipinkidel, puurmasinatel, hõövelpinkidel või freespinkidel, samuti keevitatud õmbluste kontrollimiseks. Luupe kasutatakse ka peenmehhanismide, näiteks kellade kokkupanemisel (joon. 551), mõõduriistade jaotuskriipsude tõmbamisel, töölus-esemete mõõtmisel märkija poolt (joon. 552) jne.

Valmistatakse ka luupe, mis on varustatud valgustusseadmega (joon. 552 ja 553).

On olemas kokkupandavaid luupe, mis mahuvad väikesesse taskusse (joon. 554).

Kui vaatleme eset läbi kahe või kolme kokkupandud luubi, siis on suurendus tugevam kui vaadates üheainsa luubiga.

Tugeva suurendusvõimega kokkupandav luup on vajalikuks tööriistaks meistrile, kontrollijale, tööstuse juhatajale ja konstruktorile.

§ 237. **Silm.** Inimese silma läbilõige on kujutatud joonisel 555. Silmasattunud valguskiired murduvad.

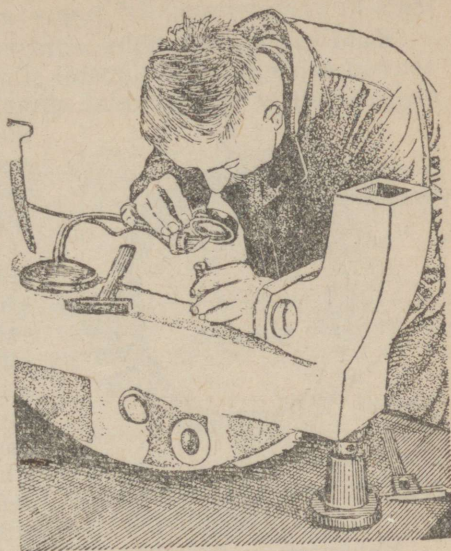
Silmas on kolm valgusturduvat keskkonda:

1. Vesivedelik, mis võtab enda alla väikese vaba ruumi läbipaistva sarvkesta ja vikerkesta vahel.

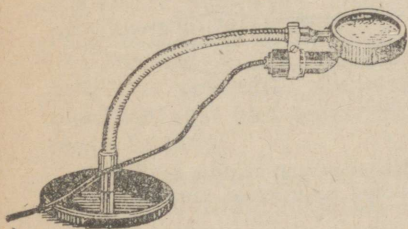
2. Silmalääts, mis oma kuju poolest meenutab kumerläätsse.
 3. Klaaskeha — sültjas aine, mis täidab silma kogu ülejäänud ruumi. Vesivedelik, silmalääts ja klaaskeha mõjuvad kui kokkuliidetud kumerlääts. Silmamauna seespoolsel küljel on võrkkest, milles hargneb nägemisnärv. Võrkkest on ekraaniks, kuhu tekivad esemete kujutised. Võrkkestale tekkinud kujutis kandub nägemisnärvi kaudu peajju.

Väljastpoolt on silm kaitstud kõvema kestaga — „silmavalgega“. Silmamauna eespooles keskmises osas läheb silmavalge üle sarvkestaks, mille taga on vesivedelik. Vesivedeliku ja silmalääte vahel on vikerkest (ehk värvkile); selle keskel on ümmargune ava — silmatera. Inimese vikerkest võib olla mitut värvi: hall, sinine, rohekas või pruun.

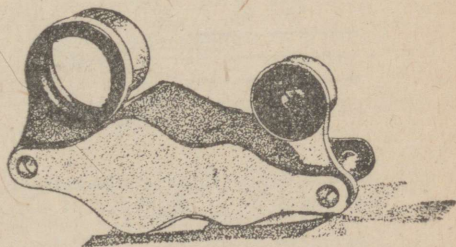
Võrkkestale tekib vaadeldava eseme vähendatud ümberpööratud kujutis.



Joon. 552. Töötlus-eseme märkimisel tarvitatakse valgustusseadmega luupi.



Joon. 553. Valgustusseadmega luup.



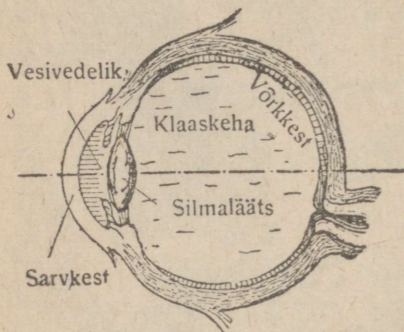
Joon. 554. Kokkupandav luup suurendusvõimega kuni 27 korda.

Kujutis on alati terav, kuigi vaadeldava eseme kaugus silmast on väga muutuv. Seda silma kohastumist kaugusele teki-

tab eriline lihas, mis muudab silmaläätse kumerust. Kui vaadeldav ese nihkub lähemale, silmaläätse kumerus suureneb ja lääts murrab valguskiiri tugevamini.

Kuid me ei saa näha võrdselt teravalt kahte eset, mis asuvad erisugustel kaugustel silmast. Hoiame pliiaitsit silmade ees (seejuures suleme teise silma): kui me silmitseme pliiaitsit,

siis on toas leiduvad esemed udused, aga kui me pöörame pilgu toa seintele, siis muutub pliiaits uduseks.

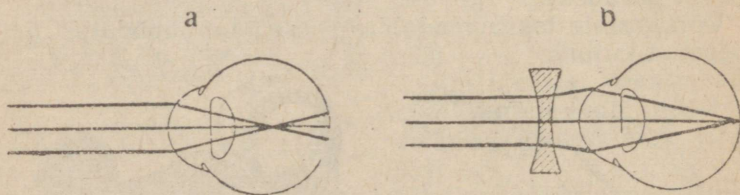


Joon. 555. Inimese silma läbilõige.

Silma lühinägevus seisneb selles, et vaadeldava eseme kujutis ei teki vörkkestal, vaid sellest eespool (joon. 556). Lühinägelik silm näeb teravalt ainult väga lähedal asetsevaid esemeid. Lühinägevuse parandamiseks tuleb vähendada silma valgusturdvat mõju; seda tehakse hajutavate klaasidega prillide abil.

Vanemas eas kaotab inimese silm kohastumisvõime, kuna silmaläätse kumerust muutev lihas lakkab töötamast; teisiti öeldult — inimese vananedes tekib kaugnägevus.

Kaugnägevus seisneb selles, et kujutis võib tekkida vörkkesta taga (joon. 557). Vanemas eas esineva kaugnägevuse

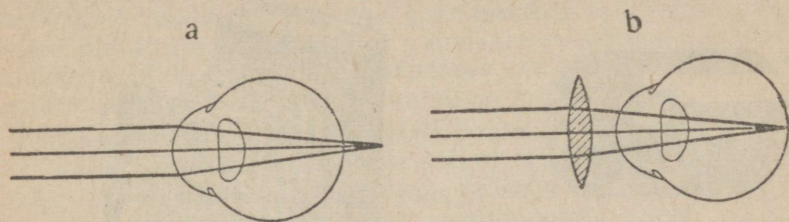


Joon. 556: a — lühinägevus seisneb selles, et eseme kujutis tekib vörkkesta ees; b — lühinägevust parandatakse hajutavate klaaside abil.

parandamiseks peab suurendama silma valgusturdvat mõju. Seda tehakse koguvklaasidega prillide abil.

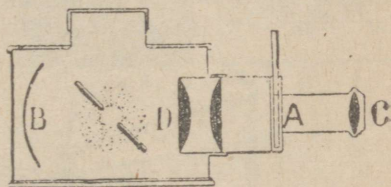
Silm säilitab valgusmuljet esemest teatava aja vältel (umbes 0,1 sekundit), seetõttu me näeme tiirlevat lennuki-

propellerit või tiirleva ratta kodaraid ühtlase kettana. Keerutame kiiresti pimedas hõõguvat peergu; me näeme vaid pidevat helendavat ringjoont.



Joon. 557: a — kaugnägevus seisneb selles, et lähemal asetsevate esemete silmitsemisel tekib kujutis võrkkesta taga; b — kaugnägevust parandatakse koguvläätsede abil.

§ 238. **Projektsiooniaparaat.** Joonis 558 kujutab projektsiooniaparaadi ehitust. Metallkarbi sees on suure valgustugevusega valgusallikas, näiteks kaarleek või eriline elektri-hõõglamp. Nõguspeegel B ja kaks kumerlääts D (mida nimetatakse „kondensoriks“) koondavad valgusallika kiiri läbi paistvale pildile A, seda tugevasti valgustades. Pilt — nõnda nimetatud „diapositiiv“ — asetseb lääts D fookuse ja kahekordse fookusekauguse vahel. Lääts C nimetatakse objektiiviks; ta on tehtud kahest või mitmest kokkuliidetud läätest. Objektiiv paiskab ekraanile pildi suurendatud kujutise.



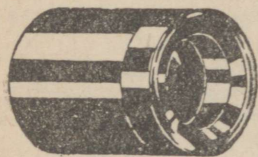
Joon. 558. Projektsiooniaparaat.

Objektiivid on igasuguste optiliste riistade tähtsamaiks osadeks, sest nad annavad esemete kujutisi.

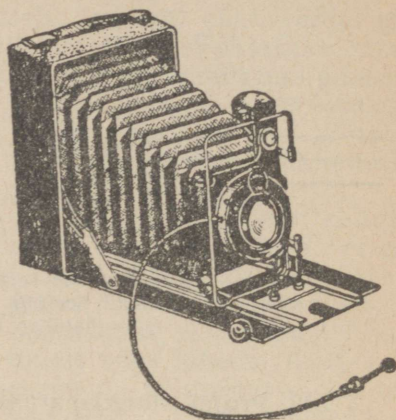
Kui objektiiviks on üksainus kumerlääts, siis on eseme kujutis kõverdatud ja tal on ümber vikerkaarevärviline vööt. Hea kujutise saamiseks peab objektiiv koosnema mitmest üksteise külge sobitatud läätest, mis on valmistatud erinevaist klaasisortidest (joon. 559).

Selline kokkuliidetud objektiiv töötab nagu kumerlääts, aga ta ei kõverda pilti ega tekita värvilisi vöote.

Projektsiooniaparaati tarvitatakse loenguil ja päevapiltide suurendamisel. Ta on ka kinoaparatuuri kõige olulisemaks osaks.

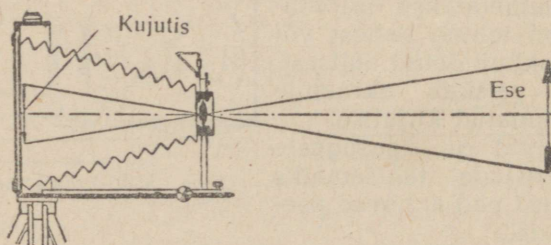


Joon. 559. Objektiiv koosneb mitmest läätsest.



Joon. 560. Fotoaparaat.

§ 239. **Fotoaparaat.** Fotoaparaat koosneb valguskindlast kastist (joon. 560 ja 561), mille eespoolsesse seina on paigutatud objektiiv (joon. 559). Objektiivi vastas on mattklaasiga



Joon. 561. Fotoaparaadi läbilõige.

raam; seda raami saab asendada kassetiga, milles on valgustundlik plaat.

Objektiiv tekitab mattklaasile pildistatava eseme vähendatud ümberpööratud kujutise (joon. 561).

Pildistamise eel seatakse fotoaparaat fookusse ehk teravuse

peale. Selleks nihutatakse objektiiv ette- või tahapoole, kuni kujutis mattklaasil on saavutanud kõige suurema teravuse.

Kaugemalseisvate esemete pildistamisel on objektiivile langevad valguskiired peaaegu paralleelsed; sel juhul peab kaugus objektiivi ja mattklaasi vahel olema võrdne fookusekaugusega. Mida lähemal on pildistatav ese, seda suurem peab olema objektiivi ja mattklaasi vaheline kaugus.

Kui aparaat on seatud teravuse peale, asendatakse mattklaas valgustundliku plaadiga ja avatakse objektiiv teatavaks ajaks. Objektiivi avamiseks ja sulgemiseks on tavaliselt olemas eriline mehaaniline sulgeja. Valgustusaeg peab olema seda pikem, mida nõrgemalt pildistatav ese on valgustatud.

Valgustundlikuks plaadiks on želatiinikihiga kaetud klaasplaat; želatiinikiht sisaldab pulbristatud jood- ja broomhõbeda segu. Objektiivi kaudu plaadile langev valgus põhjustab valgustundlikus kihis keemilise reaktsiooni. Valgustatud plaadil ei ole esialgu mingit nähtavat kujutist; et eseme pilt tekiks plaadile, tuleb plaati „ilmutada“. Ilmutamine toimub punases valguses erilise lahuse — ilmutaja — abil. Fotoplaadi kohad, kuhu on langenud valguskiiri, muutuvad ilmutamise juures tumedaks. Nüüd pannakse plaat teise lahuse — kinnitaja — sisse, mis kaotab plaadi valgustundlikkuse.

Pestud ja kuivatatud plaat ongi valmis negatiiv. Kohad, mis on saanud valgust, on tumedad; kohad, mis ei olnud valgustatud, on jäänud läbipaistvaks (joon. 562). Negatiivist võib teha kuitahes palju äratõmbeid valgustundlikule paberile. Selleks otstarbeks pannakse valgustundliku paberi leht erilisse raami negatiivi alla ja valgustatakse mõni sekund.

Valgustundlikku paberit ilmutatakse ja kinnitatakse nagu plaatigi. Paberile saadud äratõmmet nimetatakse positiiviks.

Fotograafimise tähtsus tegelikus elus on üldiselt tuntud. Ent fotograafimisel on ka teaduses väga suur tähtsus. Fotoaparaadi ja plaatidega saab teha pilte nähtustest, mida inimese silm ei saaks kunagi näha, nagu näiteks mürskude ja kuulide

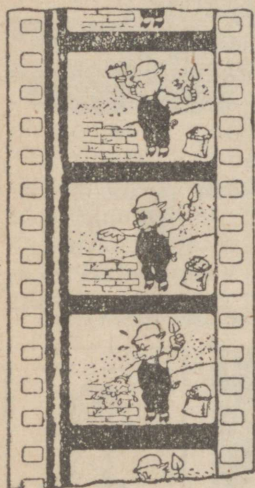


Joon. 562: a — negatiiv; b — positiiv.

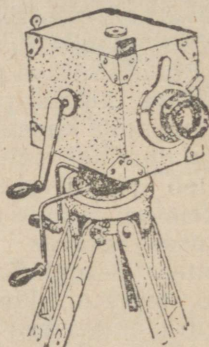
lend, kiireltliikuvate masinate töö, metallide sisemine ehitus ja palju muud. Ülesvõtteid saab valmistada ka mitmesuguste nähtamatute kiirte abil, nagu röntgeni- või soojuskiired.

§ 240. **Kino.** Meil on nüüd küllalt teadmisi hääle ja valguse alalt, et tutvuda kino sisseade ja tööga.

Kõik kinopildid võetakse üles läbi paistvale lindile — „filmile“ (joon. 563). Ülesvõtted tehakse filmimisaparaadi abil, mille ehitus on üldjoontes sarnane fotoaparaadi ehitusega. Olulisem vahe on sel-



Joon. 563. Kinolint (film). Vasakul pool on näha heliülesvõtte.



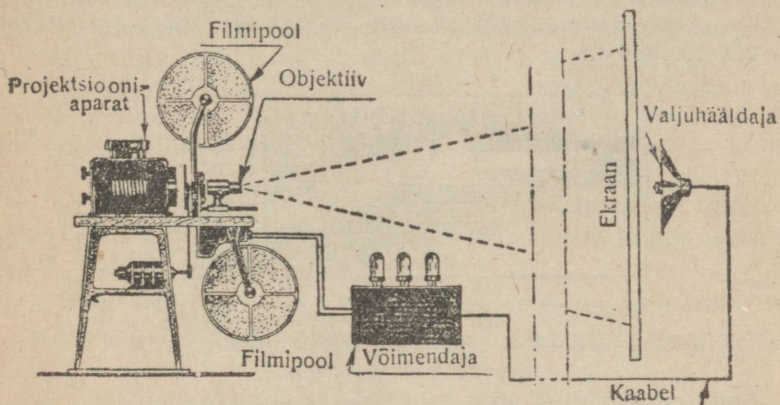
Joon. 564. Filmiaparaat.

les, et filmiaparaat pildistab esemeid liikuvale lindile, kiirusega 16—18 võtet sekundis tummfilmi jaoks ja 24 võtet sekundis helifilmi jaoks.

Liikuvate esemete kujutised kõrvutiolevail ülesvõtteil on üksteisest veidi erinevad.

Kinopildi näitamine toimub projektsiooniaparaadi abil (joon. 565). Seejuures liigutatakse linti sama kiirusega, millega tehti ülesvõtteid. Iga ruut (üksik pilt) jääb linalle umbes $\frac{1}{25}$ sekundiks. Kui üks pilt asendub teisega, sulgub aparadi ava ja lina pimeneb umbes $\frac{1}{50}$ sekundiks. Ent pealtvaatajad ei märka seda, kuna inimese silmal on see omadus, et ta näeb heledalt valgustatud eset veel veidi aega pärast selle eseme kadumist. Pealtvaatajaile jääb seetõttu katkestamatu liikumise mulje.

Soovikorral võib teha kiirendatud kinoülesvõtteid, pildistades eset mitte 18, vaid mitu tuhat korda sekundis. Kui laseme sellist filmi projektsiooniaparaadist läbi normaal-kiirusega, siis näib iga liigutus väga aeglane. Seda filmimisviisi nimetatakse piltlikult „aegluubiks“. „Aegluubi“ abil saab uurida metallide tagumise, lõikamise ja puurimise protsesse, sportlaste hüppeid, suusatajate jooksu, vintpüssikuuli liikumist torust väljumisel ja palju muid nähtusi, mille kiire möödumine ei luba nende uurimist palja silmaga.



Joon. 565. Kinoseadeldis.

Võib vändata ka aeglustatud filme, tehes vaid mõne võtte minutis või koguni tunnis. Kui näitame selliselt ülesvõetud kinofilmi normaalse kiirusega, siis näib pealtvaatajale, et filmitud nähtused toimuvad erakordselt kiiresti. Aeglustatud ülesvõtte teel võime kinos näidata hoonete ümberpaigutamist, puude kasvamist ja muud sellesarnast.

Kinofilmi võib valmistada paljudes tuhandetes eksemplari-ides. Filmi võivad näha miljonid pealtvaatajad. Seepärast on kino kujutavate kunstide seas massidele kõige kättesaadavam.

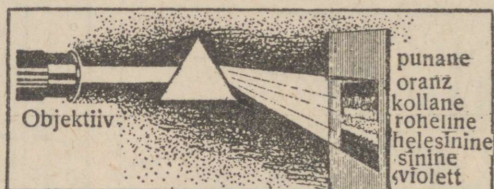
Kinofilme kasutatakse laialdaselt tööstuses tööliste väljaõpetamiseks, stahhaanovlike töömeetodite propageerimiseks ja tehnoloogia uurimiseks.

Meil Nõukogude Liidus on kino kommunistliku kasvatus- võimsaks relvaks.

Peale kunstipäraste filmide võib kinos näha ka papaanin-

laste elu põhjanabal, Volga-Moskva kanali ehitustöid, stahhaanovlaste tööd, õppe-tehnilisi filme ja palju muud.

§ 241. **Värvide hajumine. Spekter.** Kui juhime päikese või projektsiooniaparaadi kiire läbi kitsa pilu ja siis läbi prisma, mis asetseb rööbiti selle piluga, siis hajub valge kiir paljudeks värvitsoonideks, mis asetuvad üksteise suhtes kindlas järjekorras (joon. 566). Kitsa valge kiire asemel tekib ekraanile lai mitmevärviline riba. Seda riba nimetatakse spektriaks. Spektri arvukaist värvitsoonidest on kõige kergem eraldada järgmised seitse: punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, sinine ja violetne (needsamad värvitsoonid esinevad samas järjekorras ka vikerkaares).



Joon. 566. Valge valguskiir, mis on läbinud prisma, hajub spektri värvideks.

Spektri tekkimist võib seletada järgmiselt:

Päikeselt või lambilt saadud valge valguskiir on paljude erivärviliste kiirte segu, mis liiguvad ühes ja samas suunas. Prisma hajutab valge kiire värvilisteks kiirteks, kuna iga erivärviline kiir murdub erinevalt.

Punased kiired murduvad kõige vähem, violetsed kõige rohkem (joon. 566). Meie silmal on see omadus, et kui silma satub korraka mitu erineva värvusega kiirt, siis on aisting hoopis teine kui iga üksiku värvi nägemisel. Aga kui meie silma satuvad üheaegselt kõik spektrivärvid, siis me näeme valget värvi.

Teeme järgmise katse: jaotame väikese paberiketta sektoriteks ja värvime need spektri peavärvidega. Nüüd paneme ketta kiiresti pöörlema. Ketas näib valgena või (kui värvid ei ole hästi valitud) hallikana. Selles katses me segasime spektrivärvid ja saime valge värvi.

§ 242. **Kehade värvus.** Me ütleme, et veri on punane ja rohi on roheline. See tähendab, et veri peegeldab punaseid kiiri paremini kui kõiki teisi kiiri; rohi seevastu peegeldab peamiselt rohelisi kiiri, neelates peaaegu kõik teised kiired.

See on nii, kui kehad on valgustatud valge valgusega. Aga kehade värv muutub, kui valgustame neid värviliste kiirtega. Võtame rohukõrre ja asetame ta mitmesugustesse spektri osadesse. Punaste kiirte lõigus on rohukõrs peaaegu must, rohelistes kiirtes on ta roheline ja sinistes kiirtes — väga tume, nõrga sinaka varjundiga. Selle põhjuseks on asjaolu, et rohukõrs ei peegelda peaaegu üldse punaseid kiiri, aga peegeldab hästi rohelisi kiiri, kuna siniseid kiiri ta peegeldab palju vähemini kui rohelisi. Vaadates mõnd kangast elektervalgusel, näeme kanga värvust teistsugusena kui päevavalgel. See tuleb sellest, et lambivalguse koostis erineb päikesevalguse koostisest.

Taevas on sinine sellepärast, et õhk laseb vabalt läbi kõik kiired peale siniste; sinised kiired õhk osalt hajutab, osalt aga laseb läbi. Nii siis:

Keha värvi määrab asjaolu, missuguseid kiiri antud keha peegeldab või hajutab.

Värvide mitmekesisust, mida me näeme enda ümber, võib saavutada väge väheste värvide (harilikult kolme värvi) segamise teel. Sellel põhineb värviliste piltide trükkimine — värviline litograafia.

Et reprodutseerida värvilist pilti, trükitakse üksteise peale kolm pilti — kollane, punane ja sinine. Nende värvide segunemine annab pildi, mille värvus erineb vähe loomulikust.

Märgime:

Kehad, mis näivad meile mustadena, neelavad peaaegu kõik neile langevad kiired.

Mustad kehad, näiteks must samet või tahm, ei peegelda meie silmale peaaegu üldse mingisuguseid kiiri. Mustad kehad on õigupoolest nähtamatud: me näeme neid ainult kontrasti

tõttu ümberolevate kehadega. Me ei näe aga musta keha mustal taustal.

§ 243. **Temperatuuri mõõtmine optiliste abinõudega.** Valgus, mida kiirgavad soojad kehad, võib olla mitut värvi: päikese valgus on valge, elektri-hõõglambi valgus on kollakas, ahjus põleva söe valgus on punakas.

Mida kuumem on kiirgav keha, seda heledam ja valgem on valgus, mida ta annab; mida madalam on keha temperatuur, seda nõrgem ja punasem on ta valgus.

Kui laseme prismast läbi põleva söe punakat valgust, siis koosneb saadud spekter ainult punasest, oranžist ja kollasest värvitoonist; teisi värve ei ole peaaegu üldse näha. Järelikult: mida madalam on keha temperatuur, seda vähem violetseid, siniseid ja helesiniseid kiiri ta annab. Ja vastupidi, mida kõrgem on keha temperatuur, seda rohkem helesiniseid, siniseid ja violetseid kiiri ta annab.

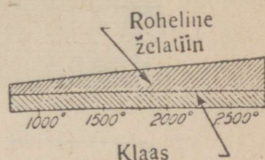
Kui süütame taas elektri-hõõglambi ja kaarleegi, siis on leegi valgus palju sinisem kui lambi valgus. Selle põhjuseks on, et kaarleegi temperatuur on lambi temperatuurist kõrgem.

Valguse värvusest võib järeldada kiirgava keha temperatuuri.

Näiteks tööline, kes karastab terastoodet, määrab silma järgi selle toote temperatuuri. Neetija määrab samuti värvuse järgi kuumutatud needi temperatuuri. Kogenud terasesulataja võib tunda silma järgi Martin'i ahjus sulatatud terase temperatuuri selle terase värvusest. Et täpsemalt määrata kehade temperatuuri nende värvuse järgi, tarvitatakse nõndanimetatud optilisi püromeetreid.

P ü r o m e e t r i l i n e k i i l on želatiinist kiil, mis on värvitud rohelisteks ja kinnitatud klaasplaadi külge (joon. 567). Selle roheline värv on läbipaistev; ta laseb läbi niihästi rohelisti kui ka punaseid kiiri, kusjuures punaseid kiiri ta laseb läbi isegi paremini kui rohelisti. Kui vaatame mõnd kiirgavat keha (näiteks hõõglampi) läbi kiilu õhema osa, siis näib metallniit rohelisena. Kui aga vaatame läbi kiilu paksema osa, siis näib

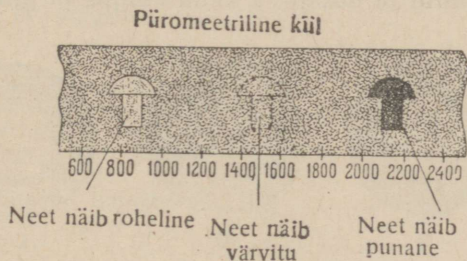
metallniit punasena. Kui vaatlene lampi kiilu keskelt, siis on lamp värvitu. Üleminek roheliselt valguselt punasele oleneb keha poolt eraldatud roheliste ja punaste kiirte hulga suhtest ehk keha temperatuurist. Mida kõrgem on keha temperatuur, seda rohkem on rohelisi kiiri ja seda paksem on see kiilu koht, kus meie silm näeb lambivalguse üleminekut roheliselt värvilt punasele. Kiilule on kantud temperatuuri kraadijaotised (joon. 567). Vaadates kuumutatud keha läbi kiilu ja jälgides, missuguse jaotise kohal keha on värvitu, võime määrata keha (näiteks kuumutatud needi) temperatuuri (joon. 568).



Joon. 567. Püromeetiline kiil.

Optiline püromeeter. Optiline püromeeter koosneb vaatetorust, milles asetseb akumulaatoriga töötav väike elektri-hõõglamp (joon. 569). Kiirgavat keha vaadeldakse läbi vaatetoru; lambi metallniit on nähtav selle keha pinnal (joon. 570).

Võime muuta metallniidi temperatuuri, muutes elektrivoolu tugevust reostaadi abil.

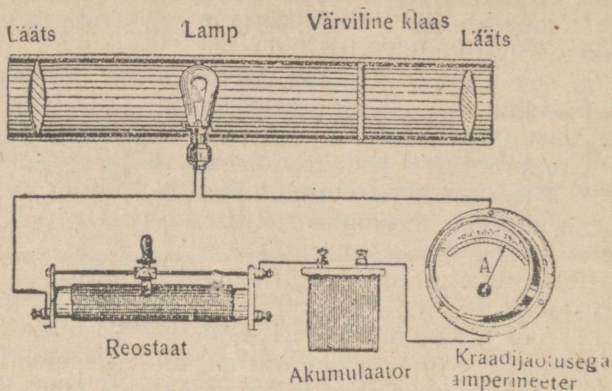


Joon. 568. Needi temperatuur on 1400—1600 kraadi.

Kui metallniidi temperatuur on keha temperatuurist madalam, siis näeme keha pinnal tumedamat niiti (joon. 570-a). Kui niidi temperatuur on kiirgava keha temperatuurist kõrgem, siis vaadeldes seda keha läbi toru, näeme keha pinnal heledamat niiti (joon. 570-b). Kui aga niidi ja keha temperatuurid on võrdsed, siis ei ole niiti vaadeldava keha taustal üldse näha (joon. 570-c).

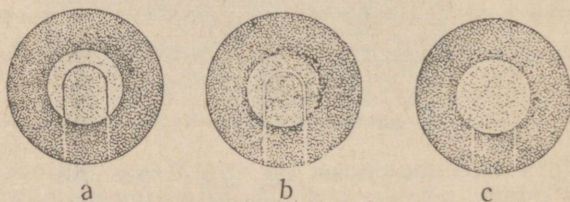
Vaatetoru juhatakse sellele kehale, mille temperatuuri tahetakse mõõta (näiteks hõõguyale terasepangale või läbi vaate-

augu Martin'i ahju sisemusse). Siis muudetakse reostaadi abil
voolutugevust hõõglambis, kuni lambi metallniidike kaob.



Joon. 569. Optiline püromeeter.

Lambiga ühendatud amperimeeter näitab mõõdetavat tempera-
tuuri. Et hõõgniidi ja hõõguva keha valgus ei pimestaks silmi,



Joon. 570. Vaatetoru kaudu vaadeldava hõõguva
keha taustal on näha lambi metallniit: a — niit
on vaadeldavast kehast külmem, b — niit on vaa-
deldavast kehast kuumem, c — niidi temperatuur
on võrdne keha temperatuuriga.

paigutatakse torusse värviline või tahmakorruga kaetud
klaas.

SISUKORD.

Kümmes peatükk.

Soojusnähtused.

	Lk.
§ 140. Soojus	3
§ 141. Soojuse allikad	3
§ 142. Kehade paisumine soojendamisel	5
§ 143. Soojuspaisumine tehnikas	6
§ 144. Temperatuur ja temperatuuri mõõtmine. Termomeeter	7
§ 145. Vee paisumise iseärasusi	10
§ 146. Soojuse levimine	11
§ 147. Kollete ehitus	16
§ 148. Keskküte	17
§ 149. Soojushulga mõõtmine. Kalor	18
§ 150. Erisoojus	19
§ 151. Kütteained	21
§ 152. Sulamine ja tahkumine	23
§ 153. Sulamič	26
§ 154. Valamine	26
§ 155. Sepistamine. Karastamine	27
§ 156. Aurustumine, keemine ja kondenseerumine	29
§ 157. Soojus ja töö	32
§ 158. Mehaanilise energia soojuse ekvivalent ja soojuse mehaanilise energia ekvivalent	34
§ 159. Soojusmootorite tõhutegur	35
§ 160. Aurumasin	36
§ 161. Aurukatel	37
§ 162. Auruturbiin	40
§ 163. Sisepõlemootorid	41

Üheteistkümmes peatükk.

Elektrivool.

§ 164. Elektrivool tehnikas ja igapäevases elus	46
§ 165. Elektrivoolu omadused	46
§ 166. Ampermeeter	49
§ 167. Vooluallikad	50
§ 168. Juhid ja isolaatorid	53
§ 169. Elektriahel	59
§ 170. Järjestikune ja paralleelne lülitus	60
§ 171. Pistiklülitid, lülitid, vinnaklülitid	61
§ 172. Elektrivoolu tugevus. Amper	63

	Lk.
§ 173. Juhtmete takistus	65
§ 174. Eritakistus	68
§ 175. Elektrijuhtmed	71
§ 176. Reostaadid	72
§ 177. Pinge. Voltmeeter	72
§ 178. Isolaatorid ja isoleermaterjalid	75
§ 179. Ohmi seadus	77
§ 180. Elektri võimsus	78
§ 181. Elektri võimsuse ühik	80
§ 182. Elektri töö	82
§ 183. Elektri töö ühikud	82
§ 184. Elektrivoolu soojusmõju	84
§ 185. Elektri-hõõglamp	85
§ 186. Lühiühendus. Kaitsmed	86
§ 187. Soojendusriistad	87
§ 188. Kaarleek ehk voltakaar	88
§ 189. Elekterkeevitus	90
§ 190. Elektriahjud	91

Kaheteistkümnes peatükk.

Elektromagnetism ja induksioon.

§ 191. Magnetid	94
§ 192. Magneti poolused	95
§ 193. Magneti ehitus	97
§ 194. Magnetiseerimine mõjumagnetismi abil	98
§ 195. Magnetiväli	100
§ 196. Elektrivoolu magnetiväli	101
§ 197. Keermetaolise traatpooli (solenoidi) magnetiväli	105
§ 198. Elektromagnet	106
§ 199. Elektromagnetiline induksioon	107
§ 200. Faraday katsed	108
§ 201. Teisi viise indutseeritud elektromotoorse jõu saamiseks	111
§ 202. Vahelduvvoolu generaator (alternaator)	112
§ 203. Kolmefaasise voolu mõiste	115
§ 204. Energia edasiandmine suurtele kaugustele	116
§ 205. Transformaator	118
§ 206. Alalisvoolu generaator (dünamo)	121
§ 207. Juhtme liikumine magnetiväljas	122
§ 208. Alalisvoolu mootor	123
§ 209. Kolmefaasine asünkroonmootor	124
§ 210. Elektrifitseerimine	127

Kolmeteistkümnes peatükk.

Hääl.

§ 211. Hääled looduses	129
§ 212. Hääleallikad. Häälevõnked	130
§ 213. Häälelained	131
§ 214. Hääle edasiandjad	133

	Lk.
§ 215. Häälelainete levimiskiirus	134
§ 216. Lained veepinnal	135
§ 217. Telefoniseade	136
§ 218. Telefoniseadme töö	137
§ 219. Telefoniaparaadi ehitus	138
§ 220. Lainete peegeldumine	138
§ 221. Resonants	139
§ 222. Hääle üleskirjutamine ja uuesti kuuldavaks tegemine	140

Neljateistkümnes peatükk.

Valgus.

§ 223. Valgusallikad	142
§ 224. Valguse mõju kehasse	143
§ 225. Valguse levimine	144
§ 226. Päikese- ja kuuvarjutused	146
§ 227. Valgustugevus, Pinnvalgustus	147
§ 228. Valguse peegeldumine ja hajumine	150
§ 229. Tasapeegel	152
§ 230. Nõguspeeglid	153
§ 231. Helgiheitja	155
§ 232. Valguse murdamine	156
§ 233. Prismad	159
§ 234. Läätsed	160
§ 235. Läätsede abil tekkivad kujutised	163
§ 236. Suurendusklaas (luup)	165
§ 237. Silm	166
§ 238. Projektsiooniaparaat	169
§ 239. Fotoaparaat	170
§ 240. Kino	172
§ 241. Värvide hajumine. Spekter	174
§ 242. Kehade värvus	175
§ 243. Temperatuuri mõõtmise optiliste abinõudega	176

Vastutav toimetaja A. Põdrus.

Ladumisele antud 3. VIII 1946. Trükkimisele antud 22. X 1946. Trükiarv 5200.
Paber 56×79, 1/16. Trükipoognaid 11,5. Trükitähti trükipoognas 42 240. Arvu-
tuspoognaid 11,9. MB-06602. Tellimise nr. 1215. Trükikoda „Punane Täht”,
Tallinn, Pikk tn. 54.

На эстонском языке.

А. Бачинский и С. Ильяшенко. Физика II.

A 16 172

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00422524 1