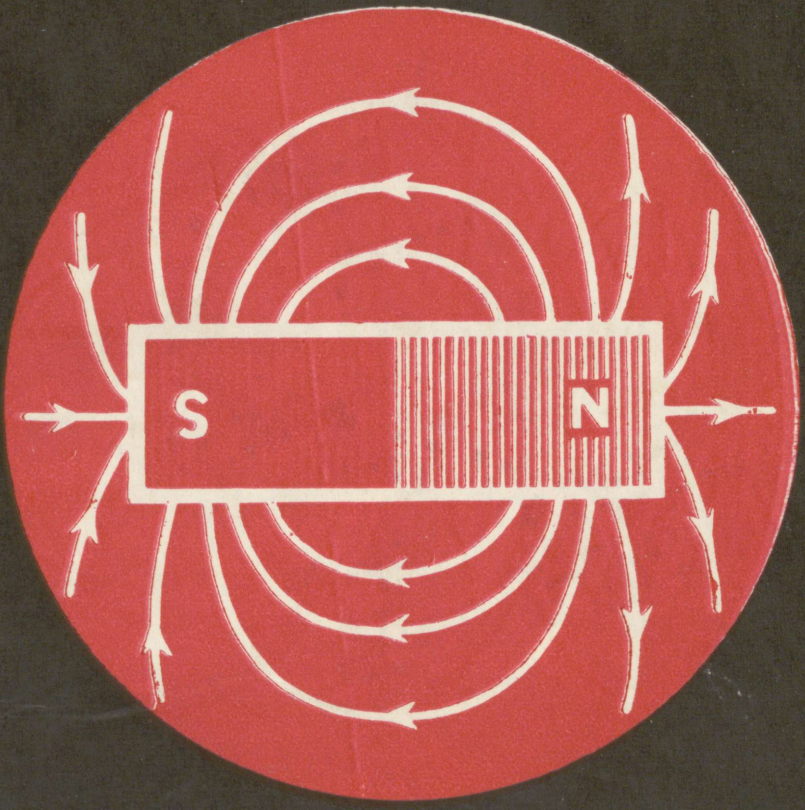
FÜÜSIKA

A. PJORÕŠKIN N. RODINA

8. KLASSILE



A = 30874

A. PJORÕŠKIN · N. RODINA

FÜÜSIKA

VIII KLASSILE

2. trükk

KIRJASTUS «VALGUS»
TALLINN 1971

53
P57

Originaali tiitel:
А. В. Перышкин, Н. А. Родина
ФИЗИКА
Учебник для седьмого класса
Под редакцией академика И. К. Кикоина
Утверждено Министерством просвещения СССР
Издательство «Просвещение» Москва 1971

Kunstiliselt kujundanud *A. Säde*

Vene keelest tõlkinud *E. Randma*

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt

2
TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU
229409

6—6—1

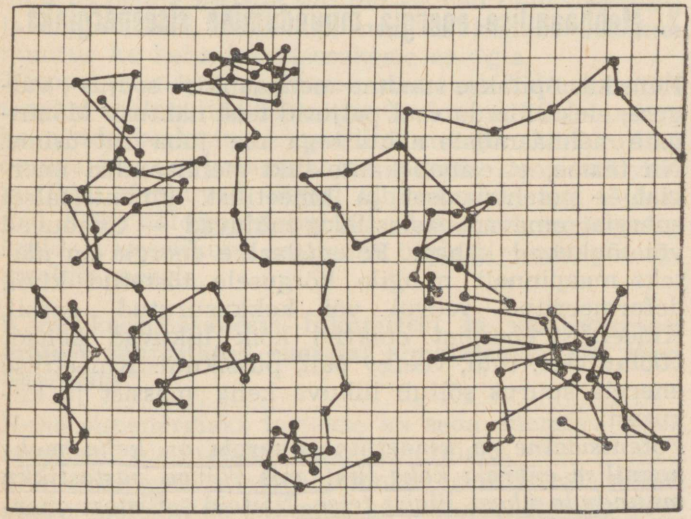
SOOJUSNÄHTUSED.

SOOJUSÜLEKANNE JA TÖÖ.

1. Soojusliikumine.

Me teame, et kehad koosnevad molekulidest. Molekulid on aga pidevas liikumises. Iga üksiku molekuli liikumine on mehhaaniline liikumine. Molekuli poolt läbitud tee ja liikumise keskmise kiiruse saame leida. Ka võime ette kujutada, kuidas molekul põrkab kokku keha teiste molekulidega. Joonisel 1 on antud gaasi molekuli trajektoori lõigud miljoneid kordi suurendatult.

Kõigi molekulide liikumine kokku moodustab väga keerulise liikumise. Tuletame meelde, et 1 cm^3 gaasis on umbes 25 000 000 000 000 000 000 $(2{,}5 \cdot 10^{19})$ molekuli. Peale selle tuleb arvestada, et iga mole-



Joon. 1.

kul liigub samuti keerukat teed mööda. Keha molekulide liikumise üldist pilti on isegi raske ette kujutada: miljardid ja miljardid väikesed osakesed liiguvad suure kiirusega kõikvõimalikes suundades, põrgetest naabermolekulide ja anuma seintega muutuvad nende kiirused. Seejärel jätkub liikumine järgmiste põrgeteni.

Teame juba, et keha molekulide liikumise kiirusega on seotud tema temperatuur (vt. 7. kl. õpik, § 12).

Molekulide korrapäratut liikumist, mis on seotud keha temperatuuriga, nimetatakse soojusliikumiseks.

Tundes aine sisemist ehitust ja teades, mida kujutab endast soojusliikumine, võime selgitada soojusnähtuste põhjusi. Neil nähtustel on inimese elus suur tähtsus. Soojusnähtusteks on näiteks õhutemperatuuri muutumine ööpäeva ja aasta jooksul, jää sulamine ja vee külmumine, metallide sulamine ja tahkestumine, vee aurumine ja kaste mahalangemine.

Küsimused.

1. Mida me teame keha ühe molekuli liikumisest? 2. Miks on keha kõigi molekulide liikumise üldpilt väga keeruline? 3. Miks nimetatakse molekulide korrapäratut liikumist soojusliikumiseks? 4. Tooge näiteid soojusnähtustest.

2. Mehhaanilise energia muundumine siseenergiaks.

Füüsikas õpitakse tundma mehhaanilisi, soojus-, valgus-, elektrilisi ja veel paljusid teisi nähtusi. Mõningate mehhaaniliste nähtustega me juba tutvusime. Nii teame, et esineb kahte liiki mehhaanilist energiat — potentsiaalset ja kineetilist. Potentsiaalset energiat omavad vastastikku mõjuvad — tõmbuvad või tõukuvad kehad. Potentsiaalne energia on näiteks maapinnalt mingile kõrgusele tõstetud kivil, deformeeritud vedrul või kokkusurutud gaasil. Kineetilist energiat omavad kõik liikuvad kehad. voolav vesi, tuul, veerev pall, püssikuul. Kineetilise energia suurus sõltub liikuva keha massist ja kiirusest.

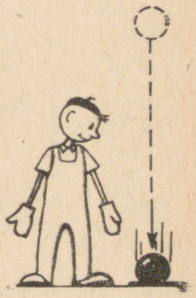
Potentsiaalne ja kineetiline energia on keha mehhaanilise energia kaks liiki, mis võivad vastastikku muunduda ühest liigist teise. Näiteid sellistest energia muundumistest vaatlesime juba 7. klassis (vt. 7. kl. õpik, § 111).

Jälgime veel ühte näidet energia muundumisest. Pliikuul visatakse üles nii, et ta alla langedes kukuks pliiplaadile. Kuuli üles visates andsime talle kineetilist energiat. Kuni kuul ülespoole lendab (joon. 2), tema kiirus väheneb, *järelikult väheneb ka kineetiline energia. Potentsiaalne energia aga järjest kasvab,* sest kuul tõuseb ju ikka kõrgemale ja kõrgemale. Oma teekonna kõige kõrgemas punktis kuul peatub hetkeks ja tema kineetiline energia muutub nulliks. Kuuli potentsiaalne energia on aga selles punktis suurim. Pärast seda hakkab kuulike langema. Tema kiirus suureneb, kaugus maapinnast aga väheneb. Järelikult *kuulikese kineetiline energia kasvab, potentsiaalne aga väheneb.* Pärast pliiplaadile langemist kuulike peatub (joon. 3) ning tema kineetiline ja potentsiaalne energia on nüüd plaadi suhtes võrdsed nulliga. Kas tähendab see, et mehhaaniline energia, mis kehal oli enne peatumist, kadus jäljetult? Ei, nii see pole. *Mehhaaniline energia lihtsalt muundus teiseks energialiigiks.*



Joon. 2.

Tutvume selle energia muundumisega lähemalt. Vaadeldes kuuli ja plaati pärast põrget, märkame, et kuul on veidi lapik ja pliiplaati on tekkinud väike lohk. Ühesõnaga, kuul ja plaat on põrkel deformeerunud.



Joon. 3.

Mõõtes kohe pärast põrget kuuli ja plaadi temperatuuri (seda on võimalik teha), teeme kindlaks, et nad soojenesid. Seega, kuuli põrkest vastu plaati muutus nende kehade seisund — nad deformeerusid ja kuumenesid. Kui aga muutus kehade seisund, muutus ka keha koostisosakeste energia.

Tõepoolest, nagu me teame, suureneb keha kuumutamisel molekulide liikumise keskmine kiirus, seega ka nende keskmine kineetiline energia. Molekulidel on aga ka oma potentsiaalne energia, kuna nad vastastikku tõmbuvad, liigsel lähendamisel aga tõukuvad. Keha deformatsiooni korral muutub tema molekulide vastastikune asetus ja ühtlasi nende potentsiaalne energia.

Keha koostisosakeste liikumisest ja vastastikusest mõjust põhjustatud energiat nimetatakse keha siseenergiaks.

Keha siseenergiaks loetakse ka seda energiat, mida tavaliselt nimetatakse aatomienergiaks.

Soojusnähtuste tundmaõppimisel peetaksegi silmas ainult molekulide energiat, sest soojusnähtuste juures muutub just molekulide liikumise kiirus ja vastastikune mõju. Seepärast edaspidi keha siseenergiast

rääkides mõtleme selle all keha molekulide kineetilist ja potentsiaalset energiat.
Pöördume nüüd tagasi katse juurde, kus oli tegemist pliist kuuli ja plaadiga. Katse põhjal võib teha järelduse, et keha peatumisel mehhaaniline liikumine lakkab, kuid see-eest keha molekulide korrapäratu liikumine (soojusliikumine) kiireneb. *Mehhaaniline energia muundub keha siseenergiaks.*

Küsimused.

1. Millised energia muutused toimuvad ülesvisatud kuuli tõusmisel ja langemisel? 2. Mis juhtub pliikuuli ja -plaadiga pärast põrget? 3. Missuguseks energiaks muundub kuulikese mehhaaniline energia tema langemisel plaadile? 4. Missugust energiat nimetatakse keha siseenergiaks?

3. Siseenergia.

Keha kõigi molekulide kineetilise ja potentsiaalse energia summa moodustabki selle keha siseenergia. Sama mõte on väljendatud juba eelmises paragrahvis.
Pole raske järeldada, et molekulide kineetiline ja potentsiaalne energia ei sõltu sellest, kas keha liigub või on paigal. Nii näiteks ei sõltu pliikuuli (§ 2) molekulide kineetiline ja potentsiaalne energia sellest, kas kuul lebab plaadil, on tõstetud selle kohale või liigub plaadi suhtes.
Tähendab, *keha molekulide energia ei sõltu keha liikumisest ega ka selle keha asendist teiste kehade suhtes.* Omades alati teatud siseenergia varu, võib kehal samaaegselt olla ka mehhaanilist energiat. Näiteks maapinnast teatud kõrgusel lendaval lennukil on peale siseenergia veel oma kindel mehhaaniline energia, s. t. nii kineetiline kui ka potentsiaalne energia.
Kuna molekuli mass on väike, siis ühe molekuli kineetiline ja potentsiaalne energia on väga väike. Kuid kehas on molekule palju ja seepärast ongi keha siseenergia, mis võrdub kõigi molekulide energia summaga, küllalt suur. Nii on vesiniku ühe molekuli kineetiline energia toatemperatuuril võrdne 0,000 000 000 000 000 000 005 J ($5 \cdot 10^{-21}$ J). Arvutused näitavad, et ühes kuupmeetris vesinikus sisalduvate molekulide kineetilise energia kogusumma on samadel tingimustel 140 000 J.
Toome niisuguse võrdluse. Kui tõsta hiiglasuur ram-

mimisnui massiga 5 t 3 m kõrgusele, on tema potentsiaalne energia ligikaudu samuti 140 000 J. Kuid taolise rammimisnuia potentsiaalset energiat on hõlpsam kasutada kui 1 m^3 vesiniku siseenergiat. On ju selge, et lastes nuial mingile detailile langeda, teeb nui tööd — tema potentsiaalne energia on ära kasutatud.

Kuid niisama lihtsalt ei saa me alati kasutada kehade siseenergiat. Siseenergia rakendusvõimaluste otsimisele pühendatakse teaduses palju tähelepanu. Tehnika edusammud on seotud sellega, kuivõrd inimkond on õppinud kehade siseenergiat ära kasutama. Siit selgub, kui tähtis on siseenergia rakendamise probleem.

Keha siseenergia ei avaldu mingi püsiva suurusena: ta võib muutuda isegi ühe ja sama keha juures. Keha temperatuuri tõusmisel tema siseenergia suureneb, sest suureneb ju molekulide keskmine kiirus ja koos sellega ka nende kineetiline energia. Temperatuuri langemisel, vastupidi, keha siseenergia väheneb.

Keha siseenergia muutub keha üleminekul ühest olekust teise, samuti keha deformeerimisel, tema jaotamisel väiksemateks osadeks, sest kõigil neil juhtudel muutub keha osakeste vastastikune asend. See aga tähendab, et muutub nende potentsiaalne energia. Näiteks teatud hulga veeauru siseenergia on tunduvalt suurem temaga võrdse veehulga siseenergiast. On ju teada, et vee üleminekul vedelast olekust auruks suurenevad molekulidevahelised kaugused, mistõttu suureneb ka kõigi molekulide potentsiaalne energia.

Võib öelda, et *keha siseenergia sõltub keha olekust.* Keha oleku muutumisel muutub ka tema siseenergia.

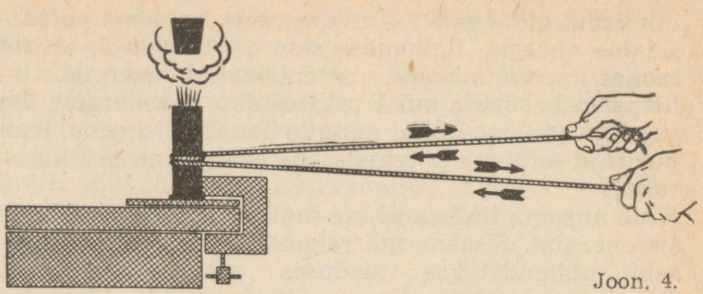
Küsimused.

1. Kas keha siseenergia sõltub keha kineetilisest või potentsiaalsest energiast? 2. Missugust energiat on kergem kasutada, kas mehhaanilist või siseenergiat? 3. Miks keha siseenergia temperatuuri tõusmisel suureneb? 4. Kuidas ja miks muutub keha siseenergia keha deformeerumisel ja üleminekul ühest olekust teise?

4. Keha siseenergia muutmise viisid.

1. Keha siseenergia muutub tema molekulide liikumiskiiruse muutumisel. Kuidas saaks seda kiirust suurendada või vähendada? Jälgime katset.

Alusele on kinnitatud õhukeseseinaline valgevasest



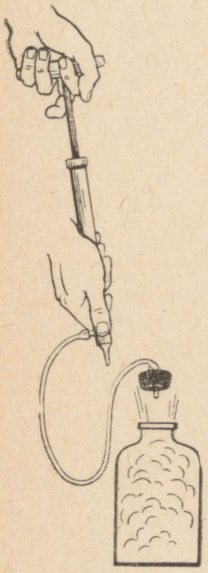
Joon. 4.

toru (joon. 4), millesse on valatud veidi eetrit. Toru on tihedalt suletud korgiga. Toru ümber pannakse nöör ja tõmmatakse seda kord ühes, kord teises suunas. Mõne aja pärast hakkab eeter keema ning aur surub korgi torult ära. Katse näitab, et eetri siseenergia suurenes: eeter soojenes, isegi kees. *Seesugune siseenergia suurenemine toimus töö arvel, mida tegime toru hõõrumisel nööriga.*

Kehad soojenevad ka nende tagumisel, painutamisel, muljumisel ehk lühemalt öeldes — deformeerimisel. Kõigil neil juhtudel teeme tööd, mistõttu kehade siseenergia suurenebki.

Seega võime öelda, et *keha siseenergiat võib suurendada tehtud töö arvel.*

Kui tööd teeb teatud konkreetne keha ise, siis tema siseenergia väheneb. Seda võib näha järgmisest katsest.



Joon. 5.

Võetakse paksuseinaline korgiga suletud klaasnõu ja pumbatakse sellesse vastava ava kaudu õhku. Mõne aja pärast kargab kork nõult (joon. 5). Momendil, mil kork ära lendab, tekib anumas udu. Udu ilmumine annab tunnistust sellest, et õhk anumas muutus külmemaks (meenutame, et ka looduses on udu ilmumine seotud õhu jahenemisega).

Anumasse kokkusurutud õhk tõukas sellelt korgi ja tegi seejuures tööd. Selle töö tegi õhk oma siseenergia arvel, kusjuures viimane muidugi väheneb. Seda asjaolu kinnitab õhu jahenemine anumas.

2. Ent on teada, et *keha siseenergiat võib muuta veel teisel teel, tööd tegemata.* Teame, et ilma tööta soojeneb pliidile asetatud teekann, kuuma tee sisse pistetud lusikas, küdev ahi, majakatus päikesepaistel jne. Kõigil nimetatud juhtudel tõuseb keha temperatuur, tähendab, suureneb siseenergia. Kuidas seda seletada?

Vaatleme näiteks kuuma tee sisse pandud külma metall-lusikat. Kuuma vee osakeste liikumiskiirus on suurem jaheda metalli osakeste liikumiskiirusest.

Neis kohtades, kus vesi metalliga kokku puutub, annavad kuuma vee osakesed osa oma kineetilisest energiast üle jaheda metalli osakestele. Selle tulemusena veeosakeste energia kokkuvõttes väheneb, metalliosakeste energia aga suureneb: vee temperatuur langeb, lusika oma tõuseb, kuni lõppude-lõpuks nende temperatuurid võrdsustuvad. Seoses vee molekulide kineetilise energia vähenemisega vähenes klaasis oleva vee siseenergia, lusika siseenergia aga suurenes.

Siseenergia seda osa, mis läks üle veelt lusikale, nimetatakse s o o j u s h u l g a k s. Samas tähenduses tarvitatakse ka veel sõna «soojus». Seepärast nimetatakse keha siseenergia muutmise viisi, kus energia antakse mehhaanilist tööd tegemata ühtedelt osakestelt teistele, s o o j u s ü l e k a n d e k s.

Niisiis, **keha siseenergia hulka võib muuta kahel viisil — mehhaanilise töö või soojusülekande kaudu.**

Kui keha on juba soe, pole võimalik enam öelda, kummal viisil on tema siseenergiat suurendatud. Näiteks peenikest sooja terasvarrast käes hoides ei saa me öelda, kuidas toimus soojendamine: kas tehti seda hõõrumise teel või hoiti varrast leegi kohal.

Küsimused.

1. Tooge näiteid, kus keha siseenergia suureneb mehhaanilise töö arvel. 2. Kirjeldage katset, mis näitab, et keha võib oma siseenergia arvel ise tööd teha. 3. Tooge näiteid, kus keha siseenergia suureneb soojusülekande teel. 4. Selgitage soojusülekannet aine molekulaarse ehituse seisukohalt. 5. Millised kaks võimalust on keha siseenergia muutmiseks?

Ülesanne.

Asetage vineeritükile või lauajupile viiekopikane raha ja hõõruge seda kiiresti edasi-tagasi. Pange tähele, mitu korda tuleb raha edasi-tagasi liigutada, enne kui see muutub soojaks? kuumaks? Tehke järeldus, kuidas on keha siseenergia suurenemine seotud tehtud tööga.

5. Soojusjuhtivus.

Siseenergiat, nagu iga teist liiki energiatki, võib ühelt kehalt teisele üle anda. Ühte taolist näidet, kus kuuma vee energia kandus üle külmale lusikale, me juba vaatlesime.

Võib tuua veel teisigi näiteid soojusülekandest ühelt kehalt või selle osalt teisele kehale või selle osale.

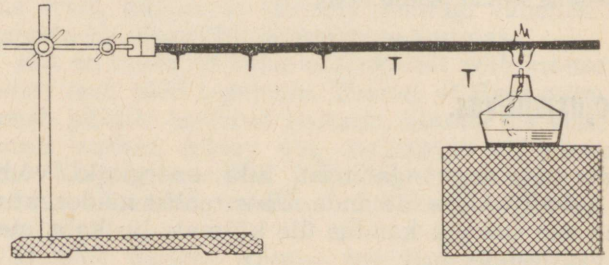
Ahju või keskküttesüsteemis ringleva vee soojus antakse edasi toa õhule. Maast 150 000 000 km kaugusel asuva Päikese energia jõuab samuti meieni. Kui asetame raudvarda otsa tulle, antakse leegi siseenergia mööda varrast edasi käele.

On hulgaliselt näiteid, kus energia läheb ise kuumemalt kehalt üle külmemale. Et aga toimuks vastupidine protsess, kus külmem keha annaks osa oma siseenergiast endast kuumemale kehale, *tuleb teha tööd.* Näitena võiks tuua külmutuskapi, kus soojust võetakse kapis asuvailt kehadelt ja antakse üle hoopis soojemale ümbritsevale õhule, kasutades selleks elektrivoolu tööd.

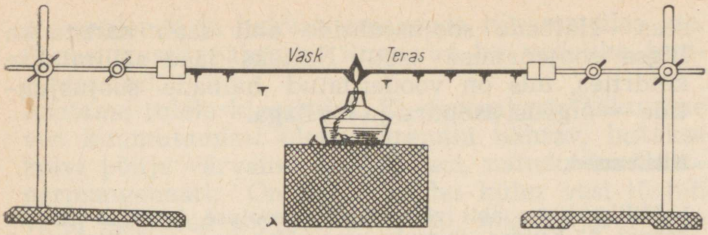
Vaatleme nüüd soojusülekande ühte liiki, mida nimetatakse s o o j u s j u h t i v u s e k s. Soojusjuhtivusega puutume kokku järgmises katses. Kinnitame jämeda vasktraadi otsapidi statiivi näpitsa vahele ning paneme traadi külge vahaga mõned naelad (joon. 6). Kuumutades traadi vaba otsa piirituslambi leegil, näeme, et vaha hakkab sulama ja naelad üksteise järel maha kukkuma. Esmajärjekorras langevad alla traadi vabale otsale lähemal asuvad naelad ja siis järjekorras kõik ülejäänud.

Kuidas toimub soojusülekanne traadis? Esialgu põhjustab kuum leek metalliosakeste intensiivsema liikumise traadi ühes otsas, mille temperatuur tõuseb. Seejärel antakse liikumine edasi naaberosakestele ja nende liikumiskiirus kasvab, s. t. et ka järgmise traadiosa temperatuur tõuseb. Edasi suureneb järgmiste naaberosakeste võnkumise kiirus jne. Seejuures on oluline märkida, et *soojusjuhtivuse korral aine enda ümberpaiknemist keha ühest otsast teise ei toimu.*

Erinevatel ainetel on ka erinev soojusjuhtivus. Selles võib veenduda katse varal, kus soojus levib erinevast metallist vardaid mööda (joon. 7). Samuti



Joon. 6.



Joon. 7.

teame igapäevasest elust, et ühtede ainete soojusjuhtivus on parem kui teistel. Raudnaela ei saa käes hoides kaua tulel kuumutada, põlevat tuletikku võime aga hoida seni, kuni leek ei puuduta kätt. Ainete erinevat soojusjuhtivust tõestab ka see kõigile tuttav nähtus, et metallkehad tunduvad meile katsumisel külmematena kui puu, plastmass, paber jne. Võtke kätte puust pliiats ja metallist käärid. Käärid tunduvad külmematena kui pliiats, kuigi nende temperatuur on ühesugune, sest nad asuvad ju samas toas. Teras tundub puust külmemana seepärast, et ta juhib kiiremini soojuse ära meie kätelt, s. t. terase soojusjuhtivus on parem kui puul. See näiv erinevus ilmneb ainult juhul, kui õhu temperatuur toas, järelikult ka pliiatsi ja kääride temperatuur on käe temperatuurist madalam.

Metallid on head soojusjuhid, neist kõige paremad — hõbe ja vask. Puu, klaas ja nahk juhivad soojust halvasti. Samuti juhivad halvasti soojust vill, karvad, linnusuled, paber, kartong, asbest, kork ja teised poorsed kehad.

Vedelikel, välja arvatud sulametallid (näiteks elavhõbe), on halb soojusjuhtivus. Gaasid on aga veel halvemad soojusjuhid. Nende molekulid asuvad üksteisest kaugel ja liikumise edasiandmine ühelt molekulilt teisele on raskendatud.

Vill, vatt, suled ja karusnahk juhivad soojust halvasti seepärast, et nende kiudude vahel on palju õhku. Kõige halvemini juhib soojust vaakuum (tühjus) — ruum, kust on eemaldatud õhu ja teiste gaaside kõik osakesed. Kuna soojusjuhtivus, s. o. soojuse levimine keha ühelt osalt teisele toimub molekulide või teiste osakeste vahendusel, siis on selge, et ruumis, kus osakesed puuduvad, ei saa olla ka soojusjuhtivust. Halbu soojusjuhte kasutatakse soojuse hoidmiseks. Näiteks tellistest seinad, mis juhivad soojust halvasti, aitavad hoida soojust hoone

sees. Halbade soojusjuhtide abil saab kaitsta ka liigse soojenemise eest. Näiteks jääd säilitatakse keldrites, mis on vooderdatud halbade soojusjuhtide — õlgede, saepuru ja mullaga.

Küsimused.

1. Millise katse abil võib jälgida soojuse levimist tahkes kehas? 2. Kuidas toimub soojusülekanne metalljuhtmes? 3. Miks tundub metall katsumisel külmem kui puu? 4. Missuguseid halbu soojusjuhte te tunnete? Kus neid kasutatakse?

Harjutus 1.

1. Miks kaitseb kohev lumi taliviljade oraseid külmumise eest?
2. Selgitage, miks õled, hein ja kuivad lehed juhivad soojust halvasti?
3. On välja arvutatud, et männilaudade soojusjuhtivus on 3,7 korda parem kui männisaepurul, et jää soojusjuhtivus ületab värske lume oma 21,5 korda (lumi koosneb väikestest jääkristallidest). Millest on tingitud selline erinevus?
4. Miks ütlus «kasukas soojendab» on väär?

6. Konvektsioon.

Vedelikke ja gaase soojendatakse tavaliselt altpoolt. Teekann veega asetatakse tulele, keskkütteradiaatorid, mis soojendavad toa õhku, paigutatakse akende alla põranda lähedale jne. Kas seda kõike tehakse juhuslikult?

Asetades käed kuuma pliidi või tulise lambi kohale, märkame, et pliidi või lambi kohalt tõusevad üles soojad õhuvoolud. Need õhuvoolud panevad pöörlema ka lambi kohale asetatud vireli (joon. 8). Soe õhk tõuseb üles.



Joon. 8.

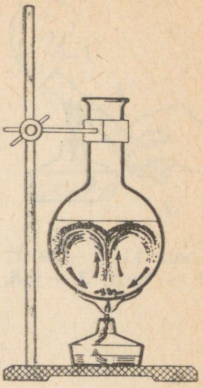
Sellist soojusülekannet nimetatakse konvektsiooniks[1].

Konvektsiooni puhul levib soojus vedeliku- või gaasivoolude liikumise teel. Õhk, mis puutub vahetult kokku pliidi või lambi pinnaga, soojeneb ja paisub. Teame aga, et soojenenud õhu tihedus on väiksem külma õhu omast, mistõttu soe õhk tõuseb ülespoole. Archimedese seaduse põhjal mõjub paisunud gaasile üleslükkejõud, mis on suurem allapoole suunatud raskusjõust. Soe õhk pliidi kohal asendub külmaga,

[1] Konvektsioon tuleneb ladinakeelsest sõnast *convectio*, mis tähendab «ülekandmine».

see soojeneb ja hakkab omakorda liikuma üles jne. Samasugused nähtused ilmnevad ka vedelike kuumutamisel.

Asetame tulele klaaskolvi. Et veeosakeste liikumine vee kuumutamisel oleks paremini nähtav, lastakse kolvi põhja värvaine kristallikesi, näiteks kaaliumpermanganaati. On näha, kuidas külm vesi tõrjub välja alumised soojenenud kihid, mis seejärel tõusevad ülespoole (joon. 9). Vesi hakkab liikuma suletud teed mööda, hakkab tsirkuleerima. Tänu sellisele ringvoolule soojeneb kogu vesi ühtlaselt. Vees nagu gaasiski kandub soojus ühest kohast teise koos aineosakeste vooga.

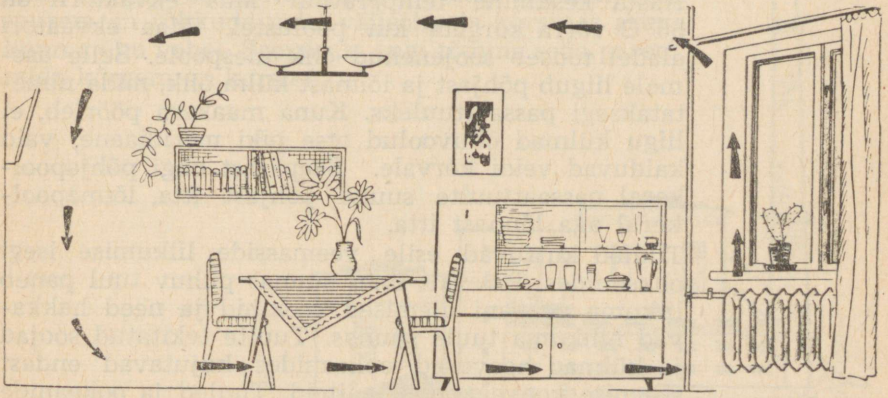


Joon. 9.

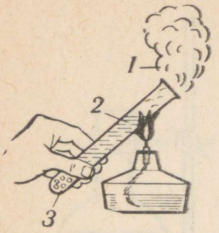
Konvektsioon toimub pidevalt ka meie elutoas (joon. 10). Konvektsiooni tõttu soojeneb õhk terve toa ulatuses.

Me vaatlesime konvektsiooni, mis toimub vabalt, n.-ö. loomulikul teel. Kui ebaühtlaselt kuumutatud vedelikku (või gaasi) segada pumba või muu vahendiga, on tegemist sundkonvektsiooniga.

Nüüd võib vastata käesoleva paragrahvi alguses püstitatud küsimusele, miks vedelikke ja gaase kuumutatakse alati altpoolt. Proovime kuumutada veega täidetud katseklaasi selliselt, nagu näidatud joonisel 11. Ülemistes kihtides vesi keeb, alumised on aga endiselt külmad. (Kui katseklaasi põhja panna tükk jääd, siis see isegi ei sula.) Miks? Sellisel kuumutamisel ei teki konvektsiooni, sest soojenenud veekihid ei suuda vajuda külmematest ja raskematest kihtidest allapoole. Võib-olla soojeneb vesi hoopis tänu soojusjuhtivusele? Kuid nagu eelnevast katsest selgus, on vee soojusjuhtivus väga halb ja vee soojenemist tuleks sel juhul väga kaua oodata.



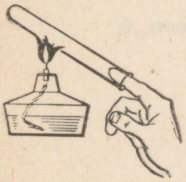
Joon. 10.



Joon. 11. *1* — aur; *2* — vesi; *3* — jää.

Täpselt samadel põhjustel ei soojene õhk katseklaasis, kui seda kuumutada ülalt (joon. 12).

Tahketes ainetes, kus molekulide liikumine on piiratud, pole konvektsiooni tekkimine võimalik. Tuletame meelde, et tahkes kristallilises aines võngub iga osake ühe kindla punkti ümber, kusjuures naaberosakeste vahel mõjub tugev vastastikune külgetõmbejõud. Seepärast ei saagi tahkete kehade kuumutamisel tekkida neis liikuvaid aineosakeste voolusid. Seda kinnitavad ka igapäevased kogemused. Nagu teame, levib soojus tahketes kehades soojusjuhtivuse teel.



Joon. 12.

Küsimused.

1. Kirjeldage katset, mis näitab, et õhk põleva lambi kohal liigub. **2.** Selgitage, kuidas ja miks toimub õhu liikumine kuuma lambi kohal. **3.** Kirjeldage, kuidas kuumeneb vesi tulele asetatud kolvis. **4.** Milles seisneb konvektsiooni nähtus? **5.** Mille poolest erineb loomulik konvektsioon sunnitud konvektsioonist? **6.** Miks vedelikke ja gaase kuumutatakse harilikult altpoolt? **7.** Miks ei saa konvektsioon toimuda tahketes kehades?

7. Konvektsioon looduses.

Täiendavaks lugemiseks

Kõik Maa atmosfääris esinevad tuuled kujutavad endast hiiglasuuri konvektsioonivoole. Juba see ainuke näide iseloomustab hästi, kui suur tähtsus on konvektsioonil.

Passaattuule (tuul, mis puhub lähistroopilistelt aladelt ekvaatori poole) tekkimise üheks põhjuseks on maapinna ebaühtlane soojenemine päikesepaistel. Aasta keskmine temperatuur Maa ekvaatoril on 50° C võrra kõrgem kui poolustel. Maa ekvaatori aladel tõuseb soojenenud õhk ülespoole. Selle asemele liigub põhjast ja lõunast külm õhk, mida nimetataksegi passaattuuleks. Kuna maakera pöörleb, ei liigu külmad õhuvoolud otse piki meridiaane, vaid kalduvad veidi kõrvale. Seepärast ongi põhjapoolkeral passaattuulte suund põhjast itta, lõunapoolkeral aga lõunast itta.

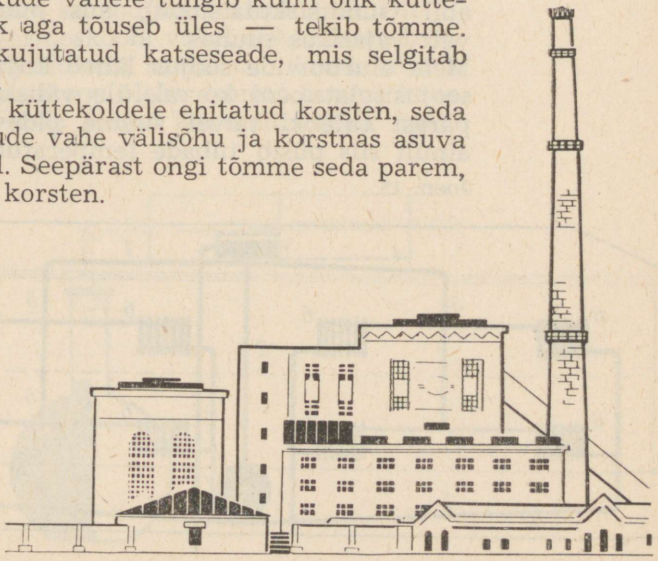
Tuuled kutsuvad esile veemasside liikumise isegi ookeanides. Pidevalt ühes suunas puhuv tuul paneb liikuma ookeani ülemised veekihid ja need hakkavad nihkuma tuule suunas. Tuulte tekitatud soojad ja külmad hoovused ookeanides kujutavad endast sisemise konvektsiooni näiteid. Tuuled ja ookeanide hoovused mõjutavad ka ilma ja kliimat, mis oma-

korda avaldab väga olulist mõju inimese elule ja tegevusele.
Konvektsiooni abil selgitatakse ka väiksema ulatusega tuulte, merekallastel puhuvate briiside tekkimist. Suvepäevadel soojeneb maapind päikesekiirte mõjul rohkem kui merevesi. Maapinna kohal asuv õhk soojeneb samuti ja tõuseb üles. Selle asemele tuleb merelt külm õhk — tuul puhub merelt maale. See ongi briis. Öösel aga jahtub merevesi aeglasemalt kui maapind. Nüüd on maapinna kohal asuv õhk külmem mere kohal asuvast õhust ja tekibki öine briis — külma õhu liikumine maalt merele.

8. Näiteid konvektsiooni kasutamisest tehnikas.

Täiendavaks lugemiseks

1. Tõmme. Me teame, et värske õhu juurdevooluta pole kütuse põlemine võimalik. Kui veduri küttekoldesse, ahju või samovari torusse õhku ei pääse, siis põlemine lakkab. Tavaliselt kasutatakse siin õhu loomulikku juurdevoolu — tõmmet.
Tõmbe tekitamiseks ehitatakse vabrikute, tehaste ja elektrijaamade katlamajade juurde kõrged korstnad (joon. 13). Kütuse põlemisel soojeneb ka õhk kütuse kohal, kusjuures õhu tihedus väheneb. Tähendab, ahjus ja korstnas asuva kuuma õhu kaal ja sellest tingitud rõhk muutuvad välisõhu omadest väiksemaks. Tänu rõhkude vahele tungib külm õhk küttekoldesse, soe õhk aga tõuseb üles — tekib tõmme. Joonisel 14 on kujutatud katseseade, mis selgitab tõmbe tekkimist.
Mida kõrgem on küttekoldele ehitatud korsten, seda suurem on rõhkude vahe välisõhu ja korstnas asuva kuuma õhu vahel. Seepärast ongi tõmme seda parem, mida kõrgem on korsten.



Joon. 13.



Joon. 14.

2. Vesikeskküte. Paljudes suurtes majades kasutatakse tänapäeval vesikeskkütet.

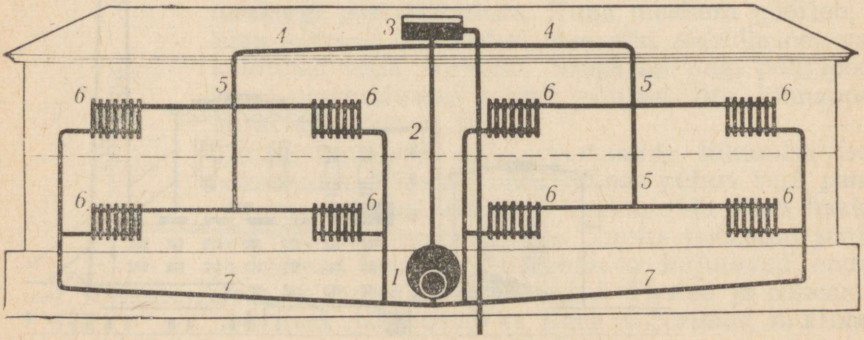
Hoone keldrikorrusele paigaldatakse katel *1* (joon. 15), milles kuumutatakse vett. Katla ülaosast läheb üles pööningule jäme peatoru (magistraaltoru) *2*, mis suubub paisumispaaki *3*. Viimast nimetatakse nii sellepärast, et siia voolab soojenemisel paisunud üleliigne vesi. Paisumispaagist väljub mööda pööningut laiali jaotustorude süsteem *4*, millest omakorda saavad alguse tube läbivad vertikaaltorud *5*. Vertikaaltorudest läheb kuum vesi radiaatoritesse *6*, mis kujutavad endast malmtorude süsteemi. Radiaatorid paigutatakse tavaliselt akende alla. Läbinud radiaatorid, läheb vesi tagasivoolutorudesse 7, mis asuvad juba keldrikorrusel. Siin ühinevad kõik tagasivoolutorud üheks jämedaks toruks, mis suubub läbi katla põhja katlasse. Kogu radiaatorite ja torude süsteem ning katel on täidetud veega.

Kuum vesi soojendab radiaatoreid, andes neile ära osa oma soojusest. Radiaatoritelt levib aga soojus toa õhule. Vesi ise seejuures muidugi jahtub ning voolab äravoolutorude kaudu tagasi katlasse, kus kuumeneb uuesti, tõuseb pööningule, läbib jällegi radiaatorid, andes neile osa oma soojusest jne. Selline vee ringkäik keskküttesüsteemis ja järelikult ka soojuse levimine katlast radiaatoritele toimub pidevalt seni, kuni vett katlas kuumutatakse.

Suurtes majades pannakse vesi ringlema pumpade abil (sundtsirkulatsioon), mis pumpavad pidevalt vett vajalikus suunas.

Meie eluruumide soojus läheb kogu aeg, isegi hea soojusisolatsiooni korral, üle väliskeskkonda. Seepärast tulebki talvel ruume pidevalt kütta, sest ainult siis püsib tubade temperatuur ühtlane.

Joon. 15.

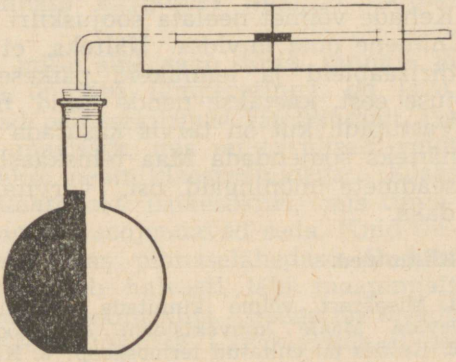


Harjutus 2.

1. Miks on põrand toa kõige külmemaks kohaks?
2. Miks tehakse õhuaknad tavaliselt ikka akende ülaossa?
3. Miks ehitatakse vabrikute korstnad hästi kõrged?

9. Kiirgamine.

Kuidas jõuab meieni Päikese soojus? Asub ju Maa Päikesest 150 000 000 km kaugusel, kusjuures väljaspool meie atmosfääri puudub pealegi aineosakesi sisaldav keskkond, s. t. on tegemist peaaegu vaakuumiga. Kuna vaakuumis ei saa soojus levida ei konvektsiooni ega ka soojusjuhtivuse teel, siis järelikult peab olema veel üks soojuse levimise viis.
Selle soojusülekande liigiga võime tutvuda katsete põhjal. Võetakse väike ühelt küljelt tahmatud kolb (joon. 16), mille korki läbib peenikese kanaliga täisnurkne toru. Torusse pannakse veidi värvitud vedelikku. Kinnitanud toru külge skaala, saame termoskoobi, mis võimaldab kindlaks teha isegi kõige tühisema õhu soojenemise tahmatud kolvis. Tuues küljelt termoskoobi lähedale, umbes 1 m kaugusele, kuuma malmi- või mõne muu metalli tüki, märkame, et termoskoobi torus asuv vedelikutilk nihkub paremale. On ilmne, et õhk kolvis soojenes ja paisus. Õhu kiire soojenemine termoskoobis on seletatav sellega, et teatud hulk soojust levis kuumalt malmilt termoskoobile. Antud juhul ei saanud soojus levida ei konvektsiooni ega ka soojusjuhtivuse teel. Oli ju kuuma malmi ja termoskoobi vahel õhk, mis on halb soojusjuht. Konvektsioonist saaksime rääkida ainult sel juhul, kui termoskoop oleks asunud kuuma keha kohal. Järelikult levis soojus kuumalt kehalt (mal-



Joon. 16.

milt) termoskoobile uuel, meile seni tundmatul viisil.

Selles katses sai termoskoobi kolb soojust nähtamatutelt kiirtelt, mis lähtusid kuumalt kehalt. Seda järeldust võib kinnitada lihtsa katsega. Asetame kuuma malmitüki ja termoskoobi vahele valge paberilehe. Termoskoobi soojenemine lakkab, sest kiired läbi paberi ei tungi.

Kõik kuumutatud kehad annavad soojust teistele kehadele k i i r g u s e teel. *Soojuse levimine kiirgusena erineb teistest soojusülekande viisidest selle poolest, et see võib toimuda ka täielikus vaakuumis.*

Nähtamatuid kiiri kiirgavad nii tugevalt kuumutatud kui ka suhteliselt jahedamad kehad, nagu ahi, elektrihõõglamp, inimese keha jne.

Mida kõrgem on keha temperatuur, seda rohkem energiat kaotab ta kiirguse teel.

Kehad, mille temperatuur on väga kõrge, nagu näiteks Päike ja elektrilambi hõõgniit, kiirgavad peale nähtamatute kiirte veel ka nähtavaid kiiri — valgust.

Kehale langevad nähtamatud ja nähtavad kiired osaliselt neelduvad selles kehas, mistõttu keha soojeneb. Seejuures soojenevad kehad, sõltuvalt keha pinnast, erinevalt.

Kui katse ajal pöörata kuuma keha poole algul termoskoobi kolvi tahmatud, seejärel aga tahmamata külg, nihkub torus asuv vedelikutilk esimesel juhul kaugemale kui teisel. See näitab, et tumeda pinnaga kehad neelavad kiiri paremini ja soojenevad kiiremini kui heledad kehad.

Samal ajal aga jahtuvad tumedapinnalised kehad kiiremini kui heledad, sest nad kiirgavad ka ise rohkem soojust. Nii näiteks seisab kuum vesi heledas teekannus palju kauem soe kui tumedas.

Kehade võimet neelata soojuskiiri erinevalt kasutab inimene oma huvides. Näiteks, et kaitsta õhupalle, dirižaableid ja lennukeid päikesekiirte liigse soojuse eest, kaetakse nende pind hõbedase värviga. Vastupidi, kui on tarvis kasutada Päikese energiat, näiteks soojendada Maa tehiskaaslastele paigutatud seadmete mõningaid osi, värvitakse need tumedaks.

Küsimused.

1. Mispärast võime kinnitada, et Päikese energia ei saa levida Maale konvektsiooni ega soojusjuhtivuse teel? 2. Kuidas on ehitatud termoskoop? 3. Kuidas näidata katse-

liselt soojuse levimist kiirgusena? 4. Millised kehad neelavad soojust hästi, millised halvasti? 5. Kuidas arvestab inimene kehade võimet erinevalt neelata soojuskiiri?

Harjutus 3.

1. Suvel saab hoones olev õhk soojust juurde mitmel viisil: läbi seinte ja aknaklaasi, mis laseb läbi päikesekiiri, ning avatud aknast, kust siseneb soe õhk. Milliste soojusülekande liikidega on siin tegemist?
2. Seistes ahjusuu ees või lõkke ääres, tunneme, kuidas meie keha soojeneb. Millisel teel levib siin soojus meieni? Põhjendage vastust.
3. Tooge näiteid, millest ilmneks, et tumedad kehad neelavad soojuskiiri paremini kui heledad.

10. Soojusülekande rakendusi praktikas.

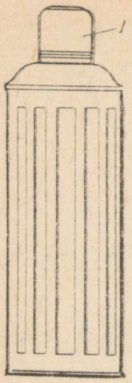
Täiendavaks lugemiseks

1. Soojuse levimine ja taimeriik. Madalamate õhukihtide ja pinnase pealmise kihi temperatuuril on suur tähtsus taimede kasvamisele ja arenemisele.

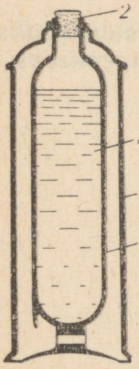
Maapinna kohal asuvas õhukihis ja pinnase ülemises kihis temperatuurid pidevalt muutuvad. Päeval neelab pinnas rohkem soojuskiiri ja soojeneb, öösel, vastupidi, aga jahtub. Pinnase soojenemist ja jahtumist mõjutab taimestik. Nii soojeneb tume küntud pinnas päikesekiirte mõjul palju rutem kui taimkatte all olev pinnas, kuid ka jahtub kiiremini.

Soojusvahetust õhu ja pinnase vahel mõjutab samuti ilm. Selgetel, pilvitutel öödel jahtub maapind tugevasti — pinnase kiirgus hajub takistamatult maailmaruumi. Varakevadel võib seesugustel öödel esineda pinnase külmumist. Pilves ilmaga aga varjavad pilved maakera ja moodustavad omapärase ekraani, mis vähendab pinnase kiirgusest tingitud soojuskadusid.

Üheks vahendiks, mille abil saab tõsta pinnase ja selle kohal asuva õhukihi temperatuuri, on lava. Lavad võimaldavad päikesekiirgust täielikumalt ära kasutada. Teatud maatükk, mis on tavaliselt veidi süvendatud, kaetakse pealt klaasraamidega. Klaas laseb hästi läbi *nähtavaid* päikesekiiri, mis tumedale pinnasele langedes soojendavad seda. Kuid teiselt poolt takistab klaas pinnaselähedase õhukihi jahtumist, sest ta laseb halvasti läbi maapinnalt lähtuvaid *nähtamatuid* soojuskiiri. Seega on lavade klaas soojusele otsekui lõksuks. Lavaklaaside all on



Joon. 17.



Joon. 18. Termos: *1* — kübar; *2* — kork; *3* — vedelik; *4* — ümbris; *5* — klaasanum.

temperatuur umbes 10 °C võrra kõrgem kui katmata pinnase kohal.

2. Termos. Soojuse levimine kuumemalt kehalt jahedamale viib lõpuks nende temperatuuride võrdsustumisele. Seepärast jahtubki tuppa toodud kuum teekann kaunis kiiresti. Osa tema siseenergiast läheb üle ümbritsevatele kehadele. Et takistada keha jahtumist või soojenemist, tuleb vähendada soojusülekannet. Seejuures püütakse toimida selliselt, et soojus ei saaks levida ühegi soojusülekande viisi — konvektsiooni, soojusjuhtivuse ega kiirguse teel.

Et hoida vett või toitu soojana, kaitsta jääd või jäätist sulamise eest, tuleb kasutada termost (joon. 17). Joonisel 18 on kujutatud vedelike hoidmiseks kasutatav termos. See koosneb kahekordsete seintega klaasnõust. Seinte sisepind on kaetud heleda läikiva metallikihiga, seintevahelisest ruumist on aga õhk välja pumbatud. Õhutühi ruum seinte vahel ei juhi peaaegu üldse soojust, hele metallikiht aga, peegeldades kiiri, takistab soojuse levimist kiirguse teel. Et kaitsta termose klaasnõu purunemise eest, paigutatakse see kas plekk- või pappkesta sisse. Termose klaasanum suletakse hariliku korgiga, termose kest aga kaitsekübaraga.

Harjutus 4.

1. Kosmoselaeva lennu ajal soojeneb laeva välispind hõõrdumisest vastu õhuosakesi, samuti päikesekiirte toimel. Kumb soojenemise põhjus on ülekaalus lennukõrguse kasvamisel? kahanemisel? Põhjendage vastust.
2. Üks võimalusi vajaliku temperatuuri säilitamiseks kosmoselaevas või tehiskaaslases on järgmine. Tehiskaaslase kest tehakse kahekordne ja seintevaheline ruum täidetakse gaasiga (näiteks lämmastikuga). Ventilaatorid panevad gaasi liikuma läbi kütteseadmete, kusjuures soojenenud gaas hoiab temperatuuri ühtlasena kogu tehiskaaslase kesta ulatuses. Miks ei piisa siin loomulikust konvektsioonist, vaid tuleb kasutada sundkonvektsiooni?

11. Soojushulk.

Eelmistes paragrahvides tutvusime soojusülekande viisidega. Pöördume nüüd keha siseenergia kasutamise võimaluste juurde ja selgitame, kuidas arvutada ühel või teisel juhul keha siseenergia muutumise suurust.

Alustame soojusülekandest. Soojusülekande korral mehhaanilist tööd ei tehta, vaid siseenergia antakse

ühelt kehalt üle teisele konvektsiooni, soojusjuhtivuse või kiirguse teel.

Siseenergia hulka, mille keha saab või kaotab soojusülekande protsessis, nimetatakse soojushulgaks.

Mõistet «soojushulk» kasutatakse sel juhul, kui keha siseenergia on muutunud *ainult soojusülekande tõttu.* Kui keha siseenergia muutumine on tingitud aga keha juures tehtud tööst, siis soojushulga mõistet me ei kasuta.

Niisiis, keha siseenergia muutumine, mille põhjustab soojusülekanne, viib meid soojushulga määramisele. Et õppida soojushulga suurust arvutama, selgitame kõigepealt, millest soojushulk sõltub.

1. Kui tahame, et vesi teekannus ainult leigeks läheks, soojendame kannu lühikest aega. Tahame aga saada kuuma vett, tuleb kannu kauem tulel hoida, s. t. anda talle suurem soojushulk. Järelikult, *mida kõrgemale soovime vee temperatuuri tõsta, seda suurema soojushulga peame talle andma.*

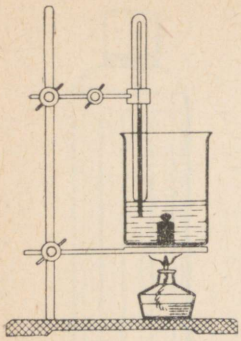
Ka jahtumisel annab vesi ümbritsevaile kehadele seda rohkem soojust, mida suurema arvu kraadide võrra vee temperatuur langeb.

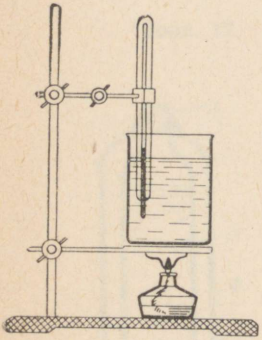
Kuid paljast teadmisest, kui mitme kraadi võrra tõusis või langes keha temperatuur selle kuumutamisel või jahtumisel, ei piisa, et otsustada soojushulga suuruse üle. Tõepoolest, tuliseks aetud triikraud, mida ei saa puudutadagi, ei suuda tuba soojendada. Samas aga võime veenduda, et soe ahi või keskkütteradiaator, mille temperatuur on umbes 60 °C, soojendavad tuba väga hästi.

2. Kõigil meil on tulnud soojendada vett, mistõttu teame, et mida rohkem vett on, seda rohkem soojust kulub tema kuumaksajamiseks. Veega ääreni täidetud teekannu soojendamiseks teatud temperatuurini kulub rohkem soojust kui poolestsaadik täidetud kannu soojendamiseks sama temperatuurini.

Asetame pliidile kaks kruusi veega. Ühte neist valame 200 g, teise aga 400 g vett. Esimeses kruusis, kus on 200 g vett, hakkab vesi varem keema kui teises. Võtame esimese kruusi pliidilt ja jälgime teist kruusi. Et vesi ka selles keema hakkaks, tuleb talle anda juurde veel teatud hulk soojust. Järelikult, *soojushulk, mis kulub mingi keha soojendamiseks, sõltub selle keha massist.*

Jahtumisel aga eraldub kehast seda rohkem soojust, mida suurem on tema mass. Mida suurem on ahju mass või mida rohkem ribisid on keskkütteradiaatoril, seda enam nad soojendavad tuba.





Joon. 19.

3. Soojendame kahel ühesugusel põletil kahte anumat, kusjuures esimeses neist on 400 g vett, teises aga 200 g vett ja 200-grammine malmviht. Seega on meil mõlemas anumas olevad ainemassid võrdsed, s. o. kummaski 400 g (joon. 19). Samuti on ühesugused kuumutamise tingimused, sest anumad saavad soojust ühesuguseilt põleteilt. Erinevus on vaid selles, et teises nõus on 200 g vee asemel 200 g malmi.

Termomeetrid näitavad, et teises nõus, kus asub malmviht, toimub soojenemine kiiremini. Et esimese nõu temperatuur saaks võrdseks teise nõu temperatuuriga, tuleb esimesele nõule anda juurde täiendav soojushulk. On ilmne, et võrdse massiga vee- ja malmihulga soojendamiseks ühe ja sama arvu kraadide võrra on tarvis erinev hulk soojust: vee jaoks kulub soojust rohkem, malmi jaoks vähem. Järelikult, *kehale soojendamisel antud soojushulk sõltub ka sellest, mis ainest keha on valmistatud.*

Kehale kuumutamisel antav soojushulk sõltub selle keha ainest, massist ja temperatuuri muutmise ulatusest.

Küsimused.

1. Mida nimetame soojushulgaks? Missugusesse siseenergia muutumise valdkonda see mõiste kuulub? 2. Kuidas sõltub soojushulk keha temperatuuri muutumisest? 3. Miks ei saa ainult keha temperatuuri muutuse põhjal otsustada, kui palju sai keha soojust juurde? 4. Kuidas sõltub soojushulk keha massist? 5. Kirjeldage katset, mis näitas, et kehale antav soojushulk sõltub ainest, millest keha on valmistatud. 6. Millest sõltub soojushulk, mis antakse kehale tema kuumutamisel?

12. Soojushulga ühikud.

Eelmisest paragrahvist me juba teame, et soojushulgaks nimetatakse siseenergia hulka, mida keha saab või kaotab soojusülekande teel. Nagu iga teist energia liiki, tuleb ka siseenergiat mõõta džaulides, (J), kuigi juba ammusest ajast peale on igapäevases elus kasutatud soojushulga mõõtühikuna kalorit[1] (cal).

Kalor on soojushulk, mis on vajalik ühe grammi vee soojendamiseks ühe kraadi võrra.

[1] Kalor tuleneb ladinakeelsest sõnast *calor* — soojus, kuumus.

Täpselt samuti võib öelda, et kalor on soojushulk, mille 1 g vett kaotab jahtumisel 1 °C võrra.
Tehnikas kasutatakse soojushulga mõõtmiseks harilikult suuremat ühikut — kilokalorit (1 kcal = = 1000 cal). Soojushulga mõõtühikuteks on seega J, kcal ja cal. Nende ühikute vahel valitsevad seosed:
1 kcal = 1000 cal,
1 cal = 4,19 J ≈ 4,2 J,
1 kcal = 4190 J ≈ 4200 J.

Küsimused.

1. Missugustes ühikutes mõõdetakse siseenergiat ja soojushulka? 2. Mis on kalor ja kilokalor? 3. Mitme džauliga võrdub soojushulk 1 kcal?

13. Erisoojus.

Ühe kilogrammi vee soojendamiseks 1 °C võrra on vaja soojushulka, mis võrdub 4200 J ehk 1 kilokaloriga. Kui tahetakse 1 °C võrra tõsta aga mõne teise aine temperatuuri, on tarvis ka *teistsugust soojushulka* (vt. § 12).
Soojushulk, mis on vajalik 1 g või 1 kg aine temperatuuri tõstmiseks 1 °C võrra, määratakse katseliselt. Seda füüsikalist suurust nimetatakse aine *erisoojuseks*.
Aine erisoojust mõõdetakse järgmistes ühikutes[1]:

$$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}, \quad \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}} \text{ või } \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}.$$

Järgmises tabelis on toodud mõningate ainete erisoojused.

Ainete erisoojused.

Aine	J / kg · deg	kcal / kg · deg või cal / g · deg	Aine	J / kg · deg	kcal / kg · deg või cal / g · deg
Plii	130	0,03	Tellis	750	0,18
Vask	380	0,09	Alumiinium	880	0,21
Tsink	380	0,09	Jää	1800	0,43
Valgevask	380	0,09	Taimeõli	2000	0,48
Raud, Malm, Teras	460	0,11	Petrooleum	2100	0,51
			Puu (tamm)	2400	0,57
			Piiritus	2500	0,60
Klaas	830	0,20	Vesi	4200	1,00

[1] Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kasutatakse kraadides väljendatud temperatuuride vahe tähistamiseks lühendit «deg«. *(Tõlk.)*

Plii erisoojus on $130 \frac{J}{kg \cdot deg}$. See tähendab, et 1 kg plii soojendamiseks 1 °C võrra on tarvis soojushulka, mis võrdub 130 J (või 1 kg plii jahtumisel 1 °C võrra eraldub 130 J).

Erisoojus näitab, kui mitme kalori või džauli võrra suureneb aine 1 kg siseenergia selle aine soojendamisel 1 °C võrra.

Nagu tabelist nähtub, on vee erisoojus teiste ainetega võrreldes suur. Seepärast neelavadki merede ja ookeanide veed suvel soojenedes suurel hulgal soojust, mistõttu nende lähedal pole kunagi nii kuum kui sügaval sisemaal, kus taolised veekogud puuduvad. Talvel aga, vastupidi, annab vesi jahtudes ära suurel hulgal soojust ning muudab talve ümberkaudsetel aladel pehmemaks.

Suure erisoojuse tõttu on vesi kõige sobivam vedelik keskkütteradiaatorite ja soojendusaparaatide täitmiseks.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse aine erisoojuseks? 2. Kui suur on vee erisoojus (ühikutes $\frac{J}{kg \cdot deg}$ ja $\frac{cal}{g \cdot deg}$)? 3. Selgitage, mida näitab plii erisoojus $130 \frac{J}{kg \cdot deg}$. 4. Milline seos on aine erisoojuse ja tema siseenergia muutuse vahel? 5. Miks mõjutab veekogude lähedus ümbruskonna õhu temperatuuri?

14. Keha soojendamiseks vajaliku või jahtumisel eralduva soojushulga arvutamine.

Nüüd me teame, missugustest suurustest soojushulk sõltub ja milliste ühikutega seda mõõdetakse. See võimaldab meil leida keha siseenergia muutuse soojusülekande korral, teisiti öeldes, saame arvutada soojushulga. Selleks on vaja teada keha massi, vastava aine erisoojust ning keha alg- ja lõpptemperatuuri. Erisoojus näitab soojushulka, mis on vajalik antud aine 1 kg temperatuuri tõstmiseks 1 °C võrra. Kui aga 1 °C võrra soojendatava aine mass on suurem kui 1 kg, on ka aine soojendamiseks vajalik soojushulk vastavalt suurem. Kui aga keha soojendatakse mitte 1 °C, vaid teatud arvu kraadide võrra, suureneb sama arv korda ka selleks vajalik soojushulk.

Olgu meil näiteks vaja leida soojushulk, mille sai 5 kg massiga terasdetail kuumutamisel 600 °C võrra. Terase erisoojus on $460 \frac{J}{kg \cdot deg}$, mis tähendab, et 1 kg terase soojendamiseks 1 °C võrra on vaja 460 J soojust; 5 kg terase soojendamiseks 1 °C võrra oleks tarvis siis 5 korda suuremat soojushulka, s. o. 460 J × 5 = 2300 J. Et aga kuumutada 5 kg terast 600 °C võrra, on vaja 600 korda suuremat soojushulka, s. o. 2300 J × 600 = 1 380 000 J.

Märgime, et temperatuur 600 °C näitab, mitme kraadi võrra keha soojenes, s. o. alg- ja lõpptemperatuuri vahet.

Keha soojendamiseks vajaliku soojushulga arvutamisel tuleb keha erisoojus korrutada keha massi ning keha alg- ja lõpptemperatuuri vahega.

Kui tähistame soojushulga tähega Q, aine erisoojuse tähega c, keha massi tähega m, keha algtemperatuuri tähega t_1 ja lõpptemperatuuri tähega t_2, võime eespool sõnastatud reegli esitada valemina

$$Q = cm \cdot (t_2 - t_1).$$

$Q=cm(t_2-t_1)$

Näide 1. Raudkatlasse massiga 10 kg on valatud 20 kg vett. Kui suurt soojushulka on vaja, et tõsta katla ja sellesse valatud vee temperatuuri 10 °C-st kuni 100 °C-ni?

Mõlemad kehad — katel ja vesi — soojenevad koos. Nende vahel toimub soojusvahetus ja seepärast võib nende temperatuurid võrdseks lugeda. Nii katel kui vesi soojenevad võrdselt 100 °C — 10 °C = 90 °C võrra. Kuid soojushulgad, mille kumbki juurde saab, pole võrdsed, sest nende kehade massid ja erisoojused on erinevad. Katel saab soojushulga

$$Q_1 = 460 \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 90° = 414\,000 \text{ J} \approx 400\,000 \text{ J}.$$

Vesi saab soojushulga

$$Q_2 = 4200 \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 20 \text{ kg} \cdot 90° = 7\,560\,000 \text{ J} \approx 7\,600\,000 \text{ J}.$$

Katla ja vee soojendamiseks kulunud soojushulk
$Q = Q_1 + Q_2 = 400\,000$ J + 7 600 000 J =
= 8 000 000 J ≈ 1900 kcal.

Näide 2. 0,8 kg vett, mille temperatuur oli 25 °C, segati 0,2 kg keeva veega. Saadi segu temperatuuriga 40 °C. Arvutada soojushulk, mille andis jahtumisel ära keev vesi, ja soojushulk, mille sai külm vesi.

Keev vesi jahtus 100 °C-st kuni 40 °C-ni, andes seejuures soojust ära $Q_1 = 4200 \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 0{,}2\ kg \cdot (100—40)° \approx 50\,000$ J. Külm vesi, millele lisati keeva vett, soojenes 25 °C-st kuni 40 °C-ni ja sai soojust juurde $Q_2 = 4200 \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 0{,}8\ kg \cdot (40—25)° \approx 50\,000$ J.

Näeme, et soojushulk, mille keev vesi ära andis, on võrdne soojushulgaga, mille sai juurde külm vesi. Niisugune tulemus pole juhuslik. Katse näitab, et kehadevahelise soojusvahetuse korral suureneb kõigi soojenevate kehade siseenergia täpselt nii palju, kui palju väheneb jahtuvate kehade siseenergia.

Kui aga kuuma ja külma vee segamise katse teha väga hoolikalt ning mõõtmised võimalikult täpselt, siis ilmneb, et äraantud energiahulk ja juurdesaadud energiahulk ei ole täiesti võrdsed. See on tingitud asjaolust, et osa siseenergiast kulub ümbritseva õhu ja anuma soojendamiseks. Äraantud ja juurdesaadud soojushulga erinevus on seda väiksem, mida paremini oskame katse juures vältida igasuguseid soojuskadusid.

Küsimused.

1. Mida on vaja teada, et arvutada keha soojendamiseks kulunud soojushulka? 2. Selgitage näite varal, kuidas arvutatakse soojushulk, mille keha saab kuumutamisel või kaotab jahtumisel (vastus andke ühikutes kcal või J). 3. Missugust valemit kasutatakse soojushulga arvutamiseks? 4. Millise järelduse võib teha külma ja kuuma vee segamise katse põhjal?

Harjutus 5.

1. Alumiiniumi erisoojus on 0,21 $\frac{kcal}{kg \cdot deg}$ ehk 880 $\frac{J}{kg \cdot deg}$. Mida see tähendab?
2. Missugune vedelik leheküljel 23 toodud tabelist soojeneb võrdsete tingimuste korral kõige kiiremini? Miks?
3. Miks on vesi kõigi vedelike hulgas parim jahutaja (kasutatakse näiteks sisepõlemismootori jahutamiseks)?
4. Arvutage soojushulgad, mis on vajalikud: a) 1,5-kilogrammise malmist triikraua kuumutamiseks 200 °C võrra, b) 50-grammise alumiiniumlusika soojendamiseks 20 °C-st kuni 90 °C-ni, c) 2-tonnise massiga tellisahju temperatuuri tõstmiseks 10 °C-st kuni 60 °C-ni.
5. Kui suur soojushulk vabaneb a) 20 kg terasvalu jahtumisel 900 °C-st kuni 100 °C-ni, b) 40-grammise alumiiniumnõu ja sellesse valatud 50 g vee jahtumisel 60 °C võrra?
6. Mitme kalori võrra suurenes 20 000 m^3 basseinis oleva vee siseenergia, kui vesi soojenes 10 °C võrra?

15. Kütuse energia. Küttevääartus.

On teada, et molekulid koosnevad aatomitest. Näiteks koosneb vee molekul ühest hapniku ja kahest vesiniku aatomist.

Iga molekuli võime jagada aatomiteks. Molekuli jagamisel aatomiteks tuleb ületada aatomite vastastikused tõmbejõud, teha tööd, s. t. molekuli jagamiseks tuleb kulutada energiat. Vastupidi, aatomite ühinemisel molekulideks aga, nagu näitavad katsed, vabaneb energiat.

Võib tuua niisuguse võrdluse: Maa ja kõigi temal asuvate kehade vahel mõjuvad külgetõmbejõud, seepärast teeme kehade tõstmisel, s. o. Maast eemaldamisel, tööd, kulutame energiat. Kui aga keha, näiteks rammimisnui, langeb maapinnale, teeb ta ise tööd ja tema energia kasutatakse ära.



Joon. 20.

Ka kütuse kasutamine põhineb asjaolul, et aatomite ühinemisel molekulideks vabaneb energiat. Tavaline kütus (süsi, nafta, bensiin jt.) sisaldab süsinikku. Põlemisel ühinevad süsiniku aatomid õhus sisalduvate hapniku aatomitega. Iga süsiniku aatom ühineb kahe hapniku aatomiga (joon. 20). Ühinemisel tekib süsihappegaasi molekul, kusjuures eraldub soojus.

Kütust on mitut liiki: süsi, turvas, puu, nafta, põlevkivi ja põlevad gaasid. Mootorite konstrueerimisel peavad insenerid täpselt teadma, kui palju soojust eraldub teatud kindla koguse erinevate kütuste põlemisel.

Soojushulka, mis eraldub 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse kütuse küttevääartuseks.

Kütuse küttevääartus määratakse kindlaks katseliselt küllaltki keeruliste seadiste abil. Küttevääartust mõõdetakse ühikutes $\frac{J}{kg}$, $\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$.

Mõned katseliselt saadud küttevääartused on toodud järgmises tabelis.

Tabelist on näha, et turba küttevääartus on $1{,}4 \cdot 10^7$ $\frac{J}{kg}$ ehk 3400 $\frac{kcal}{kg}$, mis tähendab, et 1 kg turba täielikul põlemisel eraldub $1{,}4 \cdot 10^7$ J ehk 3400 kcal soojust.

Et arvutada soojushulka, mis eraldub mingi kütusemassi põlemisel, tuleb selle aine küttevääartus korrutada kütuse massiga.

Kütuste küttevääртused.

Kütus	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$	Kütus	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$
Kuivad puud	$1{,}0 \cdot 10^7$	2500	Antratsiit	$3{,}4 \cdot 10^7$	8 000
Turvas	$1{,}4 \cdot 10^7$	3400	Maagaas	$4{,}4 \cdot 10^7$	10 400
Pruunsüsi	$1{,}3 \cdot 10^7$	3000	Nafta	$4{,}4 \cdot 10^7$	10 500
Kivisüsi	$2{,}9 \cdot 10^7$— $3{,}1 \cdot 10^7$	7000— 7500	Bensiin	$4{,}6 \cdot 10^7$	11 000
			Petrooleum	$4{,}6 \cdot 10^7$	11 000
Piiritus	$2{,}7 \cdot 10^7$	6500	Vesinik	$14 \cdot 10^7$	34 000
Puusüsi	$3{,}0 \cdot 10^7$	7000			

Küsimused.

1. Mis on küttevääртus? 2. Millistes ühikutes mõõdetakse kütuse küttevääртust? 3. Mida tähendab väljend «kütuse küttevääртus on 3400 $\frac{kcal}{kg}$ ehk $1{,}4 \cdot 10^7$ $\frac{J}{kg}$ »? 4. Kuidas arvutatakse soojushulka, mis eraldub kütuse põlemisel?

Harjutus 6.

1. Küttevääртuste tabelis järgneb sõnale «nafta» arv 10 500. Mida see tähendab? Milline mõõtühiku lühend tuleb selle arvu juurde kirjutada?
2. Kumb kütus — kas kuivad puud või pruunsüsi — annab võrdsetes tingimustes põledes rohkem soojust? Põhjendage vastust.
3. Kui palju soojust eraldub 15 kg pruunsöe põlemisel; 200 g piirituse põlemisel?

16. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides.

Energia muundumist ühest liigist teise vaatlesime juba paragrahvis 2. Mingi keha ülesviskamisel muutub kineetiline energia potentsiaalseks, keha langemisel aga potentsiaalne energia kineetiliseks. Pliikuuli langemisel pliiplaadile muutub mehhaaniline energia kuuli ja plaadi siseenergiaks. Auto- ja traktorimootoris muundub kütuse siseenergia mehhaaniliseks energiaks.

Mehhaaniline energia ja siseenergia võib minna üle ühelt kehalt teisele. Voolava vee kineetiline energia läheb üle turbiiniratastele, tuule energia aga tuule-

mootori tiibadele. Siseenergia üleminekuga ühelt kehalt teisele puutusime kokku juba soojusülekande juures, kus näitena oli toodud kuuma ahju siseenergia ülekandumine toa õhule.

Mida võib aga öelda energiahulga suuruse kohta selle üleminekul ühelt kehalt teisele või muundumisel ühest liigist teise? Kas energiahulk säilib seejuures muutumatuna?

Pöördume tagasi kuuma ja külma vee segamise katse juurde, mille me tegime laboratoorse tööna. Katse tegemisel veendusime, et kuuma vee poolt kaotatud soojushulk võrdus soojushulgaga, mille külm vesi juurde sai. Tähendab, *nii palju kui üks keha siseenergiat ära annab, saab teine keha seda juurde.* Seega säilib siseenergia hulk isegi üleminekul ühelt kehalt teisele.

See järeldus kehtib kõigi energialiikide kohta.

Ka teised, veelgi keerukamad katsed, mida õpime tundma edaspidi, näitavad, et energia mistahes muutuste korral jääb tema hulk samaks.

Vaatluste ja katsete kaudu avastati füüsika üks põhiseadusi — e n e r g i a j ä ä v u s e j a m u u n d u m i s e s e a d u s.

See seadus ütleb, et **energia ei kao kuhugi ega teki ka ei millestki. Ta ainult muundub ühest liigist teise või läheb üle ühelt kehalt teisele.**

Keha energia ei saa muutuda, ilma et seda põhjustaks mõni teine keha. Voolava vee ja tuule energia tekib, nagu teame, Päikese energia arvel. Üleslendava raketi potentsiaalne energia on saadud aga raketi startimisel kulutatud kütuse energia arvel jne.

Energia jäävuse seadus on üks tähtsamaid loodusseadusi. Seda seadust rakendatakse laialdaselt teaduses ja tehnikas.

Uurides mitmesuguseid mehhanisme, tutvusime mehhaanika «kuldreegliga», mille kohaselt ükski mehhanism ei anna võitu töös. See reegel on üks energia jäävuse seaduse avaldusvorme. Tõepoolest, kui kaldpinna kasutamisel saaksime rohkem tööd, kui tegelikult teeme, siis oleks ka mööda kaldpinda ülesveeretatud keha potentsiaalne energia suurem seejuures kulutatud energiast. Kuid energia ei saa ju tekkida mitte millestki.

Energia jäävuse seadus lükkab ümber kõik religioossed legendid maailma loomisest.

Küsimused.

1. Tooge näiteid, kus mehhaaniline energia muundub siseenergiaks ja vastupidi? 2. Tooge näiteid mehhaanilise energia üleminekust ühelt kehalt teisele. 3. Milline katse näitab, et siseenergia üleminekul ühelt kehalt teisele jääb energia hulk muutumatuks? 4. Milles seisneb energia jäävuse seadus? 5. Milline tähtsus on energia jäävuse seadusel teaduses ja tehnikas?

Harjutus 7.

1. Rammimisnui langeb vaiale ja lööb selle maasse. Millised energia muundumised ja üleminekud seejuures toimuvad? (Tuleb arvestada, et löögi tõttu vai ja pinnas soojenevad.)
2. Millised kineetilise energia muundumised toimuvad auto pidurdamisel?
3. Auto pidurdamisel tehakse tööd 900 000 J. Kui palju soojust seejuures eraldub?
4. Kaks ühesugust teraskuuli langevad ühekõrguselt. Üks neist langeb terasplaadile ja põrkab uuesti üles, teine aga langeb liiva sisse ning jääb sinna peatuma. Kumma kuuli juures on tegemist siseenergia suurema muutusega ja miks?
5. Kirjeldage kõiki energia muundumisi ja üleminekuid, mis esinevad eetriga täidetud ja korgiga suletud toru hõõrumisel nööriga (vt. joon. 4).
6. 10 t massiga vasar langeb 2 m kõrguselt raudesemele. Seejuures läheb 30% vasara potentsiaalsest energiast üle esemele ja muundub selle siseenergiaks. Leidke, kui palju suurenes selle eseme siseenergia.
7. Määrake eelmise ülesande andmete põhjal, mitme kraadi võrra soojenes raudese, mille mass on 100 kg.

17. Päike kui Maa peamine energiaallikas.

Täiendavaks lugemiseks

Enamiku tänapäeval inimese poolt kasutatavate energialiikide allikaks on Päike. Päikeseenergia arvel püsib aasta keskmine temperatuur maakeral umbes 15 °C piires.

Katseliselt on leitud, et maapinna iga ruutsentimeeter, mis on risti päikesekiirtega, saab minutis umbes 2 kalorit soojust (jättes arvestamata energiakaod atmosfääris). Kui suudaksime kasutada kas või 1% sellest päikeseenergiast, mis langeb meie linnadele, rahuldaksime nende linnade vajadused kõigi energialiikide osas.

Kogu maakera pinnale langevate päikesekiirte võimsus on aga nii suur, et selle asendamiseks peaks käiku laskma ligi 30 miljonit võimsat elektrijaama.

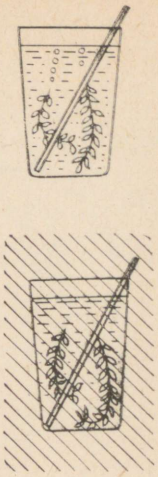
Tarvitseb vaid ette kujutada, mis juhtuks siis, kui Päike ei valgustaks Maad iga päev. Nagu teame, on

maakeral selliseid kohti, mida Päike soojendab õige nõrgalt. Need on Arktika ja Antarktika. Seal valitseb igavene lumi ja jää.

Peale päikesekiirte otsese mõju võime nende «töö» kaudseid jälgi leida kõikjal. Merede, järvede ja jõgede vesi aurab päikesekiirte soojuse mõjul. Aur tõuseb üles, tekivad pilved. Tuul kannab pilved laiali maakera erinevatesse paikadesse, kus aur sademetena alla langeb. Need sademed aga omakorda toidavad jõgesid, mis voolavad meredesse ja ookeanidesse. Selline suur katkematu vee ringkäik maakeral toimub Päikese energia arvel.

Maapinna ebaühtlane soojenemine päikesekiirte mõjul põhjustab tuulte tekkimist. Tuultest ja nende tuultega kaasatoodud niiskusest purunevad järkjärgult tohutud mäemassiivid.

Maakera kogu elav loodus (nii taimed kui loomad) sõltub Päikesest. Taimedes toimub päikeseenergia muundumine keemiliseks energiaks. Mida see tähendab?



Joon. 21.

Võtame kolm ühesugust kolbi. Valame nendesse paari sentimeetri kõrguselt vett. Kahte kolbi paneme võrdselt mõned värsked toataimede (näit. pelargooniumi) võsud, nii et nende lõigatud otsad jääksid vette. Kõik kolm kolbi täidame süsihappegaasiga ja korgime õhukindlalt.

Ühe kolvi taimevõsudega paneme päevaks ajaks valguse kätte, teise pimedusse. Valguse kätte paneme ka ilma taimeta kolvi.

Kolbide avamisel kontrollime põleva pirru abil nende süsihappegaasisisaldust. Valguse käes hoitud võsusid sisaldavas kolvis ei kustu pird kohe. Tähendab, kolvis on vahepeal tekkinud hapnikku. Teistes kolbides seda ei leidu. Järelikult eraldavad rohelised lehed hapnikku.

Hästi võib hapnikumullikeste eraldumist vees vaadelda vesikatku oksakestelt. Kui asetada nõu oksakestega ereda valguse kätte, siis mullikeste eraldumine kiireneb, kui aga panna nõu pimedusse, siis hapnikku ei teki (joon. 21).

Mis siis toimus kolvis, kus pird kohe ei kustunud? Siin tungisid rohelisse taime süsihappegaasi molekulid. Keemilise reaktsiooni tulemusena, millest võtsid osa süsihappegaas ja lehes sisalduv vesi, moodustuvadki hapniku ja süsiniku molekulid (joon. 22). Hapnik eraldub ümbritsevasse õhku, süsinik jääb aga taime lehe sisse. Seepärast sisaldavad taimed alati süsinikku ja võivad põleda.



Joon. 22.

Me teame aga, et molekulide lagunemiseks on tarvis energiat (§ 15). Kust seda energiat saadakse? Pimeduses hoitud kolvis keemilist reaktsiooni ei toimunud. Tähendab, süsihappegaasi lagunemine rohelises taimelehes toimub ainult tänu päikesekiirte energiale.

Kivisüsi, mis on veel tänapäevalgi üheks peamiseks energiaallikaks, kujutab endast vanasti suurtel maaaladel lopsakalt kasvanud metsade kivistunud jäänuseid. Soodes moodustub kõdunevatest taimedest turvas, mida laialdaselt kasutatakse kütusena.

Taimedest toituvate loomade ja ka inimese energia — see on muundunud päikeseenergia.

Suhteliselt hiljuti õppis inimkond kasutama uut täiendavat energiaallikat — aatomienergiat, mis pole otseselt seotud Päikesega.

AINE AGREGAATOLEKUTE MUUTUMINE.

18. Aine agregaatolekud.

Sõltuvalt tingimustest võib üks ja sama aine olla kas tahkes, vedelas või gaasilises olekus. Heaks näiteks selle kohta on jää, vesi ja veeaur. Neid olekuid nimetataksegi agregaatolekuteks.

Aine üleminekut ühest agregaatolekust teise kasutatakse laialdaselt igapäevases elus. Metallurgias näiteks sulatatakse metalle ja saadakse neist mitmesuguseid sulameid, nagu malmi, terast, pronksi, valgevaske jne. Vee kuumutamisel saadavat auru kasutatakse elektrijaamade turbiinides, aurukateldes jm. Veeldatud gaase kasutatakse külmutusseadmetes.

Eriti ulatuslikud on aine agregaatolekute muutumised looduses. Merede, ookeanide ja jõgede pinnalt vesi aurub, selle auru jahtumisel aga tekib kaste, udu, vihm ja lumi. Maakera paljudes kohtades jõed ja järved talvel jäätuvad, kevadel aga sulab jää ja lumi uuesti veeks.

Kõigi eelmainitud nähtuste mõistmiseks ja paljude taoliste protsesside juhtimiseks tuleb teada, millal, kuidas ja missugustel tingimustel on aine selles või teises olekus, millised on siis aine omadused ja mida on tarvis teha, et viia aine ühest agregaatolekust teise.

Teame juba, et ühe ja sama aine molekulid on nii tahkes, vedelas kui ka gaasilises olekus ikka ühesugused ega erine üksteisest mitte millegi poolest. Molekuli järgi ei saa me otsustada, kas aine on tahkes, vedelas või gaasilises olekus. Üks või teine *aine olek on määratud molekulide vastastikuse mõju ja nende liikumisega.* (Füüsika 7. klassile, § 15.)

Atmosfäärirõhul on molekulidevahelised kaugused gaasides palju suuremad kui molekulid ise. Selliste suhteliselt suurte kauguste tõttu on ka molekulidevahelised tõmbejõud nõrgad. Seetõttu piisab gaasi molekulide keskmisest kineetilisest energiast täiesti molekulidevaheliste tõmbejõudude ületamiseks. See ongi põhjuseks, miks gaasi molekulid lendavad laiali, kui puuduvad nõu takistavad seinad.

Vedelikes ja tahketes kehades, mille tihedus on gaasi omast palju kordi suurem, asuvad molekulid tihedalt üksteise lähedal. Nende keskmisest kineetilisest energiast ei piisa molekulidevaheliste tõmbejõudude ületamiseks. Seepärast (erinevalt gaasidest) ei suudagi vedelike ja eriti tahkete kehade molekulid üksteisest kuigi kaugele eemalduda.

Erinevalt vedelikest ja gaasidest paiknevad tahkete kehade molekulid korrapäraselt. Et viia neid korrastatud olekust korrapäratusse, tuleb teha tööd molekulidevaheliste tõmbejõudude ületamiseks. Seejuures muutub muidugi ka aine siseenergia. *Aine üleminekul tahkest olekust vedelasse ja seejärel gaasilisse olekusse suureneb keha siseenergia, ja isegi sel juhul, kui keha temperatuur ei muutu.* Vastupidi, kui aine läheb gaasilisest olekust üle vedelasse ja sealt edasi tahkesse, annab ta ümbritsevatele kehadele ära teatud hulga energiat, mille tulemusena *keha enese siseenergia väheneb.*

Küsimused.

1. Millises kolmes olekus võib esineda üks ja seesama aine? 2. Kuidas nimetatakse aine kolme olekut? 3. Milline praktiline tähtsus on aine üleminekul ühest agregaatolekust teise? 4. Millega on määratud aine üks või teine olek? 5. Kuidas muutub keha siseenergia aine üleminekul tahkest olekust vedelasse ja sealt gaasilisse?

19. Kristallilised kehad.

Kristallilise ehitusega kehasid nimetatakse füüsikas tahketeks kehadeks. Kristalli iseloomulikuks väliseks tunnuseks looduslikes tingimustes on tema korrapärane geomeetriline kuju. Näiteks on kerge kind-



Joon 23.

laks teha keedusoola kristallide kuubikujulist ruumvõret või vilgukivi kristallide õhukeste lehtede taolist kuju. Joonisel 23 on kujutatud mäekristallide perekond.

Küllalt hõlpus on saada maarjate kristalle. Nad tekivad hästi maarjate küllastunud lahuses, kui riputada sinna niidi otsas üks vastava maarja kristall. Mõne päeva pärast saame küllalt suure (vähemalt pähkli suuruse) kristalli.

Kristalliliste kehade hulka kuuluvad ka metallid. Tõsi küll, nende väline kuju ei meenuta kristallilist keha. Kui aga vaadelda kõva terase, malmi või valgevase tüki murdekohta, võib mõnikord isegi palja silmaga näha peenikesi kristalle. Üksikasjalikum metallide uurimine mikroskoobi abil aga näitab, et kõikidel metallidel on kristalliline ehitus.

Meenutame (Füüsika 7. klassile, § 15), et kristallides on osakesed (molekulid ja aatomid) paigutunud korrapäraselt. Kuigi nad on liikumises, piirdub see liikumine vaid sellega, et iga osake võngub kellapendli sarnaselt teatud kindla punkti ümber.

20. Amorfsed kehad.

Täiendavaks lugemiseks

On veel üks eriliik kehasid, mida on hakatud samuti tahketeks kehadeks nimetama. Need on *amorfsed kehad.* Looduslikes tingimustes puudub amorfsetel kehadel korrapärane geomeetriline kuju.

Amorfseteks kehadeks on kõvad vaigud (pigi, kampol), klaas, kirjalakk, eboniit, mitmesugused plastmassid.

Paljude füüsikaliste omaduste ja ka sisemise ehituse poolest kuuluvad amorfsed kehad rohkem vedelike kui tahkete kehade hulka.

Kõva vaigu tükk puruneb löömisel kildudeks täpselt samuti kui rabe keha, kuid samas ilmnevad tal ka omadused, mis on iseloomulikud vedelikele. Kõva vaigu tükid valguvad horisontaalpinnal pikkamisi laiali. Mingisse nõusse pandud pigitükid võtavad aja jooksul selle nõu kuju.

Kirjeldatud omaduste põhjal võib vaiku vaadelda kui väga tihedat ja viskoosset vedelikku.

Vaatamata sellele, et klaasil on tahketele kehadele iseloomulik vastupidavus ja kõvadus, võib ta voolata nagu pigi. Tõsi küll, see toimub väga aeglaselt, kümnete aastate jooksul.

Erinevalt kristallilistest kehadest paiknevad molekulid ja aatomid amorfsetes kehades korrapäratult nagu vedelikeski.

21. Kristalliliste kehade sulamine ja tahkestumine.

Kuumutamise teel võime viia aine tahkest olekust vedelasse (näiteks sulatada jääd), vedelast omakorda aga gaasilisse (aurustada vett). Gaaside jahutamisel võime saada jällegi vedeliku, seliest omakorda aga tahke keha.

Aine üleminekut tahkest olekust vedelasse nimetatakse sulamiseks.

Temperatuuri, mille juures aine sulab, nimetatakse vastava aine sulamistemperatuuriks.

Ühed kristallilised ained sulavad madala, teised kõrge temperatuuri juures. Jää sulab näiteks 0 °C, naftaliin aga 80 °C juures. Asetades naftaliinitükikestega täidetud katseklaasi keeva vette, saame vedela naftaliini. Tina- või pliitüki võime sulatada teraslusikas piirituslambi leegil. Malm ja teras aga sulavad väga kõrgel temperatuuril, umbes poolteise tuhande kraadi lähedal.

Aine üleminekut vedelast olekust tahkesse nimetatakse tahkestumiseks ehk kristalliseerumiseks.

Temperatuuri, mille juures aine tahkestub (kristalliseerub), nimetatakse aine tahkestumis- ehk kristalliseerumistemperatuuriks.

Katse näitab, et kristallilised ained tahkestuvad samal temperatuuril, millel nad sulavad. Näiteks vesi tahkestub (ja jää sulab) 0 °C juures, puhas raud sulab ja ka tahkestub temperatuuril 1535 °C.

Ainete sulamistemperatuurid (°C).

Vesinik	—259	Naatrium	98	Vask	1083
Hapnik	—219	Tina	232	Malm	1100—1200
Lämmastik	—210	Plii	327	Teras	1300—1500
Piiritus	—117	Merevaik	350—380	Raud	1535
Elavhõbe	—39	Tsink	420	Plaatina	1770
Jää	0	Alumiinium	660	Volfram	3380
Tseesium	29	Kuld	1063	Osmium	5500
Kaalium	63				

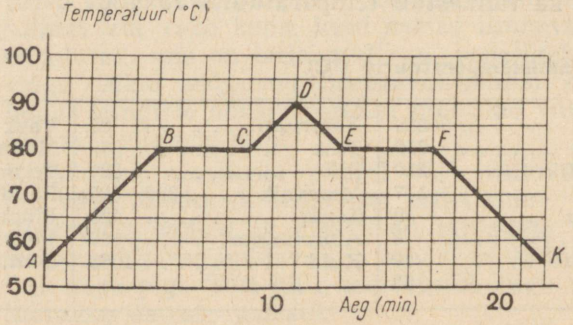
Kui kuumutada mingit kristallilist keha, võib märgata, et selle temperatuur tõuseb ainult sulamise algmomendini. Sulamisprotsessi vältel keha temperatuur ei muutu. Sellel temperatuuril on osa kehast vedelas, osa tahkes olekus.
Eelnevast tabelist näeme, kuivõrd erinevad võivad olla ainete sulamistemperatuurid.

Küsimused.

1. Missugust protsessi nimetatakse sulamiseks? 2. Missugust protsessi nimetatakse tahkestumiseks? 3. Kuidas nimetatakse temperatuuri, mille juures kristalliline keha sulab? tahkestub?

22. Kristalliliste kehade sulamise ja tahkestumise graafik.

Joonisel 24 on kujutatud naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafik, mis on joonestatud katseandmete põhjal.
Naftaliini temperatuuri hakati jälgima momendist, mil tahke naftaliini temperatuur oli 55 °C. Edasisel kuumutamisel kasvas naftaliini temperatuur seni, kuni saavutas 80 °C (graafikul lõik *AB*). Temperatuuril 80 °C hakkas naftaliin sulama. Kogu sulamisprotsessi vältel naftaliini temperatuur ei muutunud, kuigi lamp kuumendas katseklaasi endiselt. Sellele olukorrale vastab graafikul horisontaalne lõik *BC*.
Pärast seda, kui kogu naftaliin on sulanud, s. t. muutunud vedelikuks, hakkab tema temperatuur jälle tõusma ja jõuab 90 °C (graafikul punkt *D*). Seejärel kustutati piirituslamp ja naftaliin hakkas jahtuma.



Joon. 24.

Kui temperatuur oli langenud 80 °C, algas aine kristalliseerumine, kusjuures temperatuur jäi muutumatuks kogu naftaliinihulga tahkestumiseni. Graafikul vastab sellele lõik *EF*. Alles pärast seda hakkas tahke naftaliini temperatuur uuesti langema (graafikul lõik *FK*).

Küsimused.

1. Kuidas saab graafiku põhjal otsustada temperatuuri muutuste üle kristallilise aine kuumutamisel ja jahtumisel?
2. Millised graafiku lõigud viitavad naftaliini sulamisele ja tahkestumisele?

Harjutus 8.

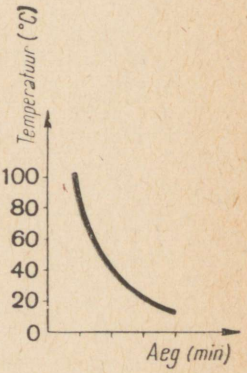
1. Võrrelge tahke elavhõbeda ja tahke piirituse sulamistemperatuure. Kumma aine sulamistemperatuur on kõrgem?
2. Milline tabelis esitatud metallidest sulab kõige kergemini, milline kõige raskemini?
3. Kas pliitükk sulab, kui see sulatina sisse visata?
4. Kas võib alumiiniumnõus sulatada tsinki? Põhjendage vastust.
5. Miks kasutatakse külmades piirkondades välisõhu temperatuuri mõõtmiseks piiritus-, mitte aga elavhõbetermomeetreid?

23. Amorfsete kehade sulamine ja tahkestumine.

Nagu selgus (§ 21), sulavad ja tahkestuvad kristallilised kehad ühel ja samal selle aine jaoks rangelt määratud temperatuuril. Teisiti aga käituvad amorfsed kehad, nagu vaik, vaha ja klaas. Kuumutamisel nad järk-järgult pehmenevad ja vedelduvad, kuni muutuvad vedelikeks. Seejuures nende temperatuur pidevalt muutub. Ka tahkestumisel ei püsi amorfsete kehade temperatuur muutumatuna, vaid langeb.

Joonisel 25 on toodud graafik, mis näitab temperatuuri muutumist vaigu hangumisel. Graafikul puudub horisontaalne osa, mis on iseloomulik kristallilistele kehadele (joon. 24).

Amorfsetes kehades, nii nagu vedelikeski (§ 20), võivad molekulid üksteise suhtes vabalt liikuda. Soojendamisel amorfse keha molekulide liikumiskiirus suureneb. Suurenevad ka molekulidevahelised kaugused, kusjuures nende molekulide vastastikused sidemed nõrgenevad. Selle tulemusena amorfne keha pehmeneb ja tema voolavus suureneb.



Joon. 25.

Amorfse keha jahtumisel toimub kogu eelnev protsess vastupidiselt: molekulide kiirus väheneb, molekulidevahelised kaugused kahanevad ning molekulide vastastikused külgetõmbejõud tugevnevad. Selle tulemusena amorfne aine hangub ja tema voolavus väheneb.

24. Sulamine ja tahkestumine aine ehituse molekulaarteooria seisukohalt.

Kristalliliste kehade sulamist ja tahkestumist võib selgitada aine ehituse molekulaar-atomistliku teooria põhjal.

Me teame, et kristallides paiknevad molekulid (või aatomid) rangelt korrastatuna. Sellega seletub ka nähtus, et ühe ja sama aine kõigil kristallidel on kindlalt määratud kuju. Ent molekulid või aatomid liiguvad ka kristallides. Kuid erinevalt gaasidest, kus molekulid liiguvad üksteisest sõltumatult, mõjutab tahketes kehades iga osake oma liikumisega ka teisi.

Keha temperatuur sõltub molekulide liikumise kiirusest. Keha soojendamisel molekulide liikumise keskmine kiirus kasvab, järelikult kasvab ka nende keskmine kineetiline energia. Selle tagajärjel suureneb molekulide (või aatomite) võnkumise hälve, kusjuures nõrgenevad nende omavahelised sidemed. Kui keha kuumutatakse sulamistemperatuurini, suureneb molekulide võnkumise hälve sedavõrd, et *rikutakse osakeste korrapärane paigutus kristallis.* Kristallid kaotavad oma kuju — aine sulab ja läheb tahkest olekust vedelasse.

Aine tahkestumisel toimub kõik vastupidises järjekorras: molekulide keskmine kineetiline energia ja kiirus jahtuvas sulas aines vähenevad. Aeglaselt liikuvate molekulide vahel hakkavad uuesti mõjuma külgetõmbejõud, mis tõmbavad neid üksteise lähedale. Selle tagajärjel paigutuvad osakesed jällegi korrapäraselt.

Kristalliseerumine toimub kiiremini, kui sulas aines on juba algusest peale mingeid kõrvalisi osakesi, näiteks tolmuosakesi. Neist saavad siis kristallisatsioonitsentrid, mille külge liituvad tahkestuva aine molekulid. Tavalistes tingimustes on vedelikus terve hulk kristallisatsioonitsentreid, mis on aluseks kristallikeste moodustumisele.

Küsimused.

1. Kuidas selgitada kristallilise aine sulamis- ja tahkestumisprotsessi aine ehituse molekulaarteooria seisukohalt?
2. Mis tingimusel algab aine kristalliseerumine?

25. Sulamissoojus.

Graafikult (joon. 24) on ilmekalt näha, et naftaliini sulamise vältel tema temperatuur ei muutu. Alles pärast kogu aine täielikku sulamist hakkab tekkinud vedeliku temperatuur tõusma. Ometi saab ju naftaliin ka kogu sulamisprotsessi jooksul kütuse põlemisest energiat juurde. Millele see energia siis kulub?

Sellele küsimusele vastamiseks meenutame, et sulamisel toimub kristallide lõhkumine. Selleks aga on vaja energiat. See järeldub energia jäävuse seadusest.

Järelikult kulub energia, mille saab sulamistemperatuurini kuumutatud kristalliline aine üleminekul vedelasse olekusse, selle aine siseenergia muutmiseks.

Energiahulka, mis on vajalik 1 kg tahke kristallilise aine muutmiseks vedelikuks sulamistemperatuuril, nimetatakse selle aine sulamissoojuseks.

Sulamissoojust võib mõõta kalorites grammi kohta $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}}\right)$, kilokalorites kilogrammi kohta $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$ või džaulides kilogrammi kohta $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$.

Ainete sulamissoojused määratakse katseliselt. Nii on kindlaks tehtud, et jää sulamissoojus on 80 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ ehk $3{,}4 \cdot 10^5$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. See tähendab, et 1 kg massiga jäätüki sulatamiseks 0 °C juures on tarvis 80 kcal ehk $3{,}4 \cdot 10^5$ J energiat. Peaaegu kogu see energia kulub vedeliku siseenergia suurendamiseks, sest aine ruumala muutub sulamisel väga vähe.

Järelikult on 1 kg mingi vedelas olekus aine siseenergia sulamistemperatuuril sulamissoojuse võrra suurem kui sama ainekoguse siseenergia tahkes olekus.

Näiteks, 1 kg vee siseenergia 0 °C juures on 80 kcal võrra suurem kui 1 kg jää siseenergia samal temperatuuril.

Ainete sulamissoojused.

Aine	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$	Aine	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$
Alumiinium	$3{,}9 \cdot 10^5$	92	Teras	$0{,}84 \cdot 10^5$	20
Jää	$3{,}4 \cdot 10^5$	80	Tina	$0{,}59 \cdot 10^5$	14
Raud	$2{,}7 \cdot 10^5$	65	Plii	$0{,}25 \cdot 10^5$	6
Vask	$1{,}8 \cdot 10^5$	42			

Küsimused.

1. Kuidas selgitada, et kogu sulamisprotsessi jooksul jääb kristallilise aine temperatuur muutumatuks? 2. Milleks kulub kristallilise aine sulatamisel kütuse energia? 3. Mida tähendab mõiste «sulamissoojus»? 4. Millistes ühikutes mõõdetakse sulamissoojust?

26. Aine tahkestumisel vabanev energia.

Pöördume tagasi naftaliini sulamist ja kristalliseerumist peegeldava graafiku juurde (joon. 24) ja vaatleme graafiku seda osa, mis vastab naftaliini jahtumisele.

Sula naftaliini jahtumisel tema temperatuur langeb. Niipea aga, kui naftaliin hakkab tahkestuma, tema temperatuuri langemine lakkab, kuigi naftaliin annab ka nüüd oma siseenergiat ümbritsevatele kehadele. On ju naftaliini temperatuur ümbritsevate kehade omast kõrgem. Seni kuni kogu naftaliin pole tahkestunud, tema temperatuur ei muutu. Kui aga kogu naftaliin on tahkestunud, hakkab temperatuur uuesti langema.

Taoliselt käituvad kõik kristallilised kehad. Miks ei lange siis temperatuur kristallilise aine tahkestumisel?

Me juba teame, et tahkestumistemperatuuril on vedela aine siseenergia suurem kui tema siseenergia tahkes olekus samal temperatuuril. Tahkestumisprotsessis liigne siseenergia vabaneb ja kompenseerib aine jahtumisest tingitud siseenergia kaod. Seepärast püsibki molekulide keskmine energia, järelikult ka keha temperatuur, muutumatuna tahkestumisprotsessi lõpuni. Pärast kogu aine tahkestumist hakkab tahke keha temperatuur jällegi langema, sest siseenergia kadu pole võimalik enam millegagi kompenseerida.

Hoolikalt tehtud katsed näitavad, et *kristallilise aine tahkestumisel vabaneb täpselt niisama palju energiat, kui kulub selle aine sulatamiseks.* Niisiis, 1 kg vee jäätumisel 0 °C juures vabaneb 80 kcal energiat. Täpselt niisama palju energiat on vaja ka 1 kg jää sulatamiseks 0 °C juures.

Küsimused.

1. Kuidas selgitada, et kristallilise aine tahkestumisel jääb tema temperatuur muutumatuks? 2. Kui palju energiat vabaneb 1 kg vee tahkestumisel?

27. Soojushulga arvutamise näiteid.

1. Kui palju energiat (džaulides) on tarvis, et sulatada terasest valuplokk massiga 300 kg tema sulamistemperatuuril?

Terase sulamissoojus[1] $\lambda = 0{,}84 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ (vt. tabel). See tähendab, et 1 kg terase sulatamiseks teatud kindlal temperatuuril on vaja $0{,}84 \cdot 10^5$ J, kogu valuploki sulatamiseks aga 300 korda rohkem energiat. Seega $Q = \lambda m$.

$$Q = 0{,}84 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 300 \text{ kg} \approx 2{,}5 \cdot 10^7 \text{ J}.$$

2. Kui palju energiat (džaulides) on tarvis, et sulatada 100-kilogrammine alumiiniumkang, mille temperatuur on $t_1 = 20$ °C?
Enne kui alumiinium hakkab sulama, peab teda soojendama sulamistemperatuurini $t_2 = 660$ °C. Järelikult tuleb alumiiniumi soojendada $t_2 - t_1 = (660 - -20)$ °C võrra. Selleks on vaja energiat
$Q_1 = cm\,(t_2 - t_1)$. (1)

Alumiiniumi erisoojuse leiame tabelist:

$$c = 880 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}.$$

Sulatamiseks kulub energiat:
$Q_2 = \lambda m$, (2)

kus $\lambda = 3{,}9 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ on alumiiniumi sulamissoojus.

[1] Sulamissoojust märgitakse harilikult kreeka tähega λ (lambda).

Üldine energiakulu oleks:

$$Q = Q_1 + Q_2. \qquad (3)$$

Asetades valemisse (3) numbrilised väärtused, saame:

$$Q = 880 \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 100 \text{ kg } (600—20)^\circ +$$

$$+ 3{,}9 \cdot 10^5 \frac{J}{kg} \cdot 100 \text{ kg} \approx 9{,}5 \cdot 10^7 \text{ J}.$$

Harjutus 9.

1. Sulav jää toodi ruumi, kus temperatuur oli 0 °C. Kas jää sulab selles ruumis edasi?
2. Ämbris on vesi koos jäätükkidega. Jää ja vee üldine temperatuur on 0 °C. Kas jää hakkab sulama või vesi jäätuma? Millest see sõltub?
3. Kui palju energiat kulub, et sulatada 4 kg jääd 0 °C juures?
4. Kui palju on tarvis energiat, et sulatada 20 kg pliid selle sulamistemperatuuril?
5. Kui palju energiat vabaneb, kui 125 kg 0-kraadist vett muutub jääks 0 °C juures?
6. Kui palju energiat kulub selleks, et muuta 5 kg jääd temperatuuril —10 °C veeks, mille temperatuur on 20 °C? Arvutamisel kasutage graafikut. Energia juurdevoolu loeme ühtlaseks.

Ülesanne.

Asetage pliidile kaks ühesugust plekknõu. Esimesse kallake 0,5 kg vett, teise pange 0,5 kg lund. Jälgige, kui palju aega kulub vee keemahakkamiseks kummaski nõus. Kirjeldage lühidalt katse käiku ja selgitage tulemusi.

28. Metallide valamine.

Täiendavaks iugemiseks

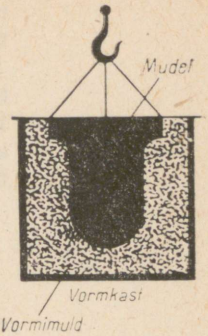
Metallide omadusel kuumutamisel sulada ja jahtumisel tahkestuda põhineb valutööstus. Valamise teel valmistatakse väga mitmesuguseid tooteid.

Et metallist mingit detaili valada, tuleb kõigepealt puust valmistada selle detaili mudel (joon. 26). Seejärel paigutatakse mudel metallkasti — vormkasti, mis täidetakse tihedalt niiske vormimullaga (joon. 27). Pärast seda võetakse mudel ettevaatlikult vormkastist välja, vormimuld aga säilitab mudeli kuju. Keerukate detailide vormkastid valmistatakse kaheosalistena. Tihendatud vormimullaga täidetud vormkastid kuivatatakse vastavates ahjudes. Vormkastis oleva ava kaudu täidetakse mudeli vorm sulametalliga. Kui metall tahkestub, võetakse valatud detail vormkastist välja. Arvestades, et enamik



Joon. 26.

metalle tõmbub tahkestumisel kokku, jäetakse vormkasti varuruum, kuhu valatakse täiendavalt väike kogus sulametalli.
Mõningates tehastes ei valata metalli vormkastidesse, vaid raskesti sulavatest materjalidest vormidesse.
Tänapäeval valatakse väga paljud tooted plastmassidest ja betoonist. Betoonist tehakse näiteks torusid, masinate ja tööpinkide aluseid, ehitusdetaile jne.



Joon. 27.

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmistest teemadest:
1. Metallide valamine.
2. Esemete valmistamine betoonist ja plastmassist valamise teel.
3 Loodusnähtused, mis seletuvad jää suure sulamissoojuse ja vee paisumisega külmumisel.
4. Jääliustikud mägedes.

29. Sulamid ja nende kasutamine tehnikas.

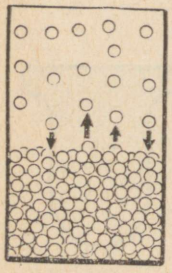
Täiendavaks lugemiseks

Sulatatud metalle võib üksteisega segada ja sel teel saada sulameid. Sulameid kasutatakse tehnikas laialdaselt, sest paljudel neist on väga hinnatavad omadused. Kõigile hästi tuntud teras on raua ja süsiniku sulam. Kui terasele lisada väikeses koguses selliseid metalle, nagu kroomi, niklit, molübdeeni, titaani, võime saada vastavalt kas kõva terast, roostevaba terast, kõrgetele temperatuuridele vastupidavat terast jne.
Väga vastupidavad on alumiiniumi sulamid teiste metallidega. Kõige rohkem kasutatakse neist duralumiiniumi, mis sisaldab 94% alumiiniumi, 5% vaske, 0,5% magneesiumi, 0,5% mangaani. Duralumiiniumi sulamistemperatuur on 650 °C. Tema tihedus on 3 korda väiksem kui terasel, kuid tõmbetugevus võrdne mõnede terasesortidega.
Sulamistemperatuur on sulamitel tavaliselt madalam kui tema peamistel komponentainetel. Esineb väga madala sulamistemperatuuriga sulameid. Näiteks sulam, mis koosneb kahest osast vismutist (t_s = = 271 °C), ühest osast tinast (t_s = 232 °C) ja ühest osast pliist (t_s = 327 °C), sulab 95 °C juures. Sellisest sulamist valmistatud teelusikas sulaks juba keevas vees.
Madala sulamistemperatuuriga sulameid kasutatakse tulekahjusignalisatsiooniseadmeis.

Mitmesuguseid plekknõusid parandatakse jootmise teel, milleks kasutatakse kahest osast pliist ja ühest osast tinast koosnevat sulamit, nn. jootetina. Jootetina sulamistemperatuur on 180 °C, s. o. palju madalam kui tina ja plii sulamistemperatuur.
Kergesti sulavat sulamit, nn. babiiti, kasutatakse näiteks autode ja traktorite laagriliudade valamiseks.

30. Aurumine ja kondenseerumine.

Me teame, et nii vedela, tahke kui ka gaasilise aine temperatuur sõltub molekulide liikumise kiirusest. Mida suurem on molekulide liikumise keskmine kiirus, seda kõrgem on ka vedeliku temperatuur. Kuigi molekulide liikumise keskmine kiirus on antud temperatuuril kindlalt määratav, liigub osa molekule kiiremini ja osa aeglasemalt, kui seda on keskmine kiirus. Kui juhtub, et mõni küllalt «kiire» molekul satub vedeliku pinnale, võib ta ületada naabermolekulide külgetõmbejõu ja lennata vedelikust välja. Vedeliku pinnalt lahkuvad molekulid moodustavadki vedeliku kohale aurupilve. *Nähtust, kus molekulid lähevad vedelikust õhku, nimetatakse aurumiseks.*
Kuna vedelik sisaldab igal temperatuuril teatud hulga kiiresti liikuvaid molekule, siis võib aurumine toimuda mistahes temperatuuril. Vaatlused kinnitavad selle väite õigsust. Näiteks vihmast tekkinud loigud auruvad lõpuks nii suvel soojaga kui ka sügisel, mil on tunduvalt jahedam.
Mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda suurem on kiiresti liikuvate molekulide hulk, mis võivad ületada vastastikused külgetõmbejõud ja lahkuda vedeliku pinnalt. Seepärast toimub aurumine seda kiiremini, mida kõrgem on vedeliku temperatuur. Sellega seletub ka veeloikude kiirem kuivamine suvel võrreldes sügisega.
Üheaegselt molekulide väljumisega vedelikust toimub ka vastupidine protsess. Osa vedeliku pinna kohal korrapäratult liikuvatest molekulidest pöördub vedelikku tagasi. Seesugust *molekulide üleminekut aurust vedelikku nimetatakse kondenseerumiseks.* Kui vedeliku aurumine toimub kinnises nõus, võrdsustub õige pea vedelikust lahkuvate ja sinna tagasipöörduvate molekulide arv. Seepärast vedeliku hulk kinnises nõus ei muutu, kuigi aurumine vedeliku pinnalt toimub pidevalt (joon. 28).



Joon. 28.

Lahtises nõus jääb aga vedeliku kogus aurumise tõttu järk-järgult vähemaks, sest enamik molekule seguneb õhuga ega pöördu enam vedelikku tagasi. Ainult väike osa molekulidest satub vedelikku tagasi, aeglustades sellega vedeliku kahanemist aurumisel. Seepärast toimub aurumine tuule käes kiiremini, sest tuul kannab väljalennanud molekulid vedeliku pinna kohalt minema.

Küsimused.

1. Kuidas on vedeliku temperatuur seotud molekulide liikumise kiirusega? 2. Missugust nähtust nimetatakse aurumiseks? 3. Kuidas selgitada asjaolu, et vedelik aurub igal temperatuuril? 4. Kuidas nimetatakse protsessi, kus aur muutub taas vedelikuks? 5. Kuidas mõjutab õhu liikumine vedeliku aurumist?

31. Tahkete kehade aurumine.

Täiendavaks lugemiseks

Ka tahke keha sisaldab osakesi (molekulid ja aatomid), mille kineetiline energia on suurem keskmisest kineetilisest energiast. Selliste «kiirete» osakeste võnkumise ulatus võib olla küllaldane selleks, et rebida end lahti teiste molekulide mõjusfäärist ja minna üle auruks.

Vaatlused ja katsed näitavad, et tahked kehad tõepoolest auruvad. Mõnede tahkete ainete aurumist on kerge kindlaks teha nende lõhna järgi. Näiteks võib siin tuua naftaliini aurumise.

Ka jää aurub. Tänu sellele saamegi pesu kuivatada ka pakasega. Märg pesu algul jäätub ja pärast seda, kui tekkinud jää on aurunud, ongi pesu kuiv.

Väga huvitav on katse joodikristallide aurumise demonstreerimiseks. Kui klaaskolbi, milles on mõned joodikristallid, nõrgalt kuumutada, hakkavad joodikristallid auruma. Nagu näeme, läheb jood kohe tahkest olekust gaasilisse, jättes vedela oleku hoopis vahele. Joodiaurud on tuhmi violetse värvusega ja seetõttu on nad hästi nähtavad. Kolvi jahtumisel tekivad joodiaurust uuesti joodikristallid.

Ülesanne.

Võtke tükike naftaliini, asetage see mingile alusele ja hõõruge pulbriks.
Märkige üles katse alguse kuupäev ja tehke kindlaks, mitme päeva pärast on kogu naftaliin aurunud.

32. Energia neeldumine vedeliku aurumisel.

Vedelikust väljalendamisel ületab molekul teiste molekulide külgetõmbejõud, s. t. teeb tööd nende jõudude ületamiseks. Peale selle peab vedelikust lahkunud molekul ületama veel atmosfäärirõhu ja juba tekkinud auru rõhu, sest ka need takistavad tema väljalendu. Seejuures tehakse samuti tööd. Mitte kõik vedeliku molekulid pole võimelised tööd tegema, vaid ainult need, millel on selleks küllaldaselt kineetilist energiat. Need on sellised molekulid, mille kiirus on suurem keskmisest kiirusest. Selliseid «kiireid» molekule on vedelikus igal temperatuuril.

Kui aga vedelikust lahkuvad kõik kiiremad molekulid, jääb ülejäänud molekulide keskmine kiirus nende arvel väiksemaks, järelikult väheneb ka allesjäänud molekulide keskmine kineetiline energia. See tähendab, et *auruva vedeliku siseenergia väheneb.* Seepärast, *kui auruv vedelik ei saa väljastpoolt energiat juurde, ta jahtub.*

Vedeliku jahtumist aurumisel võib jälgida katseliselt. Selleks tuleb termomeetri kuulike mässida lapi või vati sisse ja niisutada seda eetriga. Kiiresti auruv eeter võtab termomeetri kuulikeselt osa siseenergiat, mistõttu termomeetri näit langeb. Kui niisutada eetriga käsi, tunneme, et kätel hakkab jahe.

Tulles veest välja, tunneme külma isegi sooja ilmaga. Vesi, mis aurub meie kehalt, võtab kehalt ära ka osa soojust.

Ent mingis nõus oleva vee aurumisel me ei märka selle vee temperatuuri langust. Kuidas seda seletada? Asi on selles, et vee temperatuur jääb antud juhul püsima tänu soojushulgale, mille ta omastab ümbritsevast õhust. Tähendab, kui me soovime, et vedeliku aurumine toimuks püsival temperatuuril, peab ta kusagilt energiat juurde saama.

Näiteks, et aurustada 1 kg vett 35 °C juures, on tarvis 576 kcal; et aga aurustada samal temperatuuril 1 kg eetrit, on vaja ainult 85 kcal.

Miks on samade tingimuste juures vee aurustamiseks vaja rohkem energiat kui eetri aurustamiseks? See seletub asjaoluga, et vee molekulid on omavahel tugevamini seotud kui eetri molekulid.

Küsimused.

1. Missuguste jõudude ületamiseks teevad tööd molekulid, mis aurumisel väljuvad vedeliku pinnalt? 2. Millega seletada temperatuuri langust vedelike aurumisel? 3. Kuidas saab katseliselt näidata vedeliku jahtumist aurumisel? 4. Kuidas selgitada asjaolu, et samadel tingimustel auruvad ühed vedelikud kiiremini kui teised?

33. Auru kondenseerumine.

Auru kondenseerumisega kaasneb energia vabanemine.

Täpselt nii palju energiat, kui on tarvis vedeliku aurustamiseks püsival temperatuuril, eraldub ka selle auru kondenseerumisel. Teisiti öeldes, *kondenseerumissoojus on võrdne aurustumissoojusega.*

Vee kondenseerumise näiteid võib kohata looduses.

Suveõhtutel, kui õhk jaheneb, langeb maha kaste. See on õhus sisalduv veeaur, mis õhu jahenemisel sadestub väikeste veetilkadena rohule ja puude lehtedele.

Auru kondenseerumisega seletub ka pilvede moodustumine. Maapinnalt tõusvad veeaurud moodustavad ülemistes külmemates õhukihtides pilvi, mis koosnevad tohutust hulgast väikestest veepiiskadest.

Küsimused.

1. Millistel tingimustel toimub auru kondenseerumine? Missugused loodusnähtused seletuvad auru kondenseerumisega?

Harjutus 10.

1. Millise ilmaga kuivavad vihmavee loigud kiiremini: kas vaikse või tuulise ilmaga, sooja või külma ilmaga?
2. Miks jahtub kuum tee kiiremini, kui sellele peale puhuda?
3. Millist osa etendab higi, mis palavaga keha pinnale ilmub?
4. Miks on kuivas õhus kuumust kergem taluda kui niiskes?
5. Et saada suvel kuuma ilmaga jahedat vett, kallatakse see urbsetesse savinõudesse, kust vesi pikkamööda aurustub. Sellistes nõudes on vesi ümbritsevast õhust jahedam. Miks see nii on?
6. Klaasis on väike kogus vett. Niisama palju vett on valatud ka vaagnale. Kust aurub vesi kiiremini? Põhjendage vastust.

7. Klaasplaadile või vineeritahvlile tõmmatakse pintsliga erinevate vedelike — eetri, piirituse, vee ja õli jäljed. Vaadeldes neid jälgi, märkame, et vedelikud auruvad erineva kiirusega. Tehke selline katse ja selgitage nähtust.

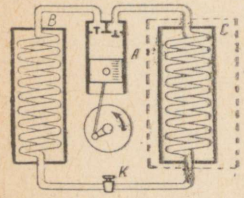
34. Külmutuskapp.

Täiendavaks lugemiseks

Nähtust, et vedeliku kiire aurumisega kaasneb jahtumine, kasutatakse laialdaselt igapäevases elus. Vagunites, kus transporditakse kiiresti riknevaid toiduaineid, kasutatakse jahutamiseks spetsiaalsetes seadmetes aurustuvat vedelat ammoniaaki või süsihappegaasi.

Jää saamiseks aurustatakse külmutusseadme spiraaltorudes vedelat ammoniaaki. Need torud läbivad soolalahust ja jahutavad selle alla 0 °C. Soolalahusesse paigutatakse veega täidetud vormid. Nendes vormides, mida ümbritseb jahtunud soolalahus, tekivadki jääkuubikud.

Tänapäeval kasutatakse väga palju elektrilisi külmutuskappe. Vaatleme kompressoriga töötava külmutuskapi töötamisprintsiipi. Seesugune külmutuskapp koosneb kolmest põhilisest osast: kompressorist *A*, kondensaatorist *B* ja aurustajast *C* (joon. 29). Spiraalikujulisse kondensaatorisse surutakse kompressori abil niisugune aine, mis kergesti läheb üle gaasilisest olekust vedelasse ja vastupidi. Taolistest ainetest on enam levinud ammoniaak, vääveldioksiid jt.



Joon. 29.

Kokkusurumisel läheb selline aine gaasilisest olekust vedelasse olekusse. Samaaegselt tekitab kompressor spiraalis-aurustajas hõrenduse. Läbi reguleeriva ventiili *K* tungib sinna vedel aine, mis kiiresti aurustub. Aurustumisega kaasneb aga energia neeldumine. See energia saadakse spiraali seintelt, seinu ümbritsevalt õhult ja seejärel toiduainetelt, mis asuvad külmutuskambris. Selle tagajärjel külmutuskambri temperatuur langeb ja toiduained säilivad jahedas hästi. Kompressori paneb tööle elektrimootor.

35. Keemine.

Soojendatavas vees toimuvate nähtuste jälgimiseks teeme järgmise katse. Selleks kuumutame vett avatud klaaskolvis (joon. 30, *a*). Pöörame kõigepealt tähelepanu sellele, et vedeliku aurumine algab pinnalt. Sellest annab tunnistust aurupilv, mis tekib nõu

kohale. Veeaur seguneb temast külmema õhuga ja kondenseerub väikeste tilgakestena. Aur ise on silmale nähtamatu.

Temperatuuri edasisel tõusmisel märkame vees loendamatute mullikeste tekkimist, mis järk-järgult kasvavad. Need moodustuvad vees lahustunud õhust. Vees leidub õhku alati, ja mida külmem on vesi, seda rohkem on temas õhku. Seepärast eraldubki üleliigne õhk vee kuumutamisel sellest mullikestena. Need mullikesed sisaldavad peale õhu ka veeauru, sest vesi aurustub nendesse õhumullikestesse.

Vee edasisel kuumutamisel muutuvad mullikesed suuremaks ja nende arv kasvab. Suurenenud mullikestele mõjub ka suurem üleslükkejõud. Lõpuks tõusevad nad veepinnale. Sellest momendist peale algab vee iseloomulik sahin, mis harilikult eelneb keemisele.

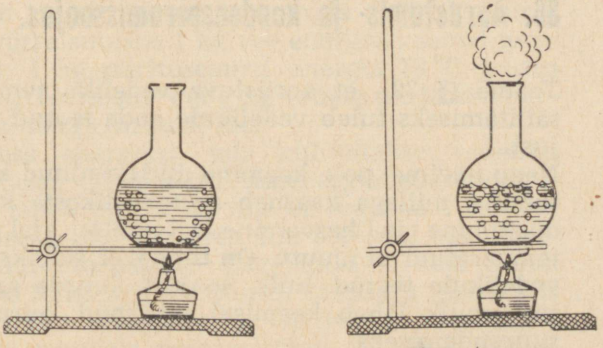
Järk-järgult tõusevad veepinnale kõik mullikesed peale nn. jääkmullikeste. Edasisel kuumutamisel kasvavad needki mullikesed, kuid nüüd on nad peaaegu tervenisti täidetud veeauruga ning õhku on neis väga vähe. Nad tõusevad vedeliku mitmetest kohtadest, järgnedes kiiresti üksteisele. Veepinnale lähenemisel mullikesed kasvavad. Pinnal nad lõhkevad ja neis sisalduv veeaur lendub atmosfääri. Nüüd vesi keeb (joon. 30, *b*).

Keemine on vedeliku aurustumisprotsess, millega kaasneb aurumullikeste kiire teke ning kasv, kusjuures mullikesed tungivad läbi vedeliku pinna väliskeskkonda.

Temperatuuri, mille juures vedelik keeb, nimetatakse keemistemperatuuriks.

Keemise jooksul vedeliku temperatuur ei muutu.

Järgmises tabelis on toodud erinevate ainete keemistemperatuurid.



Joon. 30. *a* *b*

Ainete keemistemperatuurid normaalrõhul (°C).

Vesinik	—253	Ammoniaak	—33	Piiritus	78	Elavhõbe	357	Vask	2580
Hapnik	—183	Eeter	35	Vesi	100	Plii	1750	Raud	3050

Tabelist on näha, et ained, mis tavalistes tingimustes on gaasilises olekus, veelduvad alles hästi tugeval jahtumisel ning keevad väga madalal temperatuuril. Näiteks vedel hapnik keeb normaalrõhu korral —183 °C juures. Sellised ained aga, mida me tavalistes tingimustes näeme tahkes olekus, veelduvad kuumutamisel ja keevad väga kõrgel temperatuuril. Vask keeb näiteks 2580 °C juures ja raud alles 3050 °C juures.

Küsimused.

1. Millist protsessi nimetatakse keemiseks? 2. Milliseid nähtusi me näeme vahetult enne vee keemahakkamist? 3. Missugused jõud mõjuvad vedeliku sees asuvale õhumullile? 4. Mida nimetatakse vedeliku keemistemperatuuriks?

Ülesanne.

Vaadelge vee kuumutamise ja keemise protsessi algusest lõpuni. Selleks kallake vesi lahtisesse plekknõusse ja asetage pliidile. Veelgi parem on selleks katseks kasutada keeduklaasi või -kolbi. Jälgige tähelepanelikult, mis toimub vees selle kuumutamisel. Pöörake tähelepanu asjaolule, et enne keemahakkamist muutub vesi läbipaistmatuks. Selgitage seda nähtust.
Vee keemise ajal hoidke nõu kohal kaldu puhas taldrik. Mida märkate? Selgitage. Kirjutage tehtud katsest lühike aruanne.

36. Aurustumis- ja kondenseerumissoojus.

Teame (§ 32), et aurustuva vedeliku temperatuuri säilitamiseks tuleb vedelikule anda teatud hulk soojust.
Nagu nägime, pole keemine midagi muud kui aurustumine, millega kaasneb aurumullikeste kiire moodustumine ja kasvamine. Keemise ajal vedeliku temperatuur ei muutu. On ilmne, et selleks on tarvis vedelikule teatud hulk soojust juurde anda. See soojushulk läheb keemisel tekkinud auru energia suurendamiseks.

Energiahulka, mis on vajalik 1 kg vedeliku aurustamiseks püsival temperatuuril, nimetatakse aurustumissoojuseks.

Paragrahvis 32 oli näidatud, et 1 kg vee muutmiseks auruks 35 °C juures on tarvis 576 kcal. Järelikult on vee aurustumissoojus 35 °C puhul $576 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$. Katseliselt on kindlaks tehtud, et vee aurustumissoojus 100 °C juures on $539 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$. Teisiti öeldes, 1 kg vee aurustamiseks temperatuuril 100 °C on tarvis 539 kcal ehk $2{,}3 \cdot 10^6$ J.
Mõningate ainete aurustumissoojused on toodud järgmises tabelis.

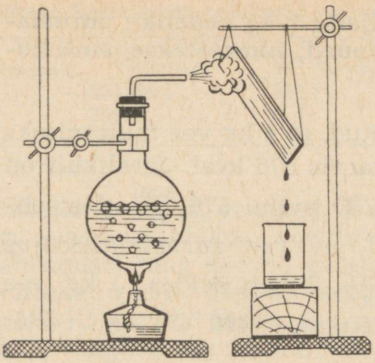
Vedelike aurustumissoojused keemistemperatuuril ja normaalrõhul.

Aine	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ või $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$	Aine	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ või $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$
Vesi	$2{,}3 \cdot 10^6$	539	Eeter	$0{,}4 \cdot 10^6$	85
Ammoniaak (vedel)	$1{,}4 \cdot 10^6$	327	Elavhõbe	$0{,}3 \cdot 10^6$	70
Piiritus	$0{,}9 \cdot 10^6$	204			

Aurustumissoojus näitab, kui palju suureneb 1 kg aine energia üleminekul vedelast olekust gaasilisse püsival temperatuuril.

Niisiis on 1 kg veeauru energia 100 °C juures 539 kcal võrra suurem 1 kg vee energiast samal temperatuuril; 1 kg piirituseauru energia 78 °C juures on 204 kcal võrra suurem 1 kg vedela piirituse energiast samal temperatuuril jne.
Tunduv osa energiast, mis kulutatakse vedeliku aurustamiseks, läheb auru siseenergia suurendamiseks. Nii läheb 539 kcal, mis on vajalik 1 kg vee aurustamiseks 100 °C juures, ligi 500 kcal auru siseenergia suurendamiseks. Ülejäänud 39 kcal kulub tööks, mida tehakse välisrõhu ületamiseks (peamiselt atmosfäärirõhu ületamiseks). On teada, et veeauru massiühiku ruumala normaalrõhul ja 100 °C korral

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU



Joon. 31.

on peaaegu 1700 korda suurem vee vastava massiühiku ruumalast samal temperatuuril.

1 kg veeauru siseenergia 100 °C juures on 500 kcal ehk $2 \cdot 10^6$ J võrra suurem kui 1 kg vee siseenergia samal temperatuuril.

Puutudes kokku külma esemega (joon. 31), veeaur kondenseerub, kusjuures vabaneb auru moodustumisel neeldunud energia. Täpsed katsed näitavad, et kondenseerudes annab aur ära just nii palju energiat, kui oli tarvis auru tekitamiseks.
Järelikult vabaneb 1 kg 100-kraadise veeauru kondenseerumisel 100-kraadiseks veeks 539 kcal energiat.
Auru kondenseerumisel vabanevat energiat on võimalik ära kasutada. Suurtes soojuselektrijaamades kasutatakse turbiinidest väljunud auru vee soojendamiseks. Sellisel viisil soojendatud veega köetakse hooneid, seda juhitakse saunadesse ja pesumajadesse ning kasutatakse muudeks praktilisteks vajadusteks.

Küsimused.

1. Milleks kulub vedeliku keemisel vedelikule antav energia? **2.** Mida nimetatakse aurustumissoojuseks? **3.** Missugused on aurustumissoojuse ühikud? **4.** Kuidas mõista, et vee aurustumissoojus on 539 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$? **5.** Kui palju on 1 kg veeauru siseenergia 100 °C juures suurem 1 kg vee siseenergiast samal temperatuuril? **6.** Kuidas saab katseliselt näidata, et auru kondenseerumisel vabaneb energiat? **7.** Millega võrdub 1 kg veeauru kondenseerumisel vabanev energia? **8.** Tooge näiteid tehnikast, kus kasutatakse veeauru kondenseerumisel vabanevat soojusenergiat.

37. Soojushulga arvutamise näiteid.

1. Kui palju energiat (džaulides) on tarvis kulutada, et muuta 5 kg vedelat ammoniaaki auruks ammoniaagi keemistemperatuuril ja normaalrõhul?

Tabelist (lk. 51) leiame, et normaalrõhul on ammoniaagi aurustumissoojus $L = 1{,}4 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Siit järeldub, et 5 kg vedela ammoniaagi aurustumiseks tema keemistemperatuuril on tarvis energiat:

$$Q = 1{,}4 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 5 \text{ kg} \approx 7{,}0 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

2. Kui palju energiat (džaulides) on vaja selleks, et muuta 2 kg vett, mille temperatuur $t_1 = 20\,^\circ\text{C}$, auruks temperatuuril $t_2 = 100\,^\circ\text{C}$?

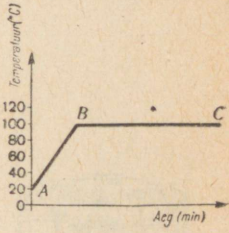
Suurema näitlikkuse huvides kujutame selle aurustamisprotsessi graafiliselt (joon. 32).

Graafiku lõik AB näitab, et vesi soojenes keemistemperatuurini, milleks kulus energiat:

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1).$$

Lõik BC näitab, et vesi muutus auruks jääval temperatuuril, neelates seejuures energiat:

$$Q_2 = Lm.$$



Joon. 32.

Kogu kulutatud energiahulk

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Asendades tähelised suurused nende arvuliste väärtustega, saame:

$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (100 - 20)^\circ +$$

$$+ 2{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg} \approx 5{,}3 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Harjutus 11.

1. Kuidas mõista, et ammoniaagi kondenseerumissoojus on $327 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$?
2. Missuguse aine (vt. tabel lk. 51) siseenergia suureneb vedelast olekust gaasilisse üleminekul kõige rohkem? Põhjendage vastust.
3. Miks on 100-kraadise veeauru põletus ohtlikum kui sama temperatuuriga vee põletus?
4. Kui palju energiat on tarvis, et muuta 150 g vett auruks 100 °C juures?
5. Kui palju on tarvis kulutada energiat, et 5 kg 0-kraadist vett kuumutada keemiseni ja seejärel aurustada?

6. Kui suur energiahulk vabaneb 1 kg 100-kraadise auru kondenseerumisel veeks ja selle jahtumisel temperatuurini 0 °C? Väljendage see energia džaulides.
7. Jää saamiseks aurustatakse külmutusmasinates vedelat ammoniaaki. Kui palju ammoniaaki tuleks aurustada, et 10 kg 0-kraadisest veest saada 0 °C juures 10 kg jääd?

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmistest teemadest:
1. Kuidas tekib kaste ja härmatis?
2. Pilvede tekkimine. Pilvede liigid.
3. Vihma, lume ja rahe tekkimine.
4. Vee ringkäik looduses.

SOOJUSMASINAD.

38. Gaasi ja auru töö paisumisel.

Eespool oli juba juttu sellest, et tehnika areng sõltub inimese oskusest üha rohkem kasutada kütuses peituvaid tohutuid siseenergia varusid.
Oskus kasutada siseenergiat tähendab saada selle energia arvel kasulikku tööd, näiteks tõsta mingit koormust, vedada vaguneid jne. See omakorda tähendab, et siseenergia kasutamiseks tuleb siseenergia muuta enne mehhaaniliseks energiaks. Kuidas seda teha?
Kallame katseklaasi veidi vett, suleme selle tihedalt korgiga ja kuumutame vett keemiseni. Keemisel tekkiv aur surub katseklaasilt korgi ja see lendab üles. Siin muutus kütuse energia auru siseenergiaks, aur aga tegi paisudes tööd — tõukas korgi välja.
Asendame katseklaasi metallsilindriga, korgi aga piki silindrit tihedalt liikuva kolviga. Nii saame lihtsaima soojusmasina, milles kütuse siseenergiat võib muuta mehhaaniliseks energiaks. Selline soojusmasin leiutati XVII sajandi lõpul ja seda on täiustatud seniajani.

Soojusmasinateks nimetatakse masinaid, milles kütuse siseenergia muutub mehhaaniliseks energiaks.

On olemas mitut liiki soojusmasinaid, nagu *aurumasin, sisepõlemismootor, auru- ja gaasiturbiin, reaktiivmootor.*

Kõigis neis masinais muutub kütuse energia esialgu gaasi (või auru) energiaks; ilma gaasi või auruta ei saa töötada ükski soojusmasin. Paisumisel teeb gaas tööd, kusjuures ta ise jahtub. Gaasi siseenergia aga muutub liikuva, kolvi mehhaaniliseks energiaks. Soojusmasinaist käsitleme lähemalt sisepõlemismootorit ja auruturbiini.

Küsimused.

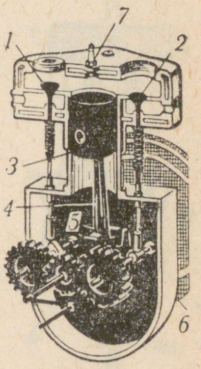
1. Milliseid masinaid nimetatakse soojusmasinaiks? 2. Kuidas toimub soojusmasinais kütuse energia üleminek mehhaaniliseks energiaks? 3. Milliseid soojusmasinaid te tunnete?

39. Sisepõlemismootor.

Väga levinud soojusjõumasina liigiks on sisepõlemismootor. Selles põleb kütus otse silindris, mootoris endas.

Sisepõlemismootor töötab vedelkütusel (bensiin, petrool, nafta) või põlevgaasil.

Joonisel 33 on toodud lihtsaima sisepõlemismootori läbilõige. Mootor koosneb silindrist, milles liigub kolb *3*, mis omakorda on kepsu *4* abil ühendatud väntvõlliga *5*. Väntvõllile on kinnitatud massiivne hooratas *6*. Silindri ülemises osas asuvad klapid *1* ja *2*, mis mootori töötamisel avanevad ja sulguvad vajalikul momendil. Klapi *1* kaudu siseneb silindrisse küttesegu, klapi *2* kaudu aga väljuvad sealt töötanud gaasid. Massiivne hooratas *6* on ette nähtud väntvõlli pöörlemise ühtlustamiseks. Küttesegu süüdatakse küünlal *7* tekitatava elektrisädeme abil.



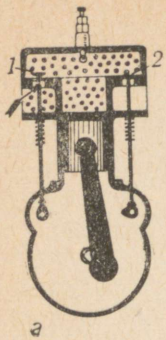
Joon. 33.

Sellise mootori silindris toimub küttesegu põlemine perioodiliselt. Küttesegu ise koosneb bensiinist ja õhust.

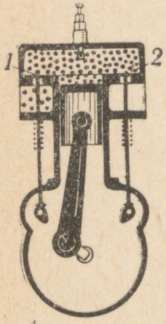
Gaasiliste põlemisproduktide temperatuur ulatub 1600—1800 °C. Seejuures kasvab järsult kolvile mõjuv rõhk. Paisudes tõukab gaas kolbi ja teeb seega mehhaanilist tööd. Seejuures gaas ise jahtub, sest osa tema siseenergiast muutub mehhaaniliseks energiaks.

Vaatleme sellise mootori tööd üksikasjalikumalt. Kolvi äärmisi asendeid nimetatakse surnud seisudeks. Vahemaad ühest surnud seisust teise nimetatakse kolvikäiguks.

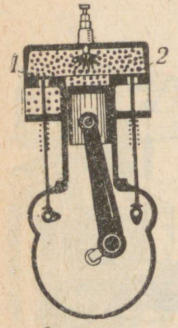
Üks töötsükkel koosneb neljast kolvikäigust ehk, nagu öeldakse, neljast taktist. Seejärel algab uus



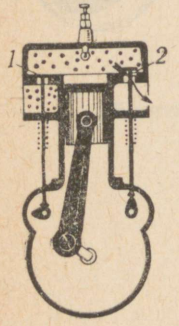
a



b



c



Joon. 34.

tsükkel, kus kõik toimub täpselt samuti. Selliseid mootoreid nimetataksegi neljataktilisteks.

Ühe kolvikäigu ehk mootori ühe takti jooksul teeb väntvõll pool pööret. Võlli pöördumisel liigub kolb esimese takti algul alla (joon. 34, *a*). Kolvi peal olev ruumala suureneb. Selle tulemusena tekib silindris hõrendus, avaneb klapp *1* ja silindrisse voolab küttesegu. Esimese takti lõpuks on silinder täitunud küttesegu ga ja klapp *1* sulgub.

Väntvõlli edasisel pöördumisel liigub kolb üles (II takt) ja surub küttesegu kokku (joon. 34, *b*). Teise takti lõpus, kui kolb on jõudnud ülemisse äärmisesse asendisse, pannakse kokkusurutud küttesegu elektrisädeme abil plahvatama. Toimub küttesegu kiire põlemine.

Põlemisel tekkivad gaasid suruvad tugevalt kolvile ja tõukavad selle alla (joon. 34, *c*). Kolvi liikumine antakse edasi kepsule ja selle kaudu omakorda hoorattaga varustatud väntvõllile.

Saanud tugeva tõuke, jätkab hooratas inertsi tõttu pöörlemist, pannes kolvi liikuma järgmistes taktides.

Põlevate gaaside paisumisel (kolmas takt) teeb mootor tööd, mistõttu seda takti nimetatakse töötaktiks.

Kolmanda takti lõpus avaneb klapp *2* ja selle kaudu väljuvad põlemisproduktid silindrist atmosfääri. Põlemisproduktide väljumine toimub ka neljanda takti jooksul, mil kolb liigub üles (joon. 34, *d*). Neljanda takti lõpus klapp *2* sulgub. Seejärel hakkavad mootori töötsüklid korduma.

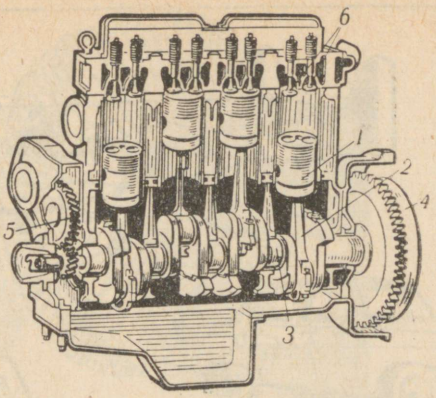
Mootori töötsükkel koosneb niisiis neljast taktist: *imemistakt, survetakt, töötakt* ja *väljalasketakt.*

Neljasilindrilisi sisepõlemismootoreid kasutatakse kõige sagedamini autodel. Joonisel 35 on kujutatud selline neljasilindriline mootor lõikes. Silindrite töö kooskõlastatakse omavahel nii, et töötaktid toimuvad silindrites järjekorras, mille tulemusena väntvõll saab energiat juurde pidevalt.

On olemas ka kaheksasilindrilisi automootoreid. Mitmesilindrilised mootorid tagavad väntvõlli ühtlasema pöörlemise ning nende võimsus on samuti suurem.

Automootorite käivitamiseks kasutatakse elektrimootorit — starterit.

Sisepõlemismootorite kasutusalasid on väga palju. Neid kasutatakse autodel, traktoritel, veduritel, laevadel ja lennukitel (joon. 37).



Joon. 35. Neljasilindrilise sisepõlemismootori läbilõige: *1* — kolb; *2* — keps; *3* — väntvõll; *4* — hooratas; *5* — hammasrattad liikumise ülekandmiseks; *6* — sisse- ja väljalaskeklapid.

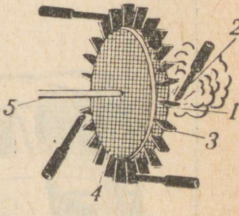
Küsimused.

1. Missugust soojusmasinat nimetatakse sisepõlemismootoriks? **2.** Nimetage lihtsaima sisepõlemismootori peamised osad. **3.** Missugused füüsikalised nähtused toimuvad sisepõlemismootori töötamisel? **4.** Mitu kolvikäiku ehk takti on mootori ühes töötsüklis? **5.** Missugused protsessid toimuvad mootoris iga nelja takti jooksul? **6.** Milline tähtsus on sisepõlemismootori hoorattal? **7.** Missuguseid sisepõlemismootoreid kasutatakse autodel kõige sagedamini? **8.** Kus veel peale autode kasutatakse sisepõlemismootoreid?

40. Auruturbiin.

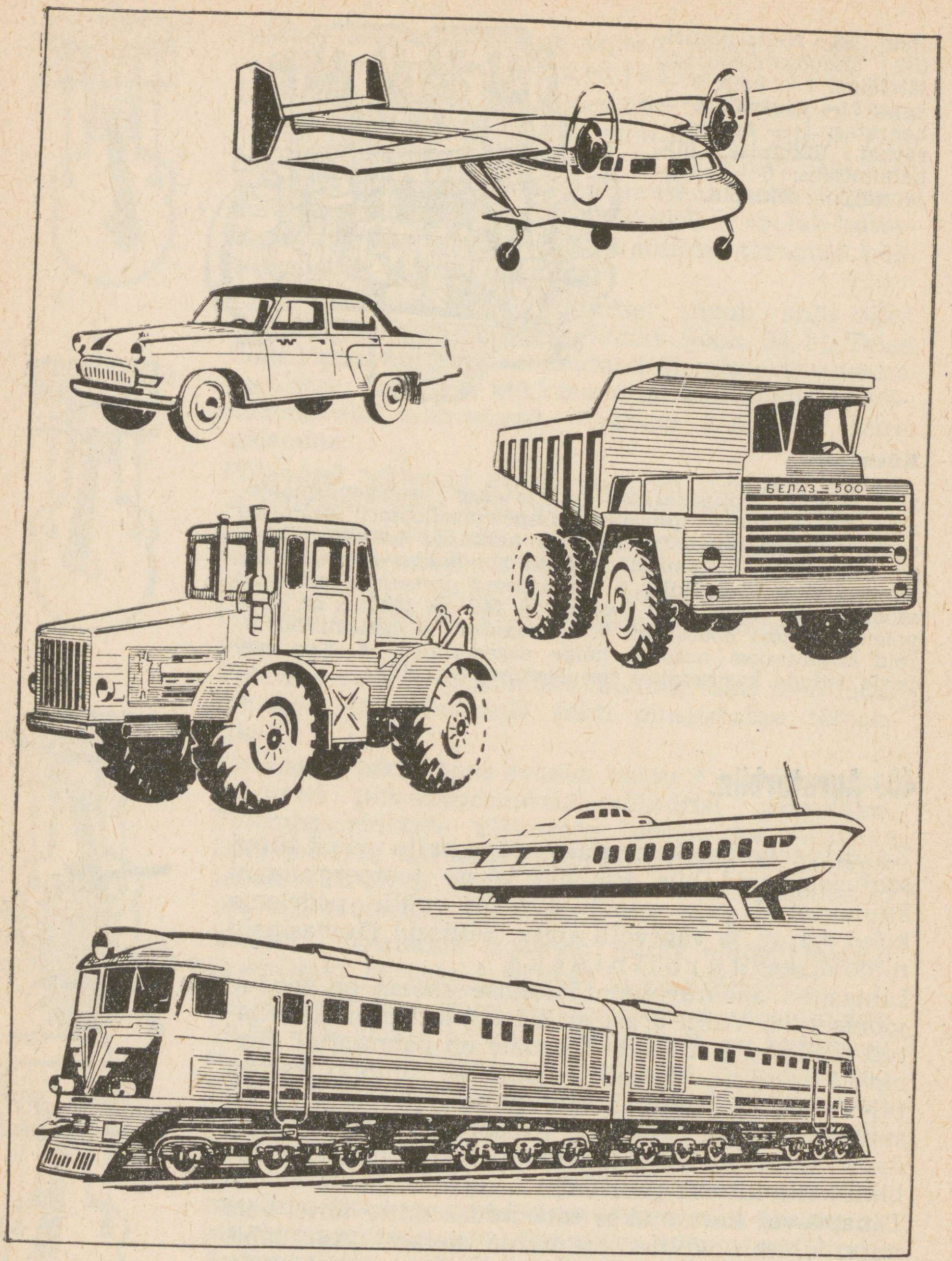
Kaasaja tehnikas kasutatakse väga palju erilist tüüpi soojusmasinaid, kus aur või kõrge temperatuurini kuumutatud gaas paneb mootori võlli pöörlema kolvi, kepsu ja väntvõlli abita. Selliseid jõumasinaid nimetatakse t u r b i i n i d e k s.

Lihtsaima auruturbiini töötamise skeem on toodud joonisel 36. Võllil *5* asuva ketta *4* külge on kinnitatud töölabad *3*. Labade lähedale on paigutatud laienevad torud — düüsid *2*, millesse suubub katlast tulev aur *1*. Düüsides aur paisub ja väljub neist suure kiirusega. Düüsidest paiskuvad aurujoad avaldavad töölabadele nii tugevat rõhku, et panevad turbiini ketta kiiresti pöörlema.

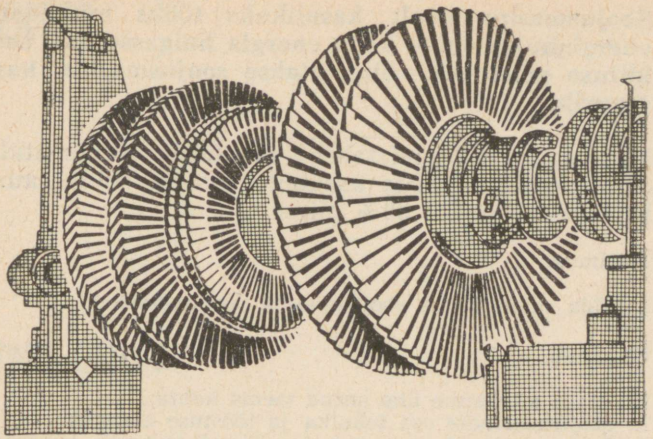


Joon. 36.

Tänapäeval kasutatakse turbiinides mitte ühte, vaid mitut ühisele võllile kinnitatud ketast. Aur läbib järgemööda kõigi ketaste labad, andes igaühele neist osa oma energiast. Sellise turbiini võlli pöörlemiskiirus on ligi 3000 pööret minutis. Seepärast ongi auru- või gaasiturbiine sobiv kasutada elektrijaamades voolugeneraatorite käitamiseks.



Joon. 37.



Joon. 38.

Joonisel 38 on kujutatud suure võimsusega auruturbiini rootor[1]. Jooniselt näeme labadega kettaid. Elektrijaamades ühendatakse turbiiniga elektrivoolugeneraator.

Nõukogude Liidu tehastes valmistatakse tänapäeval turbiine võimsusega kuni 800 000 kW. Projekteeritakse aga juba isegi 1 000 000 kW võimsusega turbiine.

Turbiine kasutatakse soojuselektrijaamades ja laevadel. Üha enam kasutamist leiavad ka gaasiturbiinid, kus auru asemel kasutatakse gaasi põlemisprodukte.

Küsimused.

1. Milliseid soojusmasinaid nimetatakse auruturbiinideks?
2. Milles seisneb turbiinide ja kolbmootorite ehituse erinevus?

41. Soojusmasina kasutegur.

Iga soojusmasin muudab mehhaaniliseks energiaks ainult osa põletatavas kütuses sisalduvast energiast. Tunduv osa kütuse energiast läheb kasutult kaduma ja hajub ümbritsevasse õhku.

[1] Rootor tuleneb ladinakeelsest sõnast *rotare* — keerama; kujutab endast turbiini pöörlevat osa koos ketastega.

Soojusmasina poolt kasulikuks tööks muundatud energiahulga suhet kogu energia hulgasse, mis saadi kütuse põlemisel, nimetatakse soojusmasina kasuteguriks.

Kasutegur väljendatakse tavaliselt protsentides. Sisepõlemismootorite kasutegur on 20—40%, auruturbiinidel umbes 30% piires.

Küsimus.

1. Mida nimetatakse soojusmasina kasuteguriks?

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühe antud teema kohta:

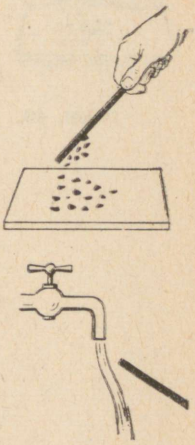
1. Soojusmasinate osa tehnika ja tööstuse arengus.
2. Soojusmasinate kasutegur ja võimalused selle suurendamiseks.
3. Esimesed soojusmasinad.
4. Esimesed Stephensoni ja Tšerepanovi ehitatud vedurid.
5. Esimesed aurulaevad.
6. Sisepõlemismootori eriliik — diiselmootor.
7. Mootorlaevad.
8. Soojusmasinad lennunduses.
9. Reaktiivmootorid.

ELEKTER.

AATOMI EHITUS.

42. Kehade elektriseerumine nende kokkupuutumisel.

Tutvume nüüd nende füüsikaliste nähtustega, mida nimetatakse elektrilisteks. Sõnad «elekter» ja «elektrivool» on tänapäeval tuntud igale inimesele. Meie kodudes, transpordis, tehastes ja vabrikutes, põllumajanduses kasutatakse elektrivoolu. Alustame elektri tundmaõppimist nähtustest, mille juures esmakordselt pandi tähele elektrilaengu olemasolu. Kui hõõruda klaaspulka paberilehega ja seejärel lähendada pulk käele, võib kuulda kerget praginat ja pimedas ruumis näha isegi väikseid sädemeid. Peale selle omandab klaaspulk pärast hõõrumist võime tõmmata ligi väikseid paberitükikesi, udusulgi, peenikest veejuga jne. (joon. 39). Taolisi nähtusi võib tähele panna ka kuivade juuste kammimisel.



Joon. 39.

Neid nähtusi pandi tähele juba kauges minevikus. Vana-kreeka õpetlased kasutasid sellistes katsetes sageli merevaiku[1]. Nemad märkasidki, et villaga hõõrutud merevaik hakkab tõmbama külge mitmesuguseid kehi. Kreeka keeles nimetatakse merevaiku e l e k t r o n i k s, seepärast hakatigi nimetama nähtusi, mis ilmnesid teineteisega kokkupuutuvate kehade hõõrdumisel, e l e k t r i l i s t e k s.

Keha, mis pärast hõõrumist tõmbab külge teisi kehi, nimetatakse *elektriseerituks* või öeldakse, et kehale on antud *elektrilaeng*.

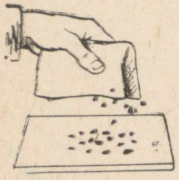
Kehale elektrilaengu andmist nimetatakse keha elektriseerimiseks.

[1] M e r e v a i k — sadu tuhandeid aastaid tagasi Maal kasvanud okaspuude kivistunud vaik.

Elektriseerida võib erinevaist aineist valmistatud kehi. Villase riidega hõõrudes on kerge elektriseerida kummi-, väävli-, eboniit-[1], plastmass- ja kapronpulkasid.

Kehad ei elektriseeru mitte ainult hõõrumisel, vaid ka nende kokkupuutumisel. Kehi hõõrutakse teineteise vastu ainult seepärast, et suurendada nende kokkupuutepinda.

Elektriseerimisel on alati tegemist kahe kehaga: eespool vaadeldud katsetes hõõruti klaaspulka paberilehega, merevaiku karusnaha või villase riidega, pleksiklaasist pulka aga siidriidega. *Seejuures elektriseeruvad mõlemad kehad.* Näiteks klaaspulga ja kummitüki hõõrumisel tekib laeng nii klaaspulgal kui ka kummil. Kummi, täpselt samuti kui klaas, hakkab külge tõmbama kergeid kehi (joon. 40).



Joon. 40.

Elektrilaengut võib anda edasi ühelt kehalt teisele. Selleks on vaja elektriseeritud kehaga puudutada teist keha, ja osa laengust lähebki üle teisele kehale. Kuidas veenduda, et ka teine keha on nüüd elektriseeritud? Nagu me juba teame, tuleb selleks kontrollitava keha lähedale tuua väikseid paberitükikesi ja vaadata, kas keha tõmbab neid külge.

Küsimused.

1. Kuidas teha katseliselt kindlaks, et kehade vastastikusel hõõrumisel tekib neil elektrilaeng? 2. Missugune on sõna «elekter» päritolu? 3. Mida nimetatakse keha elektriseerimiseks? 4. Kuidas näidata, et hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad?

43. Kahte liiki laengud. Laetud kehade vastastikune mõju.

Kõikidel elektriseeritud kehadel on võime tõmmata külge teisi kehi, näiteks paberitükikesi. Selle külgetõmbe järgi ei saa me eristada siidiga hõõrutud klaaspulga laengut karusnahaga hõõrutud eboniitpulga laengust. Mõlemad pulgad tõmbavad väikesi paberitükikesi külge ühtmoodi.

Kas tähendab see, et erinevast ainest kehade hõõrumisel saadud laengud ei erine teineteisest mitte millegi poolest?

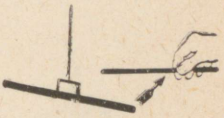
[1] Eboniit — suure väävlisisaldusega kautšuk.

Teeme katse. Elektriseerime niidi otsas rippuva eboniitpulga. Lähendame sellele karusnahatükiga hõõrutud samasuguse eboniitpulga. Eboniitpulgad tõukuvad teineteisest eemale (joon. 41). Kuna pulgad on ühesugused ja elektriseeritud hõõrumise teel ühe ja sama kehaga, siis võime öelda, et neil olid ühte liiki laengud. Nägime, *et ühte ja sama liiki laengutega kehad tõukuvad.*



Joon. 41.

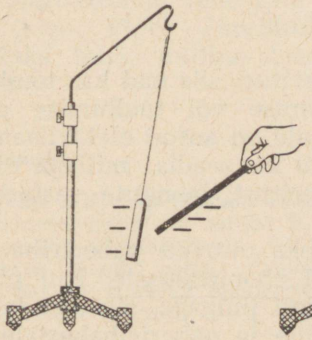
Nüüd lähendame ülesriputatud eboniitpulgale siidiga hõõrutud klaaspulga. Teades juba, et ühesuguselt laetud kehad tõukuvad, võime öelda: kui pulgad ka nüüd tõukuvad, siis on ka klaaspulgal olev laeng sedasama liiki mis eboniitpulgal. Kuid ilmneb, et eboniit- ja klaaspulk hoopis tõmbuvad (joon. 42). Järelikult on siidiga hõõrutud klaaspulgal teistsugune laeng kui karusnahaga hõõrutud eboniitpulgal. Tähendab, *on olemas kahte liiki elektrilaenguid.*



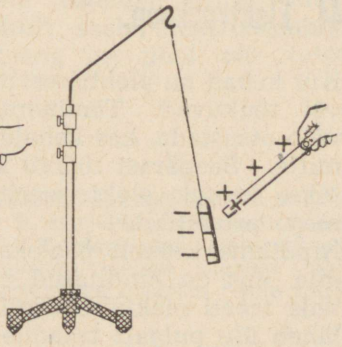
Joon. 42.

Lähendame ülesriputatud laetud eboniitpulgale teisi elektriseeritud kehi, mis on tehtud kas kummist, pleksiklaasist, plastmassist või kapronist. Näeme, et kord eboniitpulk tõukub neist eemale, kord jälle tõmbub lähemale. Kui eboniitpulk tõukub, tähendab see, et temale lähendatud kehal oli sedasama liiki laeng. Nendel kehadel, mille suhtes eboniitpulk tõmbus, oli samasugune laeng kui siidiga hõõrutud klaaspulgalgi. Seepärast võib öelda, et *on olemas ainult kahte liiki elektrilaenguid.*

Siidiga hõõrutud klaaspulga elektrilaengut nimetatakse kokkuleppeliselt p o s i t i i v s e k s, karusnahaga hõõrutud eboniitpulga laengut aga n e g a t i i v s e k s. Ühed kehad elektriseeruvad nii nagu klaaspulk, s. t. positiivselt, teised aga nagu eboniit-



Joon. 43.



Joon. 44.

pulk — negatiivselt. Katsed näitasid, et elektriseeritud kehad mõjuvad üksteisele erinevalt.

Samanimelise laenguga kehad tõukuvad, erinimelise laenguga kehad tõmbuvad.

Sama- või erinimeliselt laetud kehade vastastikust mõju võib näidata veel ühe katsega.
Puudutame siidniidi otsas rippuvat kerget hülssi laetud eboniitpulgaga. Pärast puudutust tõukub hülss eboniitpulgakesest eemale (joon. 43), sest kokkupuutel läks osa pulgakese laengust üle hülsile, järelikult sai hülss samanimelise laengu. Kui nüüd hülsile lähendada positiivselt laetud keha, tõmbub hülss selle poole (joon. 44).

Küsimused.

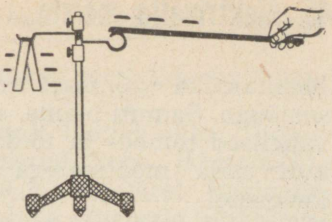
1. Kuidas mõjutavad teineteist kaks eboniitpulka, mis on elektriseeritud karusnahaga hõõrumise teel? 2. Kuidas näidata, et laeng, mis saadakse klaaspulga hõõrumisel siidiga, on teist liiki kui laeng, mis saadakse eboniitpulga hõõrumisel karusnahaga? 3. Millised kaks elektrilaengute liiki esinevad looduses? 4. Kuidas mõjuvad vastastikku samanimeliselt laetud kehad? erinimeliselt laetud kehad?

Ülesanne.

Mähkige ümber pliiatsi tinapaber ja võtke seejärel pliiats ettevaatlikult selle seest välja. Riputage saadud hülss siid- või kapronniidi abil üles, nagu näidatud joonisel 44. Puudutage hülssi elektriseeritud kehaga, mille laengu märk on teile teada. Seejärel elektriseerige teisi kehi ja, lähendades neid hülsile, määrake kindlaks nende laengu märk. Katse tulemused kirjutage vihikusse.

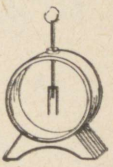
44. Elektroskoop.

Kui kehad on elektriseeritud, siis nad kas tõmbuvad või tõukuvad. Tõmbumise või tõukumise põhjal võib otsustada, kas kehale on antud elektrilaeng või mitte. Seepärast töötab ka seadis, millega määratakse kehade elektriseeritust, laengute vastastikuse mõju printsiibil.
Riputame keskelt pooleks murtud pabeririba traadile, mis on kinnitatud eboniitalusele. Kui puudutada traati elektriseeritud pulgaga, siis osa laengut läheb üle pulgalt traadile ja paberiribakestele ning need eemalduvad teineteisest (joon. 45).
See katse võimaldab kindlaks teha, kas keha on



Joon. 45.

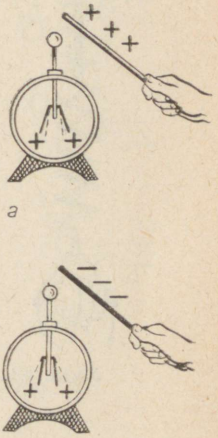
elektriseeritud. Samasugused lehed, mis pole aga tehtud paberist, vaid väga õhukesest lehtmetallist (fooliumist), on ka *elektroskoobi*[1] põhiosaks. *Elektroskoobiga saab kindlaks teha, kas keha on elektriseeritud või mitte* (joon. 46). Et kaitsta elektroskoobi õhukesi lehekesi välismõjude eest, kinnitatakse lehekesed metallvarda külge ja paigutatakse klaasnõusse.



Joon. 46.

Joonisel 46 on kujutatud koolides kasutatav elektroskoop. See kujutab endast kahelt poolt klaasidega kaetud metallkesta, mille plastmasskorgist on pandud läbi lehekestega metallvarras.

Mida suurem on elektroskoobi laeng, seda suurema jõuga lehekesed tõukuvad ja seda suurema nurga nad omavahel moodustavad. Tähendab, elektroskoobi lehekeste vahelise nurga muutumise järgi võib otsustada elektroskoobi laengu suurenemise või vähenemise üle. Kui laetud elektroskoobile lähendada keha, millel on elektroskoobiga samanimeline laeng, siis lähevad elektroskoobi lehekesed veelgi rohkem laiali (joon. 47, *a*). Lähendades elektroskoobile temaga erinimeliselt laetud keha, märkame, et elektroskoobi lehekeste vaheline nurk väheneb (joon. 47, *b*). Järelikult saab elektroskoobiga kindlaks teha, milline laeng on ühel või teisel kehal.



a

b

Joon. 47.

Küsimused.

1. Kuidas saab paberiribakeste abil kindlaks teha, kas keha on elektriseeritud või mitte? 2. Kirjeldage lähemalt koolis kasutatavat elektroskoopi. 3. Kuidas saab elektroskoobi lehekeste asendi põhjal otsustada laengu suuruse üle? 4. Kuidas on võimalik elektroskoobiga määrata meile tundmatu laengu märki?

[1] Elektroskoop tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *elektron* ja *skopeō* — *vaatlema, kindlaks tegema.*

45. Elektrivälja mõiste.

Mehhaanika õppimisel tutvusime raskusjõu ja elastsusjõuga. Samuti teame, et eksisteerivad molekulidevahelised tõmbe- ja tõukejõud, mis ilmnevad molekuli enda mõõtmetega võrreldes väga väikestel kaugustel.

Nüüd saime aga teada, et ka elektriseeritud kehade vahel mõjuvad vastastikused tõmbe- ja tõukejõud.

Elektriseeritud (laetud) kehade vastastikuseid mõjujõude nimetatakse elektrijõududeks.

Laetud kehad mõjutavad üksteist ka teatud vahemaa tagant.

Me oleme juba tutvunud sellise vastastikuse mõjujõuga nagu ülemaailmne gravitatsioon. Kõik kehad looduses tõmbuvad üksteise poole, kuigi neid lahutavad tohutud vahemaad. Vastastikune külgetõmme esineb näiteks planeetide ja Päikese, samuti Maa ja Kuu vahel.

Võrdluseks meenutame meile tuntud näidet, kus jõud tekivad alles kehade kokkupuutel. Väljavenitatud (deformeeritud) vedru mõjub kehale elastsusjõuga. See jõud on rakendatud kehale ja tema rakenduspunkt asub kohas, kus vedru puudutab keha (joon. 48). Ka hülsile rakendatud elektriline jõud sunnib hülssi liikuma, kuid seejuures teine laetud keha (klaas- või eboniitpulk) ei puuduta hülssi. Võib-olla levib vastastikune mõju siin õhu vahendusel? Ent elektriseeritud kehad mõjutavad teineteist ka õhuta ruumis.



Joon. 48.

Seega peab elektriseeritud pulgakest ümbritsev ruum ise erinema elektriseerimata pulka ümbritsevast ruumist.

Milles see erinevus siis seisneb? Kui elektriseeritud keha ümbritsevasse ruumi viia mõni teine laetud keha, näiteks hülss, siis mõjub talle elektrijõud. Elektriseerimata keha ümbruses seda aga ei juhtu.

Esimesel juhul öeldakse, et hülss asub elektrivälja. Elektriväli esineb elektriseeritud keha ümber, kuid me ei näe ega taju seda. Elektrivälja võib kindlaks teha vaid tema mõju järgi laetud kehale. Seejuures on mingisse elektrivälja viidud laetud kehal (hülsil) muidugi ka oma elektriväli, mis mõjub siis omakorda klaas- või eboniitpulgale. Järelikult esineb ka siin, nagu kõikjal mujalgi, kehade vastastikune mõju.

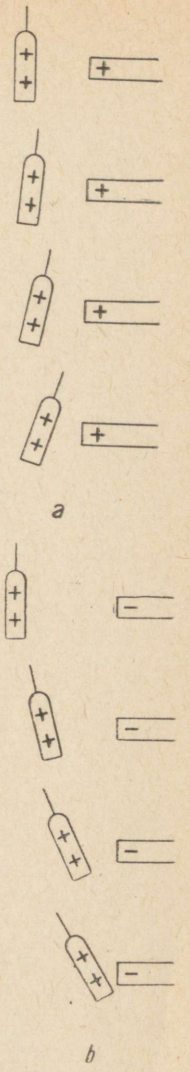
Elektriväljal on selline omadus, et tema mistahes

punkti asetatud laetud kehale mõjuvad elektrijõud.

Teeme katseid, mis võimaldavad meil lähemalt tutvuda elektriväljaga.

Riputame niidi otsa positiivselt laetud hülsi. Toome selle lähedale positiivselt laetud keha (klaaspulk), nagu näidatud joonisel 49, *a*. Seejärel hakkame hülssi koos alusega laetud kehale lähemale nihutama. Hülsi niidi kaldenurga järgi võime otsustada, et mida ligemal on hülss klaaspulgale, seda suurema jõuga mõjub hülsile elektriväli. Nähtu põhjal võime öelda: *laetud kehade lähedal on välja mõju tugevam, sellest eemaldumisel aga väli nõrgeneb.*

Toome nüüd sellesama hülsi lähedale negatiivselt laetud pulga. Näeme, et hülsile mõjuva jõu suund muutub eelmise juhtumiga võrreldes vastupidiseks (joon. 49, *b*). *Laetud keha ümbritsevas väljas mõjuvate elektrijõudude suund sõltub selle keha laengu märgist.*



Joon. 49.

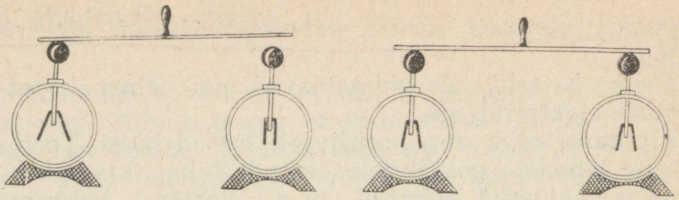
Küsimused.

1. Mille poolest erinevad elektrijõud elastsusjõududest? 2. Mille poolest erineb elektriseeritud keha ümbritsev ruum elektriseerimata keha ümbritsevast ruumist? 3. Kuidas saab kindlaks teha elektrivälja olemasolu? 4. Kuidas muutub laetud hülsile mõjuv jõud, kui nihutada hülssi mingist laetud kehast kaugemale? kui anda sellele kehale vastupidise märgiga laeng?

46. Elektrilaengu jagatavus.

Soojusnähtuste selgitamisel kasutasime oma teadmisi aine molekulaarsest ehitusest. Kuidas aga selgitada kehade elektriseerumist? Miks kehad elektriseeruvad? Mispärast kahel kokkupuutuval kehal tekivad tingimata erinimelised laengud? Et vastata neile ja paljudele teistele küsimustele, ei piisa enam aine molekulaarse ehituse tundmisest. Tavalises olekus on molekulid ja aatomid neutraalsed, s. t. neil puudub elektrilaeng, seepärast ei saa kehade elektriseerumist selgitada ka aatomite ja molekulide segunemisega. Võib-olla esinevad looduses laetud osakesed?

Katsed näitavad, et elektrilaeng võib jaguneda osadeks. Laeme metallkera, mis on kinnitatud elektroskoobi varda külge selleks, et tema laetud olek oleks hästi nähtav. Ühendame nüüd selle kera teise samasuguse, kuid l a a d i m a t a keraga (joon. 50, *a*).



Joon. 50.

Näeme, et pool laengust läheb esimeselt keralt üle teisele (joon. 50, *b*) Tähendab, esialgne laeng jagunes kaheks võrdseks osaks.

Lahutame nüüd kerad ja puudutame teist kera käega. Näeme, et teine kera kaotas laengu, ta tühjenes. Ühendame teise kera uuesti esimese keraga, millele jäi pool esialgsest laengust. See laeng jaguneb jällegi kaheks võrdseks osaks ja esimesele kerale jääv laeng moodustab esialgsest vaid neljandiku.

Sel teel võib saada esialgsest laengust kaheksandiku, kuueteistkümnendiku jne. Kuid peagi jääb kerale niivõrd väike laeng, et hariliku elektroskoobiga seda enam kindlaks teha ei õnnestu.

Et jagada laengut väga väikesteks osadeks, tuleb see jaotada mitte kerakeste, vaid metalliterakeste või vedelikutilgakeste vahel. Taoliste väikeste kehade laengu mõõtmisel nähti, et nii võib saada miljoneid ja miljardeid kordi väiksemaid laenguid kui äsja vaadeldud katses. Kuid teatud kindlast piirist edasi laengut enam jaotada ei õnnestunud. See andis põhjust oletada, et esineb laetud osake, mille laeng on kõige väiksem võimalikest laenguist.

Küsimused.

1. Kuidas katseliselt näidata, et elektrilaeng jaguneb osadeks? 2. Kas saab elektrilaengut jagada lõpmatuseni?

47. Joffe ja Millikani katse. Elektron.

Väikseimat elektrilaengut kandvate väikseimate osakeste olemasolu on tõestatud paljude katsetega. Vaatleme neist ühte — Joffe ja Millikani katset. Katse on saanud oma nime nõukogude teadlase Joffe ja ameerika teadlase Millikani perekonnanimedest, kes mõlemad tegid selle katse teineteisest sõltumatult.

Tutvume algul füüsikalise nähtusega, mida selles katses kasutati. See seisneb selles, et valgus- ja röntgenikiirte toimel võib keha kaotada negatiivse või omandada positiivse elektrilaengu. Näiteks negatiivselt laetud tsinkplaat kaotab oma laengu valguskiirte mõjul (joon. 51, *a*).

Seda nähtust nimetatakse fotoefektiks ja selle avastas vene teadlane Stoletov.

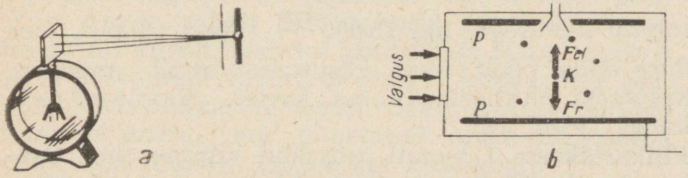
Joffe ja Millikani katsetes asetati suletud nõusse horisontaalselt metallplaadid *P* (joon. 51, *b*). Nende plaatide vahele pihustati õli. Pihustamisel tekkinud väga väiksed õlitilgakesed elektriseerusid. Seejärel vaadeldi neid tilgakesi mikroskoobiga. Valides neist välja ühe tilgakese, näiteks *K*, märgati, et see langeb raskusjõu mõjul allapoole.

Oletame, et tilgake *K* omandas pihustamisel negatiivse laengu. Siis võib tema langemist takistada sellega, et laeme alumise plaadi negatiivselt, ülemise aga positiivselt. Plaadid laeti selliselt, et tilgake jäi peatuma, s. t. temale mõjuv ülespoole suunatud elektrijõud F_{el} sai võrdseks raskusjõuga F_r ($F_{el}=F_r$). Siis määrati raskusjõud ja sellega ühtlasi ka temaga võrdne elektrijõud. See võimaldas elektrijõu ja plaatide laengu põhjal arvutada tilgakese laengu, sest elektrijõud F_{el} sõltub ju tilgakese ja plaatide laengu suurusest.

Seejärel muudeti tilgakeste laengut röntgenikiirte abil, s. t. kasutati fotoefekti. Tilgake *K* hakkas jällegi langema, sest laengu kahanemisel nõrgenes talle mõjuv elektrijõud. Plaatide laengu muutmisega peatati tilgake uuesti ja arvutati tema laeng. Nii toimiti mitu korda. Seejuures osutus tilgakese laeng iga kord erinevaks. Kuid alati oli see täisarv (2, 3, 4 jne.) korda suurem ühest kindlast suurusest.

Seda tulemust võib selgitada ainult järgmiselt: tilgakesega liitub või temalt lahkub teatud kindel väikseim jagamatu laeng või siis täisarv selliseid laenguid.

Järelikult on olemas laetud osake, millel on kõige väiksem jagamatu elektrilaeng. Seda osakest nime-



Joon. 51.

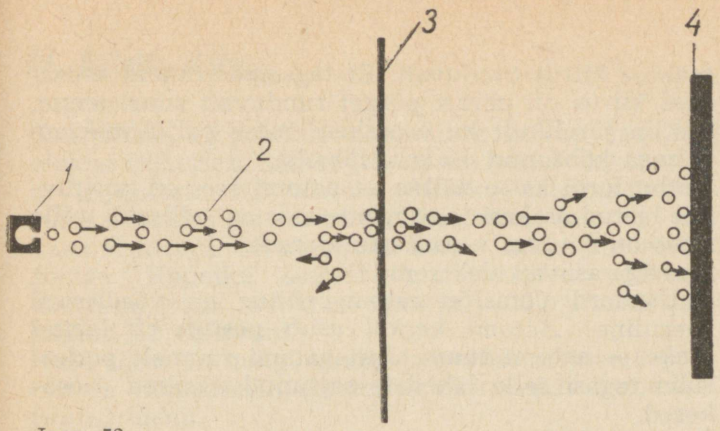
tatakse elektroniks. Elektron on väga väike, tema mass on kõige väiksema molekuli — vesiniku molekuli massist umbes 3700 korda väiksem.
Elektrilaeng on elektroni peamine omadus. Ei saa kujutleda, et elektronilt saaks laengu «ära võtta», nad on teineteisest lahutamatud. *Elektron on väikseima negatiivse laenguga osake.*

Harjutus 12.

Kirjeldatud katses (§ 47) laeti alumine plaat negatiivselt. Varem tasakaalus olnud tilgake hakkas liikuma ülespoole. Kuidas muutus tema laeng? Kas elektronide arv tilgakesel suurenes või vähenes?

48. Rutherfordi katse. Planetaarne aatomimudel.

Joffe ja Millikani katse ning paljud teised taolised katsed tõestasid negatiivselt laetud väikseima osakese — elektroni olemasolu. Kust neid elektrone saadakse? Kuna elektriseerida saab kõiki kehi, siis võib oletada, et elektrone on igas kehas. Me teame, et kõik kehad koosnevad molekulidest, molekulid aga omakorda aatomeist. Tähendab, elektrone tuleb «otsida» aatomeist.
Käesoleva sajandi algul uuris katsete varal aatomi koostist ja ehitust inglise füüsik Rutherford. Tema katse idee seisnes järgmises. Läbi metall-lehekese lastakse väga väikseid (aatomiga samas suurusjärgus asuvaid) suure kiirusega liikuvaid laetud osakesi. Selle põhjal, kuidas need osakesed, nn. «mürsud», läbivad metalli aatomeid, võib otsustada, kas aatomeis on teisi laetud osakesi või mitte.
Selleks ajaks, kui Rutherford tegi oma katseid, olid taolised osakesed — «mürsud» — juba teadlaste käsutuses. Osutus, et looduses on selliseid aineid (uraan, raadium jt.), mille aatomid pidevalt kiirgavad väikseid positiivse laenguga osakesi. Neid nimetatakse α-osakesteks ja nii neid ka tähistatakse (α — kreeka tähestiku esimene täht alfa). α-osakesed liiguvad tohutu kiirusega, ligi $15\,000\,\frac{km}{s}$. Neid väikesi, looduse enda poolt meie käsutusse antud «mürske» kasutaski Rutherford oma katses. Vaatleme seda katset (joon. 52).
Pliikarbikesse *1* asetati α-osakesi kiirgav aine. Osakesed väljusid karbist läbi väikese ava peene kimbuna *2*.



Joon. 52.

α-osakeste kindlakstegemiseks kasutati erilise seguga kaetud ekraani 4. Iga osakese põrkamisel vastu ekraani tekkis sellel hele sähvatus. Teisiti oleks α-osakesi raske kindlaks teha, sest neid ei saa ju vaadelda isegi mikroskoobiga. Ekraani ette asetati õhuke kuldleht 3. Kuigi see kuldleht oli väga õhuke (paksus 0,001 mm), mahtus tema paksusesse 3300 kihti kulla aatomeid.

Kuidas läbisid sellise plaadi α-osakesed?

Katsetulemused näitasid, et enamik α-osakesi läbis kuldlehe nii, nagu poleks nende teel midagi ees olnudki. Osa α-osakesi kaldus läbiminekul esialgsest sihist veidi kõrvale. Ja ainult tühine osa α-osakestest kaldus suure nurga võrra, üksikud neist (150 000-st kõigest 33) aga põrkasid peaaegu tagasi.

Rutherford selgitas neid tulemusi selliselt. Katsest järgneb, et *aatomeis on palju vaba ruumi*, milles pole aineosakesi. Seda kinnitab asjaolu, et enamik α-osakesi läbis kuldplaadi otse, kohtamata teel takistusi. α-osakeste väike kõrvalekalle on tingitud sellest, et ilmselt möödusid α-osakesed suhteliselt kaugelt mingeist *laetud osakestest*, mille mõju (tõmbamine või tõukamine) polnud kuigi tugev.

Kolmanda väga tähtsa järelduse tegi ta selle põhjal, et osa α-osakesi põrkas kulla aatomeilt tagasi. Mis sundis kiirelt lendavat positiivselt laetud osakest tagasi pöörduma? Ilmselt põrkas ta kokku teise osakesega, mis tõukas ta tagasi. See võis aga juhtuda ainult sel korral, kui nimetatud osake oli laetud *positiivselt* (täpselt samuti kui α-osakegi).

Peale selle, kahe osakese vastastikusel põrkel, nii nagu kõigi kehade puhul, muutub väiksema massiga

osakese kiirus tunduvalt. Et tagasipöördunud α-osakese kiirus oli pärast põrget tunduvalt suurenenud, siis on järelikult ka α-osakese mass palju väiksem temaga kohtunud osakese massist.

Rutherfordi katse näitas, et aatomi sees on positiivselt laetud osakesi ja et nende seas on selliseid, mille mass on suurem α-osakeste massist.

Kus aga asuvad elektronid?

Rutherford oletas, et aatomi ehitus on võrdlemisi keeruline. *Aatomi keskel asub positiivselt laetud osake — aatomi tuum.* Just aatomi tuumalt põrkusidki tagasi selle lähedale sattunud üksikud α-osakesed.

Tuumast küllalt kaugel (võrreldes aatomi mõõtmetega) asuvad väikseimad negatiivselt laetud osakesed — elektronid. Neid tõmmatakse küll tuuma poole, kuid nad ei liibu sellele, *vaid tiirlevad kiirelt ümber tuuma.* Kõigi elektronide mass moodustab aatomi massist vaid tühise osa.

Oma ehituselt meenutab aatom meie Päikesesüsteemi. Täpselt samuti nagu planeedid tiirlevad ümber Päikese, tiirlevad ka elektronid ümber tuuma tänu elektrilisele külgetõmbejõule.

Võrreldes elektroni mõõtmetega on kaugused aatomi tuuma ja tema ümber tiirlevate elektronide vahel väga suured. Kui kogu aatomit suurendada nii, et tema tuum muutuks 10-kopikase raha suuruseks, siis vahemaa tuuma ja elektronide vahel ulatuks umbes kilomeetrini!

Võime öelda, et aatom on põhilises osas seest tühi.

On välja arvutatud, et kui kõigis aatomeis liibuksid elektronid tihedalt vastu tuumasid, s. t. puuduksid täiesti aatomisisesed vahemikud, moodustaks täiskasvanud inimese keha ruumala vaid ühe miljondiku kuupmillimeetrist!

Nagu juba öeldud, on tuumal positiivne laeng. Suuruselt on tuuma laeng võrdne kõigi tema ümber tiirlevate elektronide kogulaenguga. Kuna elektronide laeng on negatiivne, on *aatom tervikuna neutraalne, s. t. tal puudub laeng.* Sellist Rutherfordi poolt esitatud aatomi ehituse kirjeldust hakati nimetama p l a n e t a a r s e k s a a t o m i m u d e l i k s.

Küsimused.

1. Milline eesmärk oli Rutherfordi katsel? 2. Kust saadakse α-osakesi? Mida te neist teate? 3. Kirjeldage Rutherfordi katset. 4. Millised on katse tulemused? 5. Kuidas selgitas neid tulemusi Rutherford? 6. Milline on aatomi planetaarne mudel?

49. Aatomi ehitus.

Keemiliste elementide aatomid erinevad tavalises olekus üksteisest ümber tuuma tiirlevate elektronide arvu poolest. Nii tiirleb vesiniku aatomis ümber tuuma ainult üks elektron, heeliumi aatomis aga kaks elektroni. On aatomeid kolme, nelja jne. elektroniga. Hapniku aatomi tuuma ümber tiirleb 8 elektroni, raua aatomis vastavalt 26, uraanis aga koguni 92 elektroni.

Kuid siiski on mingi kindla *keemilise elemendi peamiseks iseloomustajaks mitte elektronide arv, vaid tuuma laeng.*

Asi on nimelt selles, et mõnikord võivad elektronid end aatomist lahti rebida ja siis muutub aatomis elektronide üldine laeng. Aatomituuma laengut on aga väga raske muuta. Kui see aga siiski muutub, on tegemist juba teise keemilise elemendi tekkimisega.

Kuna aatomituuma laeng on võrdne elektronide laengute summaga, siis võib oletada, et tuum koosneb *positiivselt laetud osakestest.* Tõepoolest, kui «pommitada» ainet veelgi kiiremate osakestega, kui seda tegi Rutherford oma katses, võib tuumast välja lüüa positiivselt laetud osakesi. Neid osakesi hakati nimetama p r o o t o n i t e k s. Iga prootoni mass on 1840 korda suurem elektroni massist; prootoni laeng on positiivne ja absoluutväärtuselt võrdne elektroni laenguga.

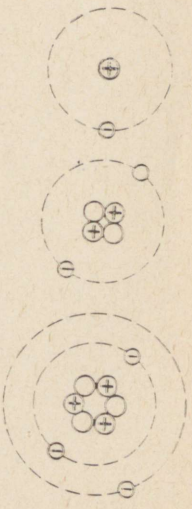
Pärast seda, kui oli tehtud Rutherfordi katse ja tõestatud prootonite olemasolu, jätkasid teadlased aatomituuma uurimist. Nad tegid kindlaks, et peale prootonite sisaldavad aatomite tuumad veel neutraalseid osakesi, millel puudub laeng. Neid osakesi hakati nimetama n e u t r o n i t e k s. Neutroni mass on võrdne prootoni massiga. Aatomi ehitus on selline:

aatomi keskel asub prootonitest ja neutronitest koosnev tuum, selle ümber aga tiirlevad elektronid.

Joonisel 53 on esitatud vesiniku, heeliumi ja liitiumi aatomi mudelid. Prootonid on tähistatud ringikestega, mille keskel on plussmärk, neutronid aga tühjade ringikestega.

Meenutame, et aatomil tervikuna pole laengut, vaid ta on neutraalne, sest tema tuuma positiivne laeng on võrdne kõigi tema elektronide laengute summaga.

Kui aatom on aga kaotanud ühe või mitu elektroni, ei ole ta enam neutraalne, vaid tal on positiivne



Joon. 53.

laeng. Niisugust, osa elektrone kaotanud aatomit nimetatakse positiivseks iooniks.
Esineb ka vastupidiseid juhtumeid, kus liigne elektron ühineb neutraalse aatomiga. Sel korral omandab aatom negatiivse laengu ja muutub negatiivseks iooniks.

Küsimused.

1. Mille poolest erinevad üksteisest keemiliste elementide aatomid? 2. Mis on antud keemilise elemendi peamiseks iseloomustajaks? 3. Millistest osakestest koosneb aatomi tuum? 4. Milline on vesiniku, heeliumi ja liitiumi aatomi ehitus? 5. Kuidas tekivad positiivsed ja negatiivsed ioonid?

Harjutus 13.

1. α-osakesed läbivad liitiumplaadi. Miks osa neist läbib plaadi kõrvale kaldumata? Miks osa kaldub veidi kõrvale? Miks osa põrkab tagasi?
2. Süsiniku aatomi tuumas on 12 osakest. Tuuma ümber tiirleb 6 elektroni. Kui palju on süsiniku aatomi tuumas prootoneid ja kui palju neutroneid?
3. Heeliumi aatomist eraldub üks elektron. Kuidas nimetatakse järelejäänud aatomiosa? Milline on tema laeng?

50. Kehade elektriseerumise olemus.

Aatomi ehituse tundmine võimaldab meil selgitada kehade elektriseerumist nende kokkupuutel.
Normaaltingimustes on iga keha elektronide hulk võrdne tema prootonite hulgaga. Kõik elektronid on ühesugused ja igaüks neist omab väikseimat negatiivset laengut. Täpselt samuti on ühesugused kõik prootonid ning igaühel neist on positiivne laeng, mis absoluutväärtuselt võrdub elektroni laenguga. Tähendab, *keha kõikide negatiivsete laengute summa on võrdne tema positiivsete laengute summaga ning kehal tervikuna pole laengut — ta on elektriliselt neutraalne.*
Kui neutraalne keha omandab elektrone mingilt teiselt kehalt, saab ta negatiivse laengu. Seega võime öelda, et *keha on laetud negatiivselt, kui tal on liigseid elektrone, võrreldes normaalse olekuga.*
Kui neutraalne keha aga kaotab elektrone, siis omandab ta positiivse laengu. Seega, *keha on laetud positiivselt, kui tal esineb elektronide puudujääk.* Järelikult elektriseerub keha, s. t. omandab elektri-

laengu ainult siis, kui ta saab juurde või kaotab elektrone.

Nagu me juba teame, omandab eboniitpulk villase riidega hõõrumisel negatiivse laengu, villane riie ise aga positiivse. See seletub järgmiselt. Villase riide aatomid hoiavad oma elektrone nõrgemini kinni kui eboniidi aatomid ja seetõttu lähevadki elektronid üle villaselt riidelt eboniidile. Seetõttu esinebki villasel riidel elektronide puudujääk, eboniidil on aga neid nüüd rohkem kui tavaliselt.

Nagu näitab katse, on villase riide ja eboniidi poolt omandatud laengud suuruselt võrdsed. See on ka mõistetav, sest täpselt niisama palju elektrone, kui villaselt riidelt lahkus, sai eboniit neid juurde.

Niisiis, kehade elektriseerimisel ei tekitata laenguid, vaid neid jaotatakse ümber: osa negatiivseid laenguid läheb üle ühelt kehalt teisele.

Kuidas aga selgitada nähtust, et laetud ja laadimata keha kokkupuutumisel läheb osa laengut laetud kehalt üle laadimata kehale? Meenutame, kuidas me laadisime hülssi (vt. joon. 43), andes talle osa pulga laengust. Kui me puudutame hülssi negatiivselt laetud kehaga, siis läheb osa elektrone kehalt hülsile ja viimane saab samuti negatiivse laengu.

Et laetud pulgal oli elektronide ülejääk, siis tõukusid need üksteisest eemale. See oligi põhjuseks, miks osa elektrone läks pulga ja hülsi kokkupuutel üle hülsile.

Kuidas antakse hülsile aga positiivne laeng? Hülsi kokkupuutel positiivselt laetud kehaga hakkavad liikuma jällegi elektronid, kuid nüüd liiguvad nad hülsilt positiivselt laetud pulgale. Elektronide liikumise põhjustab pulga külgetõmme. Nii ühel kui teisel juhul *liiguvad ühelt kehalt teisele üle ainult elektronid,* positiivselt laetud ioonid aga jäävad oma kohtadele.

Laengu ülekandmisel laetud kuulilt teisele samasugusele laadimata kuulile laeng jaguneb (vt. joon. 50, *b*). Kui aga teine, laadimata kuul on esimesest suurem, läheb sellele üle ka suurem osa laengust. Mida suurem on keha, millele laeng antakse, seda suurem osa laengust üle kandub. Samale põhimõttele on rajatud ka m a a n d a m i n e — laengu ülekandmine Maale. Maakera on temal asuvate kehadega võrreldes väga suur. Seepärast annabki laetud keha Maaga kokkupuutumisel peaaegu kogu oma laengu Maale ja jääb ise praktiliselt elektriliselt neutraalseks.

Küsimused.

1. Selgitage kehade elektriseerumist nende kokkupuutumisel. 2. Miks kehade elektriseerimisel hõõrumise teel tekivad neil suuruselt võrdsed, kuid erinimelised laengud? 3. Kuidas antakse paberist hülsile laeng positiivselt laetud kehalt? negatiivselt laetud kehalt? 4. Millest sõltub elektriseeritud kehalt elektriseerimata kehale kokkupuutumisel ülekanduva elektrilaengu suurus? 5. Miks kehade maandamisel läheb peaaegu kogu keha laeng üle Maale?

51. Elektrijuhid ja isolaatorid.

Et jagada elektrilaeng kaheks osaks, ühendatakse elektroskoobid metallvardaga (vt. joon. 50). Kui asendada metallvarras klaasvardaga, siis laeng teisele elektroskoobile ei kandu. Võime järgi anda edasi elektrilaenguid jaotatakse ained j u h t i d e k s ja m i t t e j u h t i d e k s.

Aineid, mida mööda laengud edasi kanduvad, nimetatakse elektrijuhtideks. Aineid, mida mööda laengud edasi ei kandu, nimetatakse mittejuhtideks ehk isolaatoreiks[1].

Headeks elektrijuhtideks on metallid, maapind, soolade, hapete või leeliste vesilahused, grafiit (näiteks pliiatsisüsi). Elektrit juhib ka inimese keha. Seda võib kontrollida väga lihtsa katse abil. Puudutame laetud elektroskoopi käega. Elektroskoobi lehekesed langevad silmapilk alla. Laeng läheb elektroskoobilt meie keha ja põranda kaudu maasse.

Metallidest on kõige paremateks elektrijuhtideks hõbe, vask ja alumiinium. Seepärast tehaksegi elektrivõrgu juhtmed peamiselt vasest või alumiiniumist.

Headeks isolaatoriteks on eboniit, merevaik ja teised vaikained, marmor, kummi, mitmesugused plastmassid, siid, kapron, petrooleum, õli.

Juhtide ja isolaatorite olemust võib selgitada aatomi ehituse põhjal. Neile elektronidele, mis tiirlevad tuumast kaugemal, mõjub tuuma külgetõmbejõud nõrgemini kui lähemal asuvaile. Aatomituuma elektriväli nõrgeneb tuumast kaugenemisel. Eriti nõrgalt on kaugemal tiirlevad elektronid seotud tuumaga metallide aatomeis. Seepärast lahkuvadki metallide aatomeis tuumast kaugemal asuvad elektronid oma kohalt ja liiguvad vabalt aatomite vahel.

[1] I s o l a a t o r tuleneb itaaliakeelsest sõnast *isolatore*, mis tähendab eraldama.

Neid elektrone nimetatakse vabadeks elektroniideks. Ained, kus esineb vabu elektrone, ongi elektrijuhid.

Kuidas toimub laengu üleminek mööda juhti ühelt elektroskoobilt teisele? Ühendame laadimata elektroskoobi metallvarda abil negatiivselt laetud elektroskoobiga. Metallvarda vabad elektronid satuvad nüüd elektrivälja ja hakkavad liikuma laadimata elektroskoobi poole. Selle tõttu tekib laadimata elektroskoobil elektronide küllus, ta on saanud negatiivse laengu.

Kui elektronid on jagunenud ühtlaselt mõlema elektroskoobi ja neid ühendava metallvarda vahel, siis nende liikumine lakkab.

Eboniidis, kummis, plastmassides ja paljudes teistes mittemetallides püsivad elektronid kindlalt oma aatomeis ega suuda vabalt liikuda. Seepärast osutuvadki sellised ained mittejuhtideks ehk isolaatoreiks.

Tundes aatomi ehitust ja teades, mis on elektron, võime selgitada nähtust, millest algas meie tutvus elektriga, s. o. elektriseerimata kehade tõmbumist elektriseeritud kehade külge. Miks siis näiteks tõmbub laetud pulga külge hülss, mida me eelnevalt pole elektriseerinud? Meie teadmiste järgi peaks elektriväli mõjuma ju ainult laetud kehadele.

Asi on selles, et hülsis leidub vabu elektrone. Niipea kui hülss on toodud elektrivälja, hakkavad need vabad elektronid elektrivälja jõudude toimel liikuma. Kui pulk on laetud positiivselt, siis lähevad elektronid hülsi sellesse otsa, mis on pulgale lähemal. Hülsi teises otsas on samal ajal elektronide puudujääk ja see hülsi ots on seega laetud positiivselt. Kuna negatiivselt laetud hülsi ots on pulgale lähemal, siis tõmbubki hülss pulga poole.

Küsimused.

1. Millised katsed näitavad, et ühed kehad juhivad elektrit, teised mitte? 2. Nimetage häid ja halbu elektrijuhte? 3. Kuidas selgitada aatomi ehituse teooria põhjal juhtide ja isolaatorite olemust? Kuidas selgitada hülsi tõmbumist laetud pulga külge?

Harjutus 14.

1. Miks saab eboniitpulka elektriseerida hõõrumise teel, hoides eboniitpulka käes, metallvarrast aga mitte?
2. Bensiini valamisel tsisternautodesse ühendatakse auto kindlasti metalljuhtme abil maaga. Miks seda tehakse?
3. Vigastatud juhtmete ühendamisel paneb elektrimontöör kätte kummikindad. Miks ta neid kasutab?

52. Elektrivool.

Tavaliselt, kui on juttu elektrienergia kasutamisest igapäevases elus, tootmises või transpordis, peetakse silmas elektrivoolu tööd.

Elektrivool juhitakse elektrijaamast tarbijani juhtmetega. Seepärast öeldakse elektrilampide ootamatu kustumise, elektrirongide, trammide või trollibusside liikluse lakkamise korral, et juhtmetest kadus vool.

Mida siis kujutab endast elektrivool ja mida on tarvis teha, et vool tekiks ja püsiks juhtmeis pikemat aega?

Sõna «vool» tähendab millegi liikumist või voolamist. Jõgedes ja veetorudes voolab vesi, torujuhtmeis nafta või gaas. Ka nendel juhtudel räägitakse voolust, konkreetsemalt vee, nafta või gaasi voolust.

Mis siis võiks liikuda (voolata) tarbijaid elektrijaamaga ühendavais juhtmeis?

Teame, et kehad sisaldavad elektrone, mille liikumisega on seletatavad mitmesugused kehade elektriseerimise nähtused (§ 50, 51). Elektronid on osakesed, mis kannavad negatiivset elektrilaengut. Elektrilaeng võib esineda ka palju suurematel aineosakestel — aatomitel ja molekulidel — juhul, kui neil esineb elektronide üle- või puudujääk. Järelikult, üldjuhul võivad juhtmeis liikuda mitmesugused laetud osakesed.

Elektrivooluks nimetatakse laetud osakeste suunatud liikumist.

Et saada juhtmes elektrivoolu, tuleb temas tekitada elektriväli. Elektrivälja toimel hakkavad vabad laetud osakesed liikuma neile mõjuvate elektrijõudude suunas, mille tulemusena tekibki elektrivool.

Kõige lihtsamalt saab tekitada juhtmes elektrivoolu, kui ühendada juhtme abil mingi laetud keha maaga. See vool kestab küll väga lühikest aega, sest elektriseeritud keha laeng läheb kiiresti maasse. Kui keha kaotab laengu, kaob juhtmes elektriväli ja samaaegselt katkeb ka vool.

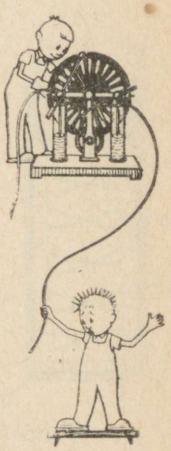
Selleks et elektrivool püsiks juhtmes pikemat aega, tuleb juhtmes pidevalt säilitada elektrivälja. Voolu hoidmiseks oleks tulnud eelmises näites keha laen-

gut pidevalt täiendada, andes talle klaas- või eboniitpulgaga järjest laenguid juurde. Ent pole raske mõista, et selline elektrivälja säilitamise moodus on praktiliselt kõlbmatu.
Praktiliselt tekitatakse juhtmetes elektriväli ja seda säilitatakse vajaliku ajal jooksul vooluallikate abil.

Küsimused.

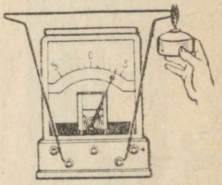
1. Mida mõeldakse elektrienergia praktilise kasutamise all? 2. Mis on elektrivool? 3. Mida tuleb teha, et juhtmes tekiks ja püsiks elektrivool?

53. Vooluallikad.



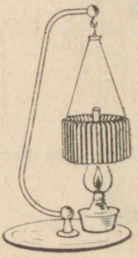
Joon. 54.

Nägime, et juhtmes elektrivoolu saamiseks tuleb selles tekitada ja alal hoida pidevalt elektrivälja. Seda ülesannet täidab vooluallikas. Vooluallikaid on mitmesuguseid, kuid kõigis neis tehakse tööd positiivselt ja negatiivselt laetud osakeste eraldamiseks.
Need osakesed kogunevad vooluallika poolustele. Poolusteks nimetatakse vooluallika kohti, kuhu klemmide või klambrite abil ühendatakse juhtmed. Vooluallika üks poolus on laetud positiivselt, teine negatiivselt. Vooluallika pooluste vahel tekib elektriväli. Kui poolused ühendada juhtmega, tekib elektriväli ka selles juhtmes. Elektrivälja toimel hakkavad vabad laetud osakesed liikuma ja tekibki elektrivool.
Vooluallikates toimub laetud osakeste jaotamise protsessis mehhaanilise, keemilise või siseenergia muutumine elektrienergiaks.
Näiteks elektrofoormasinas (joon. 54) muudetakse elektrienergiaks mehhaaniline energia.



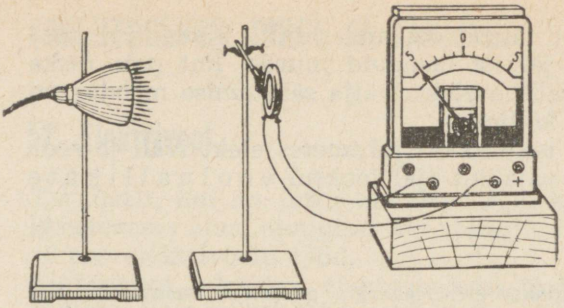
Joon. 55.

Joonisel 55 on kujutatud *termoelement*, mis koosneb kahest erinevast otsapidi kokkujoodetud metalljuhtmest. Jootekoha kuumutamisel tekib termoelemendiga ühendatud juhtmeis elektrivool. Termoelemendis muudetakse elektrienergiaks siseenergia. Joonisel 56 on kujutatud termoelektrigeneraator, mida kasutatakse raadiolampide toitmiseks vooluga. Selline generaator koosneb mitmest termoelemendist.



Joon. 56.

Mõnede ainete, nagu seleeni, vaskoksiidi, räni jt. valgustamisel muutub valgusenergia vahetult elektrienergiaks. Seda nähtust nimetatakse fotoefektiks



Joon. 57.

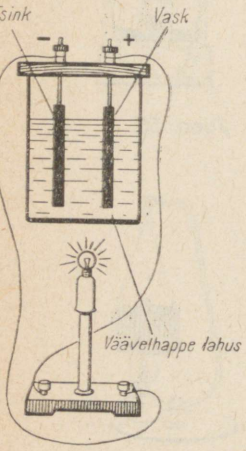
(§ 47). Nimetatud nähtusel põhineb fotoelektriliste generaatorite — *fotoelementide* ehitus ja töötamine (joon. 57). Fotoelemente kasutatakse laialdaselt praktilises elus, näiteks kino-, televisiooni-, fototelegraafi- jne. seadmetes.

Termoelemente ja fotoelemente õpitakse üksikasjalikumalt tundma vanemate klasside füüsikakursuses.

Küsimused.

1. Mis ülesanne on vooluallikal? 2. Millised energia muundumised toimuvad vooluallikas? 3. Missugused energia muundumised toimuvad elektrofoormasina, termoelemendi ja fotoelemendi töötamisel?

54. Galvaanielemendid ja akumulaatorid.



Joon. 58.

1. Galvaanielemendid. Vaatleme kõigepealt galvaanielementide ja akumulaatorite ehitust ja tööd, sest neid kasutame elektrikatsete läbiviimisel kõige sagedamini.

Galvaanielemendis *muundub* ainete reageerimisel tekkiv *keemiline energia elektrienergiaks.*

Lihtsaimaks galvaanielemendiks on Volta element, mis koosneb väävelhappe vesilahusesse asetatud tsink- ja vaskplaadist.

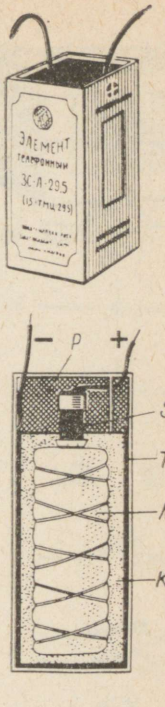
Tsingi ja happe vastastikusel toimel jagunevad elektrilise laenguga osakesed erinevatele plaatidele, kusjuures tsinkplaat saab negatiivse, vaskplaat aga positiivse laengu. Laetud plaatide vahel tekib elektriväli.

Kui ühendada elemendi vask- ja tsinkplaat omavahel juhtmega, hakkavad kogu selle juhtme ulatuses liikuma elektronid, ahelat läbib elektrivool. Joo-

nisel 58 on elemendi poolused ühendatud läbi elektrilambi.

Tänapäeval on kõige enam levinud kuivelemendid. Joonisel 59, *a* on näha ühe sellise elemendi välisvaade, joonisel 59, *b* aga tema ehitus. Kuivelement koosneb tsinkkestast *T*, millesse on asetatud söevarras *S*. Varras on omakorda paigutatud linasest riidest kotikesse *M*, mis on täidetud mangaandioksiidi ja söe seguga. Vedeliku asemel kasutatakse elemendis paksu kliistrit *K*, mis on valmistatud jahust ja ammooniumkloriidi (salmiaak) lahusest. Tsinknõu koos sisuga on paigutatud pappkarpi ja pealt kaetud pigikihiga *P*. Pigikihti on tehtud väike ava, mille kaudu pääsevad välja elemendi töötamisel tekkivad gaasid. Söevardale kinnitatud klemm on elemendi positiivseks pooluseks, tsinkanuma külge joodetud klemm aga negatiivseks pooluseks.

Mitmest niisugusest elemendist võib koostada patarei. Joonisel 60 on kujutatud taskulambipatarei. Selles patareis on esimese elemendi söevarras ühendatud teise elemendi tsinkanumaga, teise elemendi söevarras aga kolmanda elemendi tsinkanumaga. Esimese elemendi tsinkanumast ja kolmanda elemendi söevardast on toodud välja plekiribad, mis ongi patarei poolusteks: esimene neist negatiivne, teine positiivne.

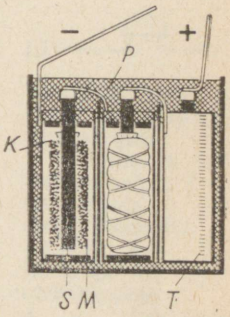


Joon. 59.

2. Akumulaatorid[1]. Galvaanielementide töötamisel kuluvad elektroodid ja lahus, mistõttu teatud aja möödumisel tuleb need asendada uutega. Kuid on ka vooluallikaid, mille elektroodid ei kulu. Need on akumulaatorid.

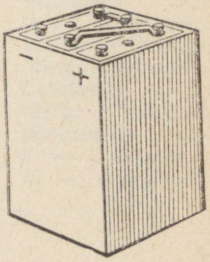
Lihtsaim akumulaator koosneb kahest väävelhappe lahusesse asetatud pliiplaadist.

Et akumulaatorist saaks vooluallikas, tuleb teda eelnevalt «laadida». Laadimiseks lastakse läbi akumulaatori mingi vooluallika vool. Kui akumulaator on laetud, võib teda kasutada iseseisva vooluallikana. Akumulaatori poolused on tähistatud märkidega «+» ja «—». Laadimisel tuleb akumulaatori positiivne poolus ühendada vooluallika positiivse poolusega, negatiivne aga negatiivsega.



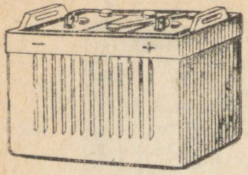
Joon. 60.

Peale *plii-* ehk *happeakumulaatorite* kasutatakse laialdaselt veel *raudnikkel-* ehk *leelisakumulaatoreid* (joon. 61). Raudnikkelaku plaadid kujutavad endast taskutega raudvõresid. Üks plaat sisaldab



Joon. 61.

[1] Akumulaator tuleneb ladinakeelsest sõnast *accumulare* — koguma.



Joon. 62.

kokkupressitud rauapulbrit, teine nikkeloksiidi. Plaadid asetsevad leelise (sööbekaaliumi) vesilahuses.

Joonisel 62 näeme akupatareid, mis koosneb kolmest happeakumulaatorist. Aku peal on näha sillad, mis ühendavad ühe akumulaatori negatiivse pooluse teise akumulaatori positiivse poolusega.

Laadimise ajal suureneb elektrivoolu töö arvel akumulaatori keemiline energia. Akumulaatori tühjendamisel muutub keemiline energia jällegi elektrivoolu töö kaudu teisteks energialiikideks.

Akumulaatoreid kasutatakse tänapäeval väga palju, näiteks raudteevagunite ja autode valgustussüsteemi toitmiseks, automootori käivitamiseks starteri abil. Akumulaatorite patareid varustavad elektrienergiaga allveelaevu. Maa tehiskaaslastele paigutatud raadiosaatejaamad ja kogu uurimisaparatuur saab toitevoolu tehiskaaslastele paigutatud akumulaatoritelt.

Küsimused.

1. Kuidas on ehitatud Volta element? 2. Millised energia muundumised toimuvad Volta elemendis? 3. Mida kujutavad endast vooluallika poolused? 4. Milline poolus on Volta elemendis positiivne, milline negatiivne? 5. Missuguste energeetiliste protsessidega on tegemist akumulaatori laadimisel ja tühjenemisel? 6. Milliste vooluallika klemmidega tuleb ühendada akumulaatori poolused laadimisel? 7. Kus kasutatakse akumulaatoreid?

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmisel teemal:
1. Galvani avastus.
2. Volta uurimused.
3. «Volta sammas».

55. Vooluring ja selle osad.

Kõigis vooluallikates saadakse elektrienergiat mingi teise energialiigi arvel. Galvaanielementides muundub elektrienergiaks keemiline energia. Elektrijaamades saadakse voolu generaatoritest[1], mis pannakse tööle kas auru- või hüdroturbiinidega.

Elektrimootoreid, lampe, küttekehasid, kõikvõimalikke seadmeid, mis töötavad elektrivooluga, nimetatakse elektrienergia tarbijaiks.

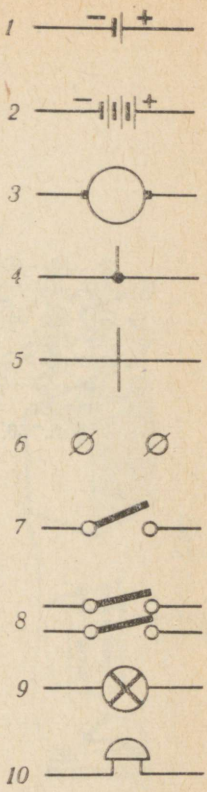
[1] Generaator tuleneb ladinakeelsest sõnast *generator* — looja, tekitaja.

Elektrienergia tuleb juhtida tarbijasse. Selleks ühendatakse tarbija juhtmete abil elektrienergia allikaga.

Et elektrienergia tarbijad teatud ajaks ühendada vooluringiga, selleks kasutatakse l ü l i t e i d.

Omavahel juhtmetega ühendatud vooluallikas, tarbija ja lülitid moodustavad v o o l u r i n g i. Et vooluringis oleks vool, peab see olema *suletud*, s. t. koosnema ainult elektrijuhtidest. Kui juhe mingis kohas katkeb või on juhi asemele pandud isolaator, katkeb ka vool vooluringis. Sellele ongi rajatud lülitite töö.

Jooniseid, millel on kujutatud mitmesuguseid võimalusi elektriseadmete ühendamiseks ühtsesse vooluringi, nimetatakse *skeemideks*. Mõõteriistu ja seadmeid tähistatakse skeemidel vastavate tingmärkidega. Mõned neist on toodud joonisel 63.



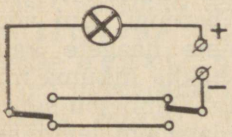
Joon. 63. Skeemidel kasutatavad tingmärgid: *1* — element või akumulaator; *2* — elementide või akumulaatorite patarei; *3* — generaator või elektrimootor; *4* — juhtmete ühendus; *5* — juhtmete lõikumine (ühenduseta); *6* — klemmid mingi riista ühendamiseks; *7* — lüliti; *8* — kahepooluseline lüliti; *9* — elektrilamp; *10* — elektrikell.

Küsimused.

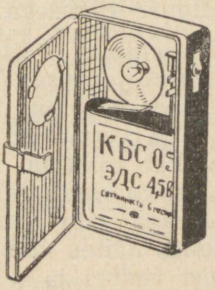
1. Missugune on vooluallika osa vooluringis? 2. Milliseid elektrienergia tarbijaid te tunnete? 3. Millistest osadest koosneb vooluring? 4. Mida kujutab endast suletud vooluring? avatud vooluring? 5. Mida nimetatakse vooluringi skeemiks?

Harjutus 15.

1. Vaadelge laualambi pistiku ehitust. Mis materjalist on valmistatud selle erinevad osad?
2. Joonistage vooluringi skeem, milles on elektrikell koos lülitiga.
3. Joonistage vooluringi skeem, kui vooluringis on galvaanielement ja 2 elektrikella, millest kumbagi saab helistada oma lülitist.
4. Joonistage vooluringi skeem, kui vooluringis on galvaanielement, kell ja kaks nupplülitit, nii et helistada saaks kahest erinevast kohast.
5. Joonisel 64 on skeem, milles on lamp ja kaks lülitit. Vaadelge skeemi ja mõelge, kus võiks sellist ühendust kasutada.
6. Vaadelge taskulambi vooluringi (joon. 65) ja nimetage selle üksikud osad. Joonistage sellise vooluringi skeem tingmärkide abil.

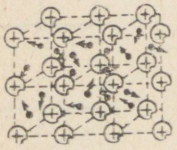


Joon. 64.



Joon. 65.

56. Elektrivool metallides.



Joon. 66.

Nagu teame, esineb juhtides vabu laetud osakesi. Metallides on sellisteks osakesteks elektronid.

Varajasemast (§ 19) teame, et metallid on tahkes olekus kristallilise ehitusega. Osakesed asetsevad kristallides rangelt määratud kohtades, moodustades ruumvõre (kristallivõre). Kristallivõrest sõltubki kristalli ilme ja kuju. Joonisel 66 on kujutatud kuubikujuline kristallivõre. Selle võre sõlmedes asuvad positiivselt laetud aatomid (ioonid). Joonisel on need aatomid kujutatud sälguga ringikestena. Aatomitevahelises ruumis liiguvad vabad, s. t. oma aatomituumaga sideme kaotanud elektronid. Joonisel on elektronid näidatud väikeste mustade punktidena koos noolekestega.

Kõikide vabade elektronide negatiivne laeng on absoluutväärtuselt võrdne ruumvõre kõikide ioonide positiivse laenguga. Seepärast on harilikes tingimustes metall elektriliselt neutraalne ja vabad elektronid liiguvad temas korrapäratult. Elektronide kiirus sõltub, samuti kui molekulide kiiruski, metalli temperatuurist, kuid elektronide kiirus on muidugi tunduvalt suurem. Elektronide korrapäratu liikumine ei põhjusta metallis voolu. Kui aga metallis tekitada elektriväli, hakkavad kõik vabad elektronid liikuma elektrivälja jõudude mõjumise suunas, tekib elektrivool. Seejuures säilib muidugi ka vabade elektronide korrapäratu liikumine. Siin esineb teatud sarnasus sääskede korrapäratu liikumisega nende parves, mida tuul kannab kindlas suunas.

Niisiis, *elektrivool metallides kujutab endast elektronide suunatud liikumist.*

Elektrivälja mõjul juhis liikuvate elektronide kiirus ei ole kuigi suur, kõigest mõned meetrid sekundis. Kuid niipea, kui juhis tekib elektriväli, levib see kogu juhtme ulatuses tohutu kiirusega, mis võrdub valguse kiirusega vaakuumis $\left(300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \right)$.

Üheaegselt elektrivälja levikuga hakkavad kogu juhtme ulatuses liikuma elektronid.

Et seda paremini mõista, kujutame endale ette vedurist ja vaguneist koosnevat kaubarongi. Kui vedur hakkab liikuma, kandub liikumine haagete kaudu edasi ka vagunitele. Vagunid ei hakka liikuma mitte korraga, vaid üksteise järel veduri tõmbejõu suunas. Selles näites võib elastse deformatsiooni levimiskiirust veduri ja sellele lähima vaguni, aga ka järg-

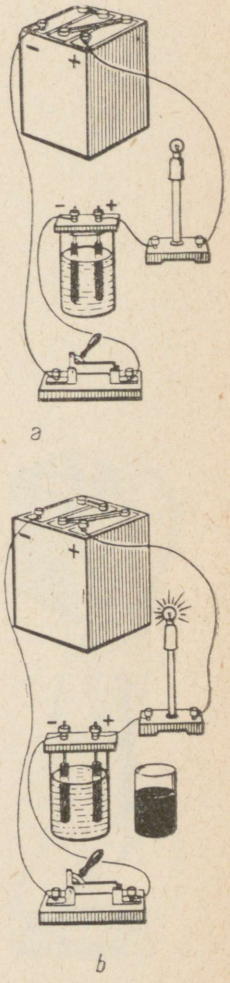
miste vagunite haakekohtades võrrelda elektrivälja levimisega juhis. Vagunite liikumise võime lugeda sarnaseks üksikute elektronide liikumisega kogu juhtme ulatuses. Kui räägitakse elektrivoolu levimiskiirusest juhtmes, siis mõeldakse selle all ikka elektrivälja levimiskiirust piki juhet.
Elektriline signaal, mis saadetakse näiteks Moskvast teele Vladivostoki suunas (s = 8000 km), jõuab sinna 0,03 sekundi pärast.

Küsimused.

1. Kuidas selgitada, et metall on tavalistes tingimustes elektriliselt neutraalne? 2. Miks elektronide korrapäratu liikumine metallis ei põhjusta elektrilaengute ümberpaiknemist? 3. Mida kujutab endast elektrivool metallides? 4. Mis tuleb metallis tekitada, et kutsuda esile elektronide suunatud liikumine? 5. Millist kiirust peetakse silmas, kui räägitakse elektrivoolu levimiskiirusest juhtmes?

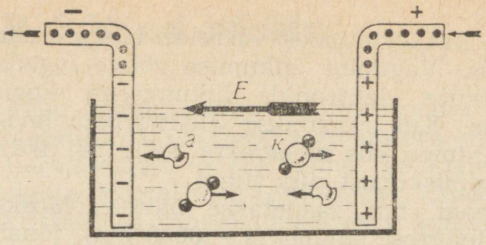
57. Elektrivool elektrolüütides.

Soolade, hapete ja leeliste vedelates lahustes, nn. elektrolüütides, on elektrivoolul teine iseloom kui metallides. Teeme järgmise katse.
Paneme destilleeritud veega täidetud nõusse kaks puhast söevarrast (kaks elektroodi) ja ühendame need läbi lambi vooluallikaga (joon. 67, *a*). Lamp ei põle. Tähendab, vooluringis puudub vool. See on ka arusaadav, sest destilleeritud vesi ei sisalda elektrilaenguid kandvaid osakesi. Nüüd kallame vette veidi vaskvitrioli lahust. Näeme, et lambike süttib (joon. 67, *b*). Tähendab, lambi vooluringis on tekkinud vool. Kui vooluringis on tekkinud vool, siis järelikult peab vaskvitriol sisaldama laetud osakesi. Mida need osakesed endast kujutavad ja kuidas nad lahusesse said? Teaduslikud uuringud annavad vastuse ka sellele küsimusele.
Teoreetiliselt on kindlaks tehtud ja katseliselt tõestatud, et aine lahustumisel vees mõjutavad vee molekulid vastava aine molekule ja need lagunevad osakesteks. Seejuures jääb üks molekuli lagunemisel tekkinud osake laetuks positiivselt, saadakse positiivne ioon[1], teine aga negatiivselt, saadakse negatiivne ioon.
Nagu juba teame (§ 49), kujutavad positiivsed ioonid endast osakesi, mis on kaotanud ühe või mitu



Joon. 67.

[1] Ioon — kreekakeelsest sõnast *iōn* — minev.



Joon. 68.

elektroni; negatiivsed ioonid on aga sellised osakesed, millel on üks või mitu liigset elektroni.

Ioonid, nagu molekulidki, liiguvad lahuses korrapäratult. Kui aga tekitada lahuses elektriväli, lisandub ioonide kaootilisele liikumisele veel nende liikumine elektrivälja jõudude mõjumise suunas. Positiivsed ioonid hakkavad liikuma vooluallika negatiivse poolusega ühendatud elektroodi poole. Seda elektroodi nimetatakse katoodiks. Vooluallika positiivse poolusega ühendatud elektroodi — anoodi poole hakkavad liikuma negatiivsed ioonid. Nii tekib elektrolüüdis elektrivool, mis kujutab endast positiivsete ja negatiivsete ioonide suunatud liikumist. Joonisel 68 on näha ioonide liikumise skeem. Sellel joonisel on noolega *E* näidatud elektrivälja jõudude suund, *a* tähistab positiivseid ioone ja *k* — negatiivseid ioone.

Juhime tähelepanu asjaolule, et kirjeldatud katses annavad katoodini jõudnud positiivsed vase ioonid oma laengu sellele ära ja sadestuvad katoodile neutraalsete aatomitena.

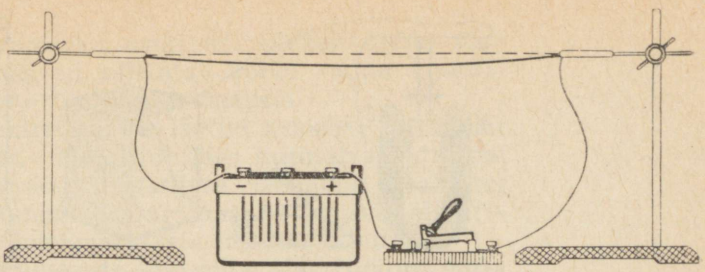
Kui elektrivool läbib teisi elektrolüüte, eralduvad elektroodidel samuti mingid ained.

Küsimused.

1. Kuidas näidata, et destilleeritud vesi ei ole elektrijuht? 2. Kuidas näidata, et vaskvitrioli lahus on elektrijuht? 3. Kuidas selgitatakse vaskvitrioli lahuse elektrijuhtivust? 4. Missugune on ioonide liikumine lahuses elektrivälja puudumisel? 6. Mida kujutab endast elektrivool elektrolüütides? 7. Mida võib panna tähele elektroodidel, kui elektrolüüte läbib vool?

58. Elektrivoolu toimed.

Meil pole võimalik näha juhtmeis liikuvaid elektrone. Elektrivoolu olemasolu üle võime otsustada vaid mitmesuguste nähtuste järgi, mida kutsub esile elektrivool. Selliseid nähtusi nimetatakse hari-



Joon. 69.

likult voolu toimeteks. Mõningaid voolu toimeid on kerge jälgida katse abil.

Voolu soojuslikku toimet saab jälgida, kui ühendada näiteks vooluallika poolused raud- või nikeliintraadiga (joon. 69). Traat soojeneb, mistõttu pikeneb ja vajub kergelt looka. Elektrivool võib soojendada traati isegi sedavõrd, et see hakkab punaselt hõõguma. Näiteks elektrilampides paneb vool heledalt hõõguma peenikese volframtraadi.

Analoogiliselt traatjuhtmega soojeneb voolu mõjul ka soola või happe vesilahus, s. o. voolu juhtiv vedelik — elektrolüüt.

Voolu *keemilist* toimet paneme tähele elektrolüütides. Seda nähtust vaatlesime juba paragrahvis 57. Nii põhineb alumiiniumi, vase, magneesiumi ja paljude teiste metallide tootmine voolu keemilisel toimel.

Samal nähtusel põhineb ka metallesemete nikeldamine ja kroomimine, mis kaitseb neid korrodeerumise eest.

Joonisel 70 on kujutatud katseseade voolu *magnetilise* toime jälgimiseks.

Selles katses on raudnaela ümber mähitud isoleeritud vaskjuhe. Kui vooluring on suletud, muutub nael magnetiks ja tõmbab külge kergeid raudesemeid: väikseid naelu, metallilaaste, viilmeid. Koos voolu kadumisega mähisest (vooluringi katkestamisel) nael demagneetub.

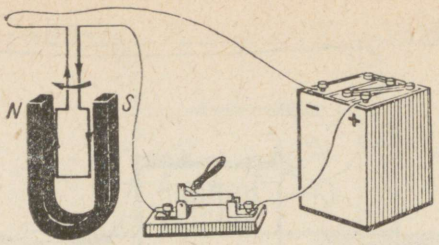
Vaatleme veel vooluga juhtme ja magneti vastastikust toimet. Joonisel 71 ripub niitide otsas raamike, millele on mähitud mõned keerud peenikest vaskjuhet. Mähise otsad on ühendatud vooluallika poolustega, järelikult läbib mähist elektrivool.

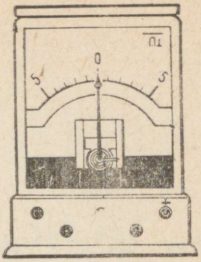
Kui nüüd raam paigutada magneti pooluste vahele, nii nagu näidatud joonisel 71, siis pöörab ta ennast pooluste vahele risti. Selles katses me näeme voolu *mehhaanilist* toimet.

Vooluga pooli ja magneti vastastikusel toimel põhineb galvanomeetrite ehitus.



Joon. 70.





Joon. 71. Joon. 72.

Galvanomeetriga võime otsustada mitte ainult voolu olemasolu, vaid (nagu hiljem näeme) ka selle tugevuse üle.
Joonisel 72 on näha kooligalvanomeetri välisvaade. Galvanomeetri osuti on ühendatud liikuva pooliga. Kui pooli läbib vool, kaldub osuti kõrvale.
Tuleb märkida, et voolu magnetiline toime kaasneb kõigi eespool vaadeldud nähtustega, vaatamata sellele, kas juhiks oli kõva, vedel või gaasiline keha.

Küsimused.

1. Millised nähtused kaasnevad vooluringi läbiva vooluga? 2. Millise katse abil võib demonstreerida voolu soojuslikku toimet? 3. Kuidas saab katse abil jälgida voolu keemilist toimet? 4. Kus kasutatakse voolu soojuslikku ja keemilist toimet? 5. Millise katsega saab näidata voolu magnetilist toimet? 6. Millisel voolu toimel põhineb galvanomeetri ehitus?

59. Elektrivoolu suund.

Vaadeldes elektrivoolu toimet vaskvitrioli lahuses, tegime kindlaks (§ 57), et vask sadestub vaid vooluallika negatiivse poolusega ühendatud elektroodil.
Kui selles katses vahetada vooluallika pooluseid elektroodidega ühendavate juhtmete otsad (joon. 67, *b*), hakkab vask eralduma teisel elektroodil, mis nüüd on ühendatud negatiivse poolusega. Juhtmete vahetamise momendil kaldub vooluringi ühendatud galvanomeetri osuti esialgsega võrreldes vastupidises suunas.
See katse näitab, et *elektrivoolul on juhtmetes kindel suund,* millest sõltuvad ka paljud voolu toimed.

Äsjane galvanomeetri osuti kõrvalekaldumine vastupidises suunas on seletatav voolu suuna muutumisega juhtmete ümberühendamisel.
Teame, et elektrivool on laetud osakeste suunatud liikumine juhis. Metalljuhtides kujutab elektrivool endast elektronide (negatiivse laenguga osakeste) suunatud liikumist. Elektrolüütides kutsub elektrivoolu esile mõlemamärgiliste ioonide liikumine.
Milliste laetud osakeste liikumine elektriväljas võtta aluseks voolu suuna määramisel?
Kuna enamikul juhtudel on tegemist vooluga mitmesugustes metallides, siis oleks õige lugeda voolu suunaks elektronide liikumise suund elektriväljas, s. t. vool kulgeks vooluallika negatiivselt pooluselt positiivsele.
Vajadus voolu suuna määramiseks tekkis teaduses juba siis, kui elektronidest ja ioonidest ei teatud veel midagi. Tol ajal oletati, et kõikides juhtides võivad liikuda nii positiivsed kui ka negatiivsed elektrilaengud. Seepärast *loetigi kokkuleppeliselt voolu suunaks suund, milles liiguvad (või liiguksid) juhis positiivsed laengud, s. o. vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele.* See kokkulepe on jäänud jõusse ka tänapäeval.

Küsimused.

1. Milliste katsete põhjal võib kinnitada, et vooluringi läbival voolul on kindel suund? 2. Milliste laetud osakeste liikumise suund on võetud voolu suunaks? 3. Milline on vooluringis liikuvate elektronide tegelik suund?

60. Elektrihulk ja voolutugevus.

Elektrivoolu toimed, millega me tutvusime paragrahvis 58, võivad ilmneda kas tugevamal või nõrgemal kujul. Millest see sõltub?
Vaatleme veel kord katset vaskvitrioli vesilahusega, mida läbib elektrivool (joon. 67, *b*).
Me juba teame, et vaskvitrioli vesilahus sisaldab nii positiivseid kui ka negatiivseid ioone, mis tekkisid vaskvitrioli ja vee molekulide vastastikusel toimel. Kui lahuses puudub elektriväli, liiguvad ioonid korrapäratult. Elektrivälja tekkimisega selles lahuses hakkavad aga ioonid lisaks korrapäratule liikumisele liikuma veel kindlas suunas. Näi-

teks liiguvad positiivsed vase ioonid katoodile. Jõudes katoodini, annavad vase ioonid oma laengu sellele elektroodile ning muutuvad neutraalseteks vase aatomiteks, mis sadestuvad katoodile.

Igal vase ioonil on oma laeng ja mass. Seepärast, mida rohkem vase ioone läheb katoodile, seda suurem elektrilaeng läbib vaskvitrioli lahust ja seda rohkem vaske sadestub katoodil. Seda järeldust kinnitab ka katse.

Laseme voolu läbi vaskvitrioli lahuse ja jälgime vase eraldumist katoodil. Aja jooksul süsielektroodile sadestuv vasekiht pidevalt pakseneb. Elektroodil eralduva aine (antud juhul vase) hulga võime kaalumise teel kergesti määrata ja selle järgi otsustada katse jooksul elektrolüüti läbinud elektrilaengu suuruse üle.

Elektrilaengu suurust nimetatakse teisiti veel e l e k t r i h u l g a k s.

Mida suurem elektrihulk läbib ühes sekundis juhi ristlõiget, seda tugevam on vooluringis vool.

Voolutugevust määratakse elektrihulgaga, mis läbib juhi ristlõiget ühes sekundis.

Et määrata voolutugevust vooluringis, tuleb vooluringi läbinud elektrihulk jagada selleks kulunud ajaga:

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{elektrihulk}}{\text{aeg}}.$$

Tähistades voolutugevuse tähega I, elektrihulga tähega q ja aja tähega t, saame voolutugevuse väljendada valemiga

$$I = \frac{q}{t}.$$

$I = \frac{q}{t}$

Kasutades väljendeid «voolutugevus», «tugev vool», «nõrk vool», peame mõistma, mida need väljendid tähendavad. Väljend «tugev vool» tähendab ainult seda, et vooluringi läbib ajaühikus suur elektrilaeng. Väljend «nõrk vool» tähendab aga seda, et vooluringi ajaühikus läbiv laeng on väike.

Lihtsas vooluringis, mis koosneb vooluallikast ja reast üksteise otsa ühendatud juhtmetest (vt. joon. 67, *b*), on voolutugevus kõikides osades ühesugune. See järeldub sellest, et mingi kindla voolu korral on juhtmete mistahes ristlõiget ajaühikus läbiva laengu suurus ühesugune, sest laengud kusagile ei kogune. Joonisel 67, *b* kujutatud juhtmete ühendust nimetatakse järjestikühenduseks.

Käsimused.

1. Kuidas saab näidata, et voolu toime sõltub vooluringi läbivast elektrihulgast? 2. Mida nimetatakse voolutugevuseks? 3. Kuidas mõista väljendeid «tugev vool», «nõrk vool»? 4. Kuidas selgitada asjaolu, et järjestikku ühendatud vooluringis on voolutugevus kõikjal ühesugune?

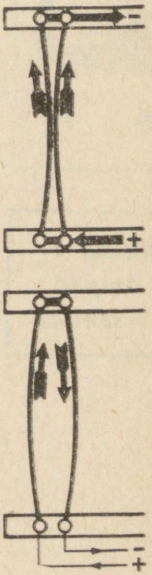
61. Voolutugevuse ja elektrihulga ühikud.

Voolutugevus on füüsikaline suurus. Et seda mõõta, tuleb kõigepealt kindlaks määrata mõõtühik — voolutugevuse ühik.

Voolutugevuse mõõtühiku defineerimisel võiks aluseks võtta voolu ükskõik millise toime.

IX mõõtude- ja kaaludealasel rahvusvahelisel konverentsil 1948. a. otsustati voolutugevuse ühiku defineerimisel võtta aluseks kahe vooluga juhtme vastastikune toime. Tutvume algul nähtuse endaga.

Joonisel 73 on kujutatud kaks sirget, teineteisega paralleelset painduvat juhet. Mõlemad need on ühendatud vooluallikaga. Vooluringi sulgemisel läbib neid vool, mille tagajärjel nad mõjutavad teineteist — *tõmbuvad või tõukuvad, olenevalt neid läbiva voolu suunast.*



Joon. 73.

Nende vastastikust mõju (tõmbumist või tõukumist) saab mõõta. Nagu näitavad arvutused ja katsed, sõltub selle jõu suurus juhtmete pikkusest, nendevahelisest kaugusest, keskkonnast, milles juhtmed asuvad, ja lõpuks kõige tähtsamast — voolutugevusest juhtmeis. Kui kõik tingimused peale voolutugevuse on ühesugused, siis on juhtmete vastastikune mõju seda suurem, mida tugevam on vool juhtmeis.

Kujutame ette, et lõpmata pikad ja väga peened, teineteisest 1 m kaugusel asetsevad paralleelsed juhtmed on paigutatud vaakuumi ning neid läbib võrdse tugevusega vool.

Voolutugevuse ühikuks on võetud selline vool, mille puhul teineteisest 1 m kaugusel vaakuumis asetsevad 1 m pikkused juhtmelõigud mõjuvad vastastikku jõuga $2 \cdot 10^{-7}$ N (0,0000002 N).

Seda voolutugevuse ühikut nimetatakse a m p r i k s prantsuse teadlase A m p è r e'i auks.



André Marie Ampère (1775—1836) — prantsuse füüsik ja matemaatik. Lõi teooria elektriliste ja magnetiliste nähtuste vastastikusest seosest. Ampère'ile kuulub hüpotees magnetismi olemusest. Tõi füüsikasse mõiste «elektrivool».

Praktikas kasutatakse nõrkade voolude mõõtmiseks sageli väiksemaid ühikuid, nagu 1mA (milliamper) = 0,001 A, 1μA (mikroamper) = 0,000001 A. Voolutugevuse ühiku (ampri) põhjal määratakse ka elektrilaengu ehk elektrihulga ühik. Valemist

$I = \frac{q}{t}$ järeldub, et $q = I \cdot t$.

Oletades, et $I = 1$A ja $t = 1$ s, saame:

1 elektrihulga ühik = 1A·1s.

1 *kulon* = =1 *amper* × × 1 *sekund*

Elektrihulga ühikuks võetakse selline laeng, mis läbib ühe sekundi jooksul vooluringi voolutugevusel 1A. Seda ühikut nimetatakse kuloniks (C) prantsuse füüsiku Coulomb'i auks.

1 kulon = 1 amper × 1 sekund.

Lühemalt võib selle kirjutada nii: 1C = 1A·s.
Elektroni laeng, millest oli juttu eespool, on väga väike ja võrdub $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$C.

Küsimused.

1. Milline nähtus on võetud aluseks voolutugevuse ühiku (ampri) määramisel? 2. Kuidas defineeritakse voolutugevuse ühikut (amper) ja elektrihulga ühikut (kulon)? 3. Kui suur on elektroni laeng?

Harjutus 16.

1. Voolutugevus elektrihõõglambis on 0,3 A. Mitu kulonit läheb läbi lambi spiraali 5 minuti jooksul?
2. Kui suur laeng läbib elektripliidi spiraali 1 minuti jooksul, kui voolutugevus vooluringis on 5 A?
3. Laetud akumulaator võib anda voolu tugevusega 2A 20 tunni jooksul. Kui suure elektrilaengu võib talletada selline akumulaator?
4. Mitu elektroni läbib juhtme ristlõiget ühes sekundis, kui voolutugevus on 1 A?

62. Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine.

Voolutugevust vooluringis mõõdetakse riistaga, mida nimetatakse ampermeetriks. Ampermeetri ehitus põhineb voolu mehhaanilisel toimel ja ta on seesama meile juba paragrahvist 58 tuttav galvanomeeter, mis on kohandatud voolutugevuse mõõtmiseks.

Koolis kasutatav ampermeeter on kujutatud joonisel 74, *a*, tehniline ampermeeter aga joonisel 74, *b*.

Ampermeetri skaalal on tavaliselt täht *A*. Skeemidel kujutatakse ampermeetrit ringikesega, mille keskel on täht *A*.

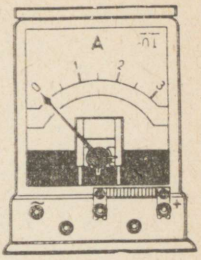
Ampermeetri skaala gradueeritakse amprites ja ampri osades väga täpsete lähteampermeetrite näitude järgi.

Voolutugevust näitab piki skaalat nullist ülespoole liikuv osuti.

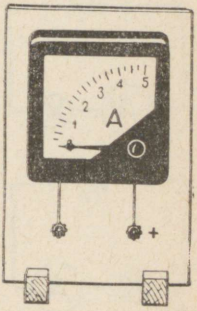
Iga ampermeeter on arvestatud mingile suurimale voolutugevusele, mida ei tohi ületada, sest vastasel korral võime rikkuda mõõteriista.

Voolutugevuse mõõtmiseks ühendatakse ampermeeter vooluringi järjestikku riistaga, millest läbiminevat voolu tahame mõõta.

Ampermeeter ühendatakse vooluringi kahe klemmi abil. Ühe klemmi juures on plussmärk, teise juures aga miinusmärk (mõnikord miinusmärk puudub). Plussklemm ühendatakse vooluallika positiivsest poolusest tuleva juhtmega.

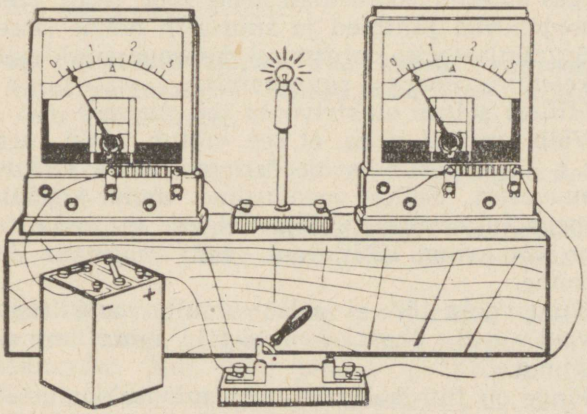


a



b

Joon. 74.

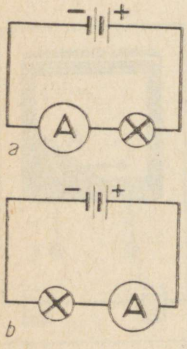


Joon. 75.

Voolutugevuse mõõtmisel võib ampermeetri ühendada järjestikusesse vooluringi mistahes kohas, sest sellises vooluringis on voolutugevus kõikides punktides ühesugune (§ 60).
Kui ühendada vooluringi üks ampermeeter lambi ees, teine lambi järel, näitavad mõlemad ühesugust voolutugevust (joon. 75).

Küsimused.

1. Kuidas nimetatakse mõõteriista, millega mõõdetakse voolutugevust? 2. Millistes ühikutes on gradueeritud ampermeetri skaala? 3. Kuidas ühendatakse ampermeeter vooluringi?



Joon. 76.

Harjutus 17.

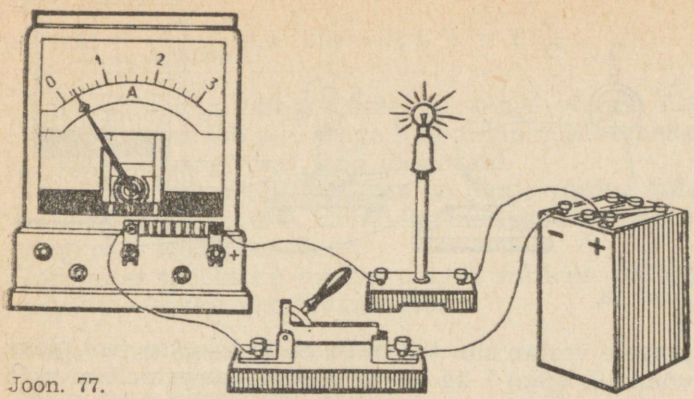
1. Ühendanud ampermeetri vooluringi selliselt, nagu näidatud joonisel 76, *a*, näitas see 0,5 A. Milline on näit, kui ampermeeter lülitatakse vooluringi nii, nagu näha joonisel 76, *b*?
2. Kuidas saab ampermeetri näitude õigsust kontrollida täpsema ampermeetriga?

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmisel teemal:
1. Elektrolüüs. Faraday seadus.
2. Elektrolüüsi kasutamine tehnikas: vase rafineerimine, alumiiniumi tootmine, galvanosteegia, galvanoplastika; Jakobi leiutis.

63. Pinge.

Igas suletud vooluringis teeb vool tööd. Seejuures soojenevad juhtmed ja suureneb nende siseenergia. Akumulaatorite laadimisel kaasneb peale selle veel keemilise energia suurenemine.
Millest sõltub elektrivoolu töö suurus?
Võib kindlalt väita, et see sõltub voolu tugevusest, s. t. ühes sekundis vooluringi läbiva elektrilaengu suurusest. Selles veendusime voolu keemilise toimega tutvumisel (§ 60). Selgus, et mida tugevam on vooluringi läbiv vool, seda tugevam on tema toime.
Kuid voolu töö ei sõltu ainult voolu tugevusest, vaid veel ühest suurusest, mida nimetatakse p i n g e k s.
Pinge on füüsikaline suurus, mis iseloomustab voolu põhjustavat elektrivälja. Et tutvuda selle väga tähtsa füüsikalise suurusega, vaatleme katset.

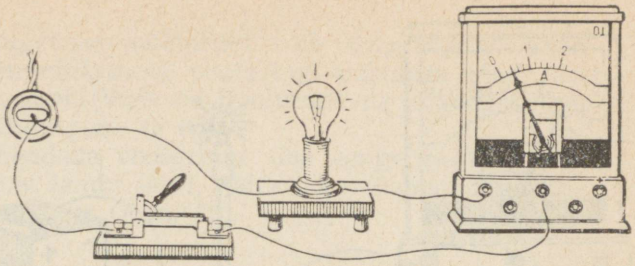


Joon. 77.

Joonisel 77 on kujutatud vooluring, milles vooluallikaks on akumulaator ja tarbijaks taskulambipirn. Teine vooluring on näha joonisel 78. Siin on vooluallikaks linna elektrivõrk, millesse on lülitatud tavaline ruumide valgustamiseks kasutatav hõõglamp. Ampermeetrite näitude järgi on vool mõlemas vooluringis peaaegu võrdne.
Ent linna valgustusvõrku lülitatud hõõglamp annab soojust ja valgust palju rohkem kui taskulambipirn. Selle põhjuseks on asjaolu, et *võrdse voolutugevuse juures on lampidele rakendatud erinevad pinged.* Taskulambipirni paneb patarei hõõguma madalal pingel. Iga kuloni korral, mis läbib selle lambi hõõgniiti, tehakse ära väike töö ja seepärast annabki taskulambipirn vähe soojust ja valgust. Teine hõõglamp põleb aga palju suuremal pingel. Seega tehakse selle hõõglambi vooluringis iga kuloni ümberpaigutamisel ära palju suurem töö.

Vooluringi mistahes lõigus ühe kuloni suuruse laengu ümberpaigutamisel tehtud tööd nimetatakse pingeks selle lõigu otstel.

Mida suurem on see töö, seda kõrgem on pinge vaadeldava lõigu otstel.
Avatud vooluringi korral erineb pinge vooluallika poolustel, kusjuures pinge tekitajaks on vooluallikas ise.
Kui vooluallikas on ühendatud vooluringi, tekib pinge ka vooluringi kõigis osades, mis põhjustabki voolu tekkimise. Kui pole pinget (s. t. puudub elektriväli), pole vooluringis ka voolu.
Vooluringi läbivat voolu võib võrrelda vee voolamisega kõrgemalt nivoolt madalamale. Elektrilisele



Joon. 78.

pingele vastab siin töö hulk, mida tehakse (või oleks võimalik teha) 1 kg vee liikumisel kõrgemalt nivoolt madalamale. Järves või tiigis, kus vee tase on kõikjal ühesugune, vesi ei voola ja tööd ei tehta.

Küsimused.

1. Millised energeetilised protsessid toimuvad suletud vooluringis? 2. Millise kahe suurusega määratakse elektrivoolu töö mingis vooluringi lõigus? 3. Kuidas näidata katseliselt, et voolu töö vooluringi mingis lõigus ei sõltu üksnes voolutugevusest, vaid ka pingest? 4. Mida mõistetakse vooluringi antud lõigu pinge all? 5. Millist mehhaanilist suurust võib võrrelda pingega?

64. Pingeühikud.

Pingeühikut nimetatakse voldiks (V) itaalia õpetlase Alessandro Volta auks, kes ehitas esimese galvaanielemendi.

1 volt on pinge, mille puhul vooluringi mingis lõigus tehakse tööd 1 džaul, kui seda lõiku läbib 1 kuloni suurune laeng.



Alessandro Volta (1745—1827) — itaalia füüsik, üks elektrivoolu õpetuse rajajaid. Volta leiutas galvaanielemendi, millega pani aluse elektrivoolu õpetusele.

1 volt = $\frac{1\ \text{džaul}}{1\ \text{kulon}}$ ehk lühemalt 1 V = 1 $\frac{\text{J}}{\text{C}}$.

1 *volt* = $= \frac{1\ \text{džaul}}{1\ \text{kulon}}$

Kui vooluringi mingis osas on pinge võrdne ühe voldiga, tähendab see, et iga kuloni läbimisel tehakse selles vooluringi osas tööd üks džaul.
Järelikult, kui vooluringi osas on pinge võrdne kahe voldiga, tehakse ühe kuloni läbimisel selles vooluringi osas tööd kaks džauli.
Järgmises tabelis on toodud pinged voltides, millega puutume kokku igapäevases elus.

Pinge Volta elemendi poolustel	1,1
Pinge kuivelemendi poolustel	1,5
Pinge leelisakumulaatori poolustel . . .	1,25
Pinge happeakumulaatori poolustel . . .	2
Pinge valgustusvõrgus	127 ja 220
Pinge ülekandeliinis, mis ühendab NLKP XXII kongressi nim. Volga Hüdroelektrijaama Moskvaga	500 000
Pinge äikesepilvede vahel	kuni 100 000 000

Praktikas kasutame veel voldist tuletatud pingeühikuid

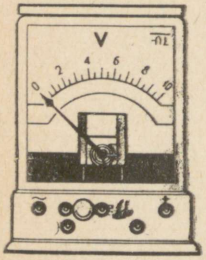
1 mV (millivolt) = 0,001 V;
1 kV (kilovolt) = 1000 V.

Erinevalt voolust ei nimetata pinget tugevaks või nõrgaks, vaid *kõrgeks* või *madalaks*. Kõrgepinge on eluohtlik.
Vaatleme näidet. Oletame, et pinge kõrgepingeliini juhtme ja maapinna vahel on 100 000 V.
Kui see juhe ühendada mingi teise juhtme abil maaga, tehakse iga kuloni korral, mis läbib seda juhet, tööd 100 000 J. Selline töö tehakse näiteks 1000 kg massiga koormuse langemisel 10 m kõrguselt. Niisugune koormus võib kukkumisel põhjustada suuri purustusi. Näitest selgub, miks on kõrgepingeline vool nii ohtlik.
Kuid ettevaatlik peab olema ka madalapingeliste voolude korral. Isegi pinge, mis on vaid mõni kümnendik volti, võib olla ohtlik.

Küsimused.

1. Mis on võetud pingeühikuks? Kuidas seda ühikut nimetatakse? **2.** Mida mõista selle all, kui öeldakse, et pinge vooluringi lõigus on 1, 2, 27 volti? **3.** Kui kõrget pinget kasutatakse valgustusvõrgus? **4.** Milline on pinge kuivelemendi ja happeakumulaatori poolustel? **5.** Missuguseid pingeühikuid kasutatakse veel peale voldi?

65. Voltmeeter. Pinge mõõtmine.



Joon. 79.

Pinge mõõtmiseks vooluallika poolustel või vooluringi mingis osas kasutatakse mõõteriistu, mida nimetatakse *voltmeetriteks*.

Koolis kasutatav voltmeeter on kujutatud joonisel 79. Selle skaala on gradueeritud voltides.

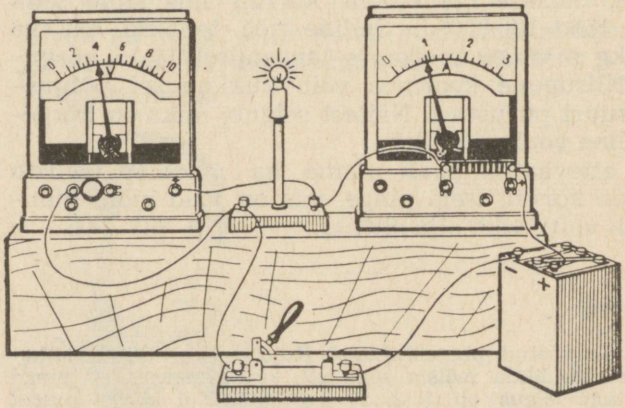
Paljud voltmeetrid on väliselt sarnased ampermeetriga. Voltmeetri eristamiseks teistest elektrimõõteriistadest on selle skaalale märgitud täht *V*. Skeemidel kujutatakse voltmeetrit ringikesena, mille sees on täht *V*.

Voltmeetri ehitus (analoogiliselt ampermeetri ehitusega) põhineb voolu *mehhaanilisel toimel*.

Nagu ampermeetrilgi, on ka voltmeetri ühe pooluse juures plussmärk. See klemm tuleb tingimata ühendada vooluallika positiivselt pooluselt lähtuva juhtmega, sest vastasel juhul kaldub mõõteriista osuti vastassuunas. Siit selgub veel kord, et voolul on kindel suund.

Tuletame meelde, et ampermeeter ühendatakse seadmega, mille voolu tahetakse mõõta, alati järjestikku.

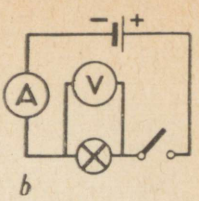
Voltmeeter ühendatakse aga vooluringi teisiti. Joonisel 80*a* on kujutatud vooluring, millesse on ühendatud elektrilamp, ampermeeter ja voltmeeter. Selle vooluringi skeem on kujutatud joonisel 80*b*. Ampermeetriga mõõdetakse lampi läbiva voolu tugevust ja ta on ühendatud lambiga järjestikku.



a

Joon. 80a.

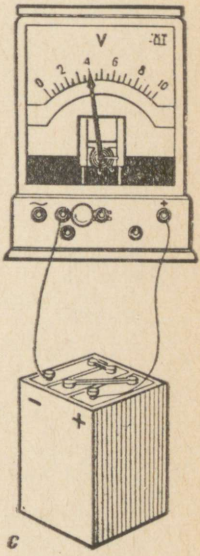
Voltmeeter peab aga näitama pinget lambi klemmidel. Seepärast ei ühendata teda vooluringi lambiga järjestikku, vaid nii, nagu näha joonisel 80*b*. *Voltmeetri klemmid ühendatakse vooluringi nende punktidega, mille vahelist pinget tahetakse mõõta.* Sellist mõõteriista ühendamise viisi nimetatakse paralleelühenduseks. Paralleelset ühendamist on üksikasjalikumalt käsitletud paragrahvis 76. Märgime ainult, et erinevalt ampermeetrist on voltmeeter ehitatud selliselt, et teda läbib vooluringiga võrreldes väga nõrk vool.



b

Joon. 80b.

Et mõõta pinget vooluallika poolustel, ühendatakse voltmeeter vahetult poolustega (joon. 80*c*).



c

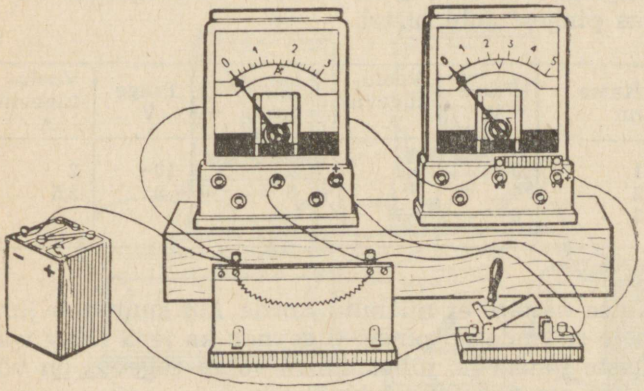
Joon. 80c.

Küsimused.

1. Kuidas nimetatakse mõõteriista, millega mõõdetakse pinget? 2. Kuidas tuleb ühendada voltmeeter, et mõõta pinget vooluringi mingis osas? 3. Kuidas mõõta voltmeetriga pinget kuivpatarei või akumulaatori klemmidel?

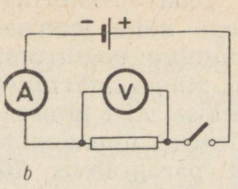
66. Voolutugevuse sõltuvus pingest.

Mitmesugused vooluga kaasnevad nähtused, nagu juhtme soojenemine ning voolu magnetiline ja keemiline toime, sõltuvad voolutugevusest. Muutes vooluringis voolutugevust, võime voolu toimeid reguleerida. Et vooluringi läbiv vool oleks kontrollitav, peame teadma, millest sõltub voolutugevus vooluringis.

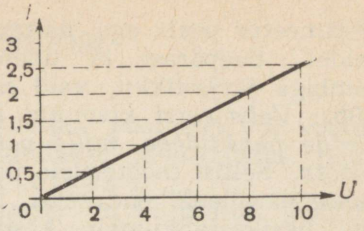


a

Joon. 81a.



Joon. 81b.



Joon. 82.

Teame, et vooluringi läbiv elektrivool on laetud osakeste suunatud liikumine elektriväljas. Mida tugevam on välja mõju nendele osakestele, seda tugevam on ka vool vooluringis.

Välja mõju aga iseloomustatakse füüsikalise suuruse — pingega. Seepärast võib oletada, et *voolutugevus ja pinge on omavahel seotud.* Seda seost saame kontrollida katseliselt.

Joonisel 81*a* on kujutatud akumulaatorist, ampermeetrist, nikeliinspiraalist ja lülitist koosnev vooluring. Selle vooluringi skeem on toodud joonisel 81*b*.

Vooluring suletakse ja märgitakse üles ampermeetri ja voltmeetri näidud. Seejärel ühendatakse esimese akumulaatoriga teine ja suletakse vooluring uuesti. Voltmeeter näitab sel juhul kaks korda suuremat pinget ja ampermeeter kaks korda tugevamat voolu. Kolme akumulaatori korral tõuseb pinge spiraali otstel kolmekordseks, niisama palju kordi kasvab ka voolutugevus.

Alljärgnevas tabelis on toodud voolutugevuse sõltuvus pingest juhi otstel.

Katse nr.	Pinge V	Voolutugevus A	Katse nr.	Pinge V	Voolutugevus A
1	2	0,5	4	10	2
2	4	1	5	8	2,5
3	6	1,5			

Katse näitab, et nii mitu korda kui suureneb juhtmele rakendatud pinge, tugevneb ka teda läbiv vool. Teiste sõnadega, juhet läbiva voolu tugevus on võrdeline pingega selle juhtme otstel.

Joonisel 82 on toodud graafik, mis näitab voolutugevuse sõltuvust pingest juhi otstel.

Küsimused.

1. Kuidas sõltub juhti läbiva voolu tugevus pingest juhi otstel? 2. Kuidas näidata katse abil voolutugevuse ja pinge vahelist sõltuvust?

Harjutus 18.

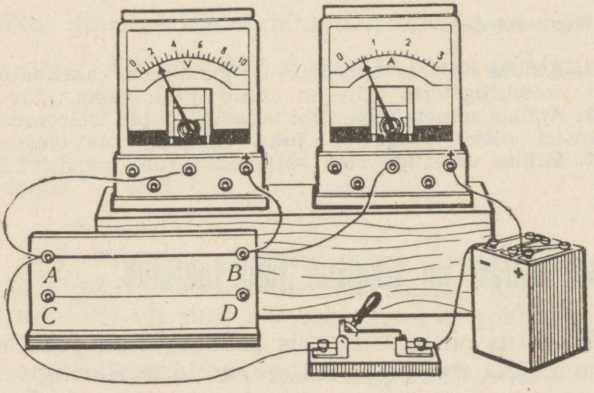
1. Vooluringi mingi lõigu otstel on pinge 2 V ja voolutugevus 0,4 A. Kui suur peab olema pinge, et voolutugevus juhis oleks 0,8 A?
2. Juhtme otstele rakendatud 2 V pinge korral läbib juhet 0,5 A vool. Kui tugevaks muutub vool juhtmes, kui pinget selle otstel tõsta 4 voldini?

67. Juhtide takistused.

Eelmises paragrahvis näidati, et voolutugevus sõltub pingest juhi otstel. Mida kõrgem on pinge juhi otstel, seda tugevam vool läbib juhti.

Kuid voolu tugevus juhis ei sõltu üksnes pingest, vaid ka juhi enda omadustest. Selles võib veenduda katse varal.

Ühe ja sama vooluallika vooluringi ühendatakse järjekorras erinevaid juhte ning mõõdetakse iga kord ampermeetriga voolu tugevus. Joonisel 83 on näha kaks erinevat juhti *AB* ja *CD*. Nende juhtide otstele ühendatud voltmeeter näitab aga üht ja sama pinget. Voolu tugevus juhtides aga pole võrdne: juhis *AB* on voolutugevus suurem kui juhis *CD*.



Joon. 83.

	Juhid					
	AB			*CD*		
Pinge juhi otstel (voltides)	2	4	6	2	4	6
Voolutugevus (amprites)	0,5	1	1,5	0,25	0,5	0,75
Pinge ja voolutugevuse suhe $\frac{V}{A}$	$\frac{2}{0,5}=4$	$\frac{4}{1}=4$	$\frac{6}{1,5}=4$	$\frac{2}{0,25}=8$	$\frac{4}{0,5}=8$	$\frac{6}{0,75}=8$

Tabelis on toodud katsete tulemused kahele juhile rakendatud erinevate pingete korral. Pinget juhtide otstel muudetakse vooluallikate lisamise teel.

Katsetulemused näitavad, et *pinge ja voolutugevuse suhe on iga juhi jaoks jääv suurus.* Vaadeldud katsetes oli see juhi *AB* korral 4 $\frac{V}{A}$ ja *CD* korral 8 $\frac{V}{A}$.

See suurus iseloomustab juhi omadust, mida nimetatakse takistuseks. Juhi takistus on füüsikaline suurus. Et leida juhi takistust, tuleb juhi otstele rakendatud pinge jagada voolutugevusega:

$$\text{takistus} = \frac{\text{pinge}}{\text{voolutugevus}}.$$

Kasutades tähelisi sümboleid, võime juhi takistuse kirjutada valemina

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

kus U on pinge, I — voolutugevus, R — takistus.

Küsimused.

1. Kuidas näidata katsega, et juhi otstele rakendatud pinge ja voolutugevuse suhe on antud juhi jaoks jääv suurus?
2. Kuidas nimetatakse juhi omadust, mida iseloomustab juhi otstel oleva pinge ja juhti läbiva voolutugevuse suhe?
3. Millise valemiga võib väljendada juhi takistust?

68. Millest on tingitud juhi takistus.

Takistus on suurus, mis iseloomustab juhi omadust avaldada mõju voolu tugevusele vooluringis. Kahest juhist on suurema takistusega see, mida võrdse pinge korral läbib nõrgem vool.

Sõna «takistus» saab mõistetavaks, kui meenutame, et metallides kujutab elektrivool endast vabade elektronide suunatud liikumist. Elektrivälja mõjul liikuvad elektronid põrkavad vastu metalli kristallide ioone. Elektronide ja kristallivõre ioonide vastastikune mõju toimib nagu hõõrdetakistus, mis pidurdab elektronide liikumist. Selle tulemusena väheneb kindlas suunas liikuvate elektronide kiirus, s. t. väheneb voolutugevus.

Elektrolüütide takistus seletub elektriväljas liikuvate ioonide ja lahuse molekulide või aatomite vastastikuse toimega.

Materjali enese mõju juhi elektrilisele takistusele on tingitud ainete sisemise struktuuri erinevustest. Lisandid harilikult rikuvad puhta metalli korrapärase struktuuri. Seepärast ongi sulamite elektritakistus suurem tema komponentmetallide takistustest.

Küsimused.

1. Mida mõeldakse juhi elektritakistuse all? 2. Mis põhjustab metallide ja elektrolüütide elektritakistuse?

69. Takistusühikud.

Takistusühikuks võetakse sellise juhi takistus, mille otstele rakendatud pinge 1 V korral läbib juhti vool tugevusega 1 A.

Seda ühikut nimetatakse oomiks (Ω). Võttes valemis $R = \frac{U}{I}$ $U = 1$ V ja $I = 1$ A, saame takistusühiku 1 Ω:

$$1\ \Omega = \frac{1\ \text{volt}}{1\ \text{amper}} = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}\ .$$

$$1\ oom = \frac{1\ volt}{1\ amper}$$

Et leida juhi takistust oomides, tuleb pinge tema otstel jagada juhti läbiva voolu tugevusega.

Katses (joon. 83) oli juhi *AB* takistus 4 Ω, juhi *CD* takistus 8 Ω.

Praktikas kasutatakse veel takistusühikuid, mis on oomi kordsed:

1 kΩ (kilo-oom) = 1000 Ω,

1 MΩ (megaoom) = 1 000 000 Ω.

Küsimused.

1. Mis on võetud juhi takistusühikuks? Kuidas seda ühikut nimetatakse? 2. Kuidas arvutada juhi takistust? Milliseid suurusi on selleks vaja teada? 3. Milliseid takistusühikuid peale oomi kasutatakse veel praktikas?

Harjutus 19.

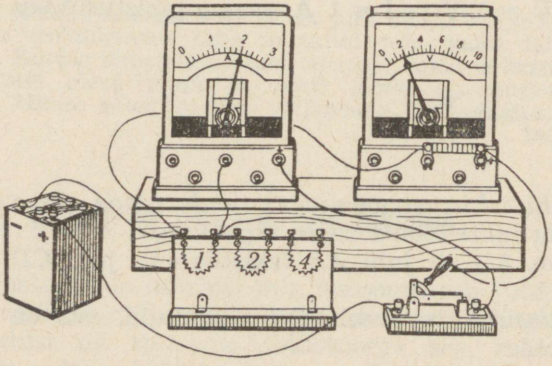
1. Pinge akumulaatori klemmidel on 2 V, voolutugevus vooluringis aga 0,4 A. Millega võrdub vooluringi takistus?
2. Voolutugevus elektrilambi spiraalis on 0,75 A. Leidke spiraali takistus, kui pinge selle otstel on 220 V.
3. Pinge pliidi klemmidel on 127 V, spiraali läbiva voolu tugevus 5 A. Leidke spiraali takistus.

70. Ohmi seadus vooluringi osa kohta.

Eelmistes paragrahvides tutvusime kolme suurusega, millega on tegemist igas vooluringis. Need suurused — *voolutugevus*, *pinge* ja *takistus* — on omavahel seotud. Voolutugevuse ja pinge vahelist seost vaatlesime juba § 66, kus katsetest selgus, et voolutugevus vooluringis on võrdeline pingega juhi otstel või, teisiti öeldes, vooluringi mingi lõigu otstel, sest juht ongi osa vooluringist.

Nimetatud katsetes juhi (vooluringi osa) takistus ei muutunud, muutus ainult pinge selle otstel. Seepärast võime öelda, *et vooluringis on voolutugevus võrdeline pingega juhi otstel, kui juhi takistus jääb muutumatuks.*

Teades juhi elektritakistuse põhjusi (§ 68), võime juba ette öelda, et voolutugevus peaks sõltuma ka juhi takistusest.



Joon. 84.

Et vastata küsimusele, kuidas voolutugevus sõltub takistusest, teeme järgmise katse.

Joonisel 84 on kujutatud vooluring, milles vooluallikaks on akumulaator. Sellesse vooluringi ühendatakse järjest erineva takistusega juhid. Juhtide otstega ühendatud voltmeeter näitab kõigil juhtudel ühte ja sama pinget. Voolutugevust mõõdetakse vooluringi ühendatud ampermeetriga.

Järgmises tabelis on toodud katse tulemused kolme erineva juhi korral:

Katse nr.	Pinge juhi otstel (V)	Juhi takistus (Ω)	Voolutugevus vooluringis (A)
1	2	1	2
2	2	2	1
3	2	4	0,5

Esimeses katses on juhi takistus 1 Ω ja voolutugevus vooluringis 2 A. Teise juhi takistus on 2 Ω, s. o. kaks korda suurem, voolutugevus on aga kaks korda väiksem. Kolmandal juhul, kui vooluringi takistus suurenes neli korda, vähenes voolutugevus täpselt sama arv korda. Näeme, et pinge juhi otstel on kõigil kolmel juhul üks ja seesama ning on 2 V.

Üldistades katse tulemusi kõigi juhtide kohta, tuleme järeldusele, et *jääva pinge korral juhi otstel on voolutugevus juhis pöördvõrdeline selle takistusega.*

Seose voolutugevuse, juhi otstele rakendatud pinge ja juhi takistuse vahel avastas saksa füüsik Ohm 1827. a. Ta sõnastas seaduse, mis nüüd kannab tema nime, järgmiselt: **voolutugevus juhis on võrdeline pingega juhi otstel ja pöördvõrdeline juhi takistusega.**

Seega,

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{pinge}}{\text{takistus}}.$$

Kasutades voolutugevuse, pinge ja takistuse kokkuleppelisi tähistusi, võime Ohmi seaduse kirjutada valemina:

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

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

Ohmi seadus on üks elektrivoolu põhiseadusi.

Näide 1.

Arvutage voolutugevus elektrilambis, kui pinge valgustusvõrgus on 220 V ja lambi hõõgniidi takistus 440 Ω.



Georg Simon Ohm (1787—1854) — saksa füüsik. Avastas elektrivoolu põhiseaduse, mis määrab seose voolutugevuse, juhi takistuse ja juhile rakendatud pinge vahel.

Antud:
$U = 220$ V
$R = 440\ \Omega$

Leida I

Ohmi seaduse põhjal $I = \frac{U}{R}$;

$I = \frac{220\text{ V}}{440\ \Omega} = 0{,}50$ A.

Kui nõutakse pinge leidmist vooluringi mingis osas voolutugevuse ja selle osa takistuse kaudu, antakse valemile teine kuju:

$U = IR$.

Näide 2.
Elektripliidi spiraali, mille takistus on 44 Ω, läbib vool tugevusega 5,0 A. Leidke spiraalile rakendatud pinge.

Antud:
$I = 5{,}0$ A
$R = 44\ \Omega$

Leida U

Ohmi seaduse järgi $U = IR$;
$U = 5{,}0\text{ A} \cdot 44\ \Omega = 220\text{ A} \cdot \Omega = 220$ V.

Vooluringi mingi osa takistuse leidmiseks tuleb kasutada meile juba tuttavat valemit

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

Vooluringi osale rakendatud pinge ja voolutugevuse suhe on võrdne selle osa takistusega.
Näide 3. Leidke vooluringi lõigu takistus, kui pinge selle lõigu otstel on 4,5 V ja voolutugevus vooluringis on 0,30 A.

Antud:

$U = 4{,}5$ V

$I = 0{,}30$ A

Leida R

Ohmi seaduse järgi $R = \frac{U}{I}$;

$R = \frac{4{,}5\ \text{V}}{0{,}30\ \text{A}} = 15\ \Omega$.

Küsimused.

1. Millised kolm elektrilist suurust on seotud Ohmi seadusega? 2. Kuidas on formuleeritud Ohmi seadus? 3. Kuidas väljendub Ohmi seadus matemaatiliselt? 4. Kuidas väljendada vooluringi mingi lõigu otstel valitsevat pinget voolutugevuse ja selle lõigu takistuse kaudu?

Harjutus 20.

1. Pinge vooluringi mingis osas on 220 V ja takistus 110 Ω. Leidke voolutugevus vooluringis.
2. Kui suurt pinget tuleks rakendada, et saada voolutugevuseks 0,3 A, kui juhi takistus on 420 Ω?
3. Missugune on 150 V mõõtepiirkonnaga voltmeetri takistus, kui voolutugevus temas ei tohi ületada 0,01 A?
4. Taskulambipirn põleb pingel 3,5 V, kusjuures voolutugevus on 0,28 A. Kui suur on lambi põlemisel spiraali takistus?
5. Voltmeetri takistus on 2000 Ω. Leidke voltmeetrit läbiva voolu tugevus, kui voltmeeter näitab pinget 20 V.
6. Kasutades järgmise tabeli andmeid, kujutage graafiliselt voolutugevuse sõltuvus takistusest jääval pingel 10 V. Horisontaalteljele kandke valitud mõõtkavas takistus, vertikaalteljele aga voolutugevus.

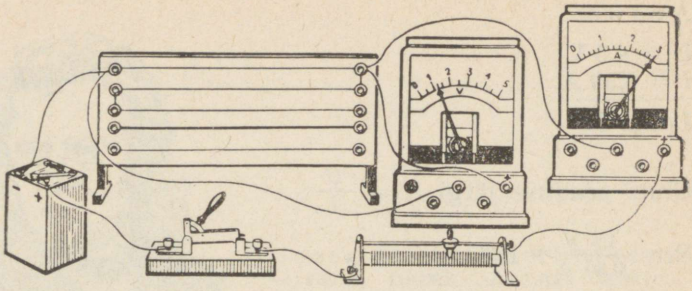
R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	10	5	3,3	2,5	2	1,7	1,4	1,2	1,1	1

71. Juhi takistuse arvutamine. Eritakistus.

Kujutlus elektritakistuse põhjustest võimaldab järeldada, et *takistuse suurus sõltub juhi mõõtmetest (pikkusest ja jämedusest) ning juhi materjalist.* Seda järeldust kinnitab ka katse.

Joonisel 85 on kujutatud seade vastava katse läbiviimiseks.

Vooluallika (akumulaatori) vooluringi ühendatakse järgemööda mitmesuguseid juhte, näiteks:



Joon. 85.

a) ühesuguse jämedusega, kuid erineva pikkusega nikeliintraadid;
b) ühesuguse pikkusega, kuid erineva jämedusega (erineva ristlõikega) nikeliintraadid;
c) ühesuguse pikkuse ja jämedusega nikeliin- ja nikroomtraat.

Voolutugevust vooluringis mõõdetakse ampermeetriga, pinget voltmeetriga.

Teades pinget juhi otstel ja voolutugevust juhis, määratakse Ohmi seaduse põhjal iga üksiku juhi takistus.

Järgnevalt on kolmes tabelis toodud katsetel saadud andmed.

Tabel 1

Erinevate pikkustega 1 mm² ristlõikega nikeliintraatide takistused.

Traadi pikkus (m)	1	2	3
Takistus (Ω)	0,4	0,8	1,2

Järeldus. *Mida pikem on juht, seda suurem on tema takistus.*

Tabel 2

Erinevate ristlõigetega 1 m pikkuste nikeliintraatide takistused.

Ristlõike pindala (mm²)	0,4	0,8	1,2
Takistus (Ω)	1	0,5	0,33

Järeldus. *Mida suurem on juhi ristlõike pindala, seda väiksem on tema takistus.*

Tabel 3

1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõikega nikeliin- ja nikroomtraadi takistus.

Traadi materjal	Nikeliin	Nikroom
Takistus (Ω)	0,4	1,1

Järeldus. *Juhi takistus sõltub materjalist.*
Mõõtmiste ja arvutuste teel saadud andmete põhjal võib teha juhi takistuse kohta järgmise kokkuvõtte:

takistus on võrdeline juhi pikkusega, pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga ning sõltub juhi materjalist.

1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pindalaga juhi takistust nimetatakse eritakistuseks.

Küsimused.

1. Kuidas sõltub juhi takistus tema pikkusest ja ristlõike pindalast? 2. Kuidas näidata katseliselt juhi takistuse sõltuvust juhi pikkusest, ristlõike pindalast ja materjalist? 3. Mida nimetatakse juhi eritakistuseks?

72. Valem juhi eritakistuse arvutamiseks.

Arvutame l meetri pikkuse ja S ruutmillimeetrise ristlõikega juhi takistuse. Selle juhi eritakistuse tähistame kreeka tähega ϱ (roo). Kuna 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõikega juhi takistus on arvuliselt võrdne vastava aine eritakistusega ϱ Ω, siis juhil pikkusega l m ja ristlõikega 1 mm² on l korda suurem takistus, s. o. ϱl Ω.
Juhil pikkusega l meetrit, kuid ristlõikega S mm² on aga S korda väiksem takistus, s. o. $\varrho \frac{l}{S}$ Ω.
Järelikult, juhi takistust võib arvutada valemi järgi:

$$R = \varrho \frac{l}{S}.$$

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

Selle valemi põhjal võib määrata ka eritakistuse mõõtühiku nimetuse (dimensiooni)

$$\varrho = \frac{R \cdot S}{l}, \text{ millest } \varrho \text{ (ühik)} = \frac{R(\text{ühik}) \cdot S(\text{ühik})}{l \text{ (ühik)}}.$$

Kuna R (ühik) = 1 Ω, S (ühik) = 1 mm² ja l (ühik) = = 1 m, siis eritakistuse ühikuks on 1 $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.

Alljärgnevas tabelis on toodud mõnede ainete eritakistused temperatuuril 20 °C. (Temperatuur on märgitud seepärast, et juhi takistus muutub koos temperatuuri muutumisega.)

Mõnede ainete eritakistused $\left(\frac{\Omega\ mm^2}{m}\right)$.

Hõbe 0,016	Raud 0,098	Konstantaan (sulam) 0,44—0,52
Vask 0,017	Elavhõbe 0,958	Nikroom (sulam) 1,00—1,10
Alumiinium 0,028	Nikeliin (sulam) 0,40—0,45	Fekral (sulam) 1,10—1,30
Volfram 0,055	Manganiin (sulam) 0,42—0,48	Kromeel 1,30—1,50 (sulam)

Kõigist metallidest on kõige väiksema eritakistusega hõbe ja vask. Järelikult on hõbe ja vask ka kõige paremad elektrijuhid.

Praktikas kasutatakse vooluallikates juhtidena peamiselt vaske, vahel alumiiniumi ning harva ka rauda.

Küsimused.

1. Millise valemi järgi võib arvutada juhi takistust? 2. Missugune on eritakistuse ühik? 3. Millistel tabelis toodud ainetel on väike eritakistus? 4. Mis ainest on valmistatud tavalised elektrijuhtmed?

73. Näiteid juhi takistuse, voolutugevuse ja pinge arvutamisest.

N ä i d e 1. Arvutada 100 m pikkuse ja 2,0 mm² ristlõikega vaskjuhtme takistus.

A n t u d:

$l = 100$ m

$S = 2{,}0$ mm²

Leida R

Takistus $R = \varrho \frac{l}{S}$; vase eritakistuse leiame tabelist:

$$\varrho = 0{,}017\ \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}};$$

$$R = \frac{0{,}017\ \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 100\ \text{m}}{2{,}0\ \text{mm}^2} = 0{,}85\ \Omega.$$

Näide 2. Määrata voolutugevus vooluringis, kui pinge 120 m pikkuse ja 0,50 mm² ristlõikega nikeliintraadi otstel on 127 V.

Antud:

$l = 120$ m
$S = 0{,}50$ mm²
$U = 127$ V

Leida I

Voolutugevuse võib määrata Ohmi seaduse põhjal:

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (1)$$

Takistuse saame leida valemist

$$R = \varrho\ \frac{l}{S}; \qquad (2)$$

nikeliintraadi eritakistuse leiame tabelist:

$$\varrho = 0{,}40\ \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Asetades valemitesse (2) ja (1) arvulised väärtused, saame:

$$R = \frac{0{,}40\ \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 120\ \text{m}}{0{,}50\ \text{mm}^2} = 96\ \Omega;$$

$$I = \frac{127\ \text{V}}{96\ \Omega} \approx 1{,}3\ \text{A}.$$

Näide 3. Akumulaatori vooluringi ühendatud manganiinjuhtme pikkus on 80 m ja ristlõike pindala 0,80 mm². Leidke pinge akumulaatori poolustel, kui vooluringi läbib vool tugevusega 0,30 A.

Antud:

$l = 8{,}0$ m
$S = 0{,}80$ mm²
$I = 0{,}30$ A

Leida U

Pinge akumulaatori poolustel (sama pinge on ka juhtme otstel) leiame Ohmi seaduse põhjal: $U = IR$. Takistuse leiame valemist $R = \varrho\frac{l}{S}$; tabelist leiame manganiini eritakistuse

$$\varrho = 0{,}42\,\frac{\Omega\,\text{mm}^2}{\text{m}}\,.$$

Paigutades nende suuruste arvulised väärtused valemitesse,saame:

$$R = \frac{0{,}42\,\frac{\Omega\,\text{mm}^2}{\text{m}}\cdot 8{,}0\,\text{m}}{0{,}80\ \text{mm}^2} = 4{,}2\,\Omega;$$

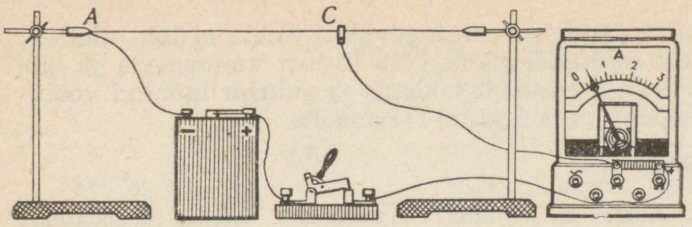
$$U = 0{,}30\,\text{A}\cdot 4{,}2\,\Omega \approx 1{,}3\,\text{V}.$$

Harjutus 21.

1. Ühe juhtme pikkus on 20 cm, teise pikkus 1,6 m. Juhtmete ristlõike pindala ja materjal on samad. Kumma juhtme takistus on suurem ja mitu korda?
2. On kaks ühesugusest materjalist juhet. Ühe pikkus on 5 m ja ristlõike pindala 0,15 cm^2, teise pikkus on 0,5 m ja ristlõike pindala 3 mm^2. Kumma traadi takistus on suurem ja mitu korda?
3. Leidke 1,0 mm^2 ristlõikega elavhõbedasamba pikkus, kui selle takistus on 1,0 Ω.
4. Mitu korda on alumiiniumtraadi takistus suurem samasuguse pikkuse ja ristlõikega vaskjuhtme takistusest?
5. Kui suur pinge tuleb rakendada 20 Ω takistusega vaskjuhtme otstele, et seda läbiks vool tugevusega 3,0 A? Leidke juhtme pikkus, kui juhtme ristlõige on 0,1 mm^2.
6. Määrake voolutugevus 200 m pikkuses alumiiniumjuhtmes, mille ristlõike pindala on 4,0 mm^2, kui pinge juhtme otstel on 5,6 V.

74. Reostaadid.

Praktikas on sageli tarvis reguleerida voolu tugevust vooluringis. Muutes raadiost või valjuhääldajast tuleva heli kas tugevamaks või nõrgemaks, muudame ühtlasi neis ka voolutugevust. Voolutugevuse muutmise teel võime reguleerida elektrimootorite pöörlemiskiirust. Teatris või kinos kustutatakse valgus enne etenduse algust sujuvalt. Selleks vähendatakse saali valgustusvõrgus aeglaselt voolu tugevust. Paljudel juhtudel kasutatakse voolutugevuse reguleerimiseks spetsiaalseid riistu, mida nimetatakse r e o s t a a t i d e k s.



Joon. 86.

Kõige lihtsamaks reostaadiks võiks näiteks olla suure eritakistusega nikeliin- või nikroomtraat. Sellise traadi võiks ühendada vooluallika vooluringi kontaktide *A* ja *C* kaudu järjestikku ampermeetriga (joon. 86). Nihutades liikuvat kontakti *C*, võib lõigu *AC* pikkust suurendada või vähendada. Seejuures muutub muidugi vooluringi takistus, järelikult ka voolutugevus.

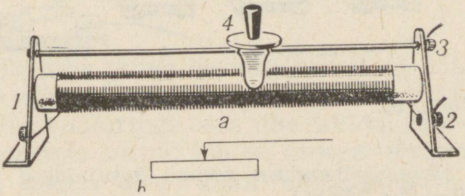
Praktikas kasutatavatele reostaatidele antakse kompaktsem ja käsitsemiseks mugavam kuju. Eelkõige on jällegi tarvis suure eritakistusega traati. Üks selline reostaat on kujutatud joonisel 87, *a*, joonisel 87, *b* aga selle tähis skeemidel. Selles reostaadis on nikeliintraat mähitud keraamilisele silindrile. Traadi otsad on ühendatud klemmidega *1* ja *2*. Reostaadi mähise traat on kaetud õhukese tagikihiga ning seetõttu on kõik traadikeerud üksteisest isoleeritud.

Mähise kohale on paigutatud metallvarras, millel võib liikuda liugur *4*. Liugur surub oma kontaktidega vastu mähise keerde. Hõõrdumise tõttu nühivad liuguri kontaktid mähiselt tagikihi maha ja elektrilaengud liiguvad traadikeerdudelt liugurile ning sealt edasi vardale, mille lõpus asub klemm *3*.

Reostaat ühendatakse vooluringi klemmi *1* või *2* ja vardal asuva klemmi *3* kaudu.

Nihutades liugurit piki varrast, võime suurendada või vähendada vooluringi ühendatud reostaadi takistust.

Iga reostaat on arvestatud teatud maksimaalsele

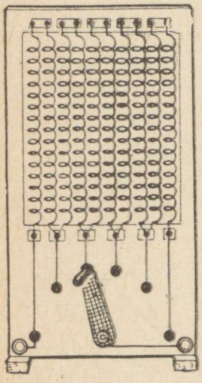


Joon. 87.

takistusele ja voolutugevusele, mida ei tohi ületada, sest reostaadi mähis võib liigselt kuumeneda ja läbi põleda. Reostaadi takistus ja suurim lubatud voolutugevus on märgitud reostaadile.

Küsimused.

1. Kuidas on ehitatud liugreostaat? Kuidas ühendatakse liugreostaat vooluringi? 2. Millised kaks suurust on märgitud reostaadile? 3. Kuidas kujutatakse reostaati elektrilistel skeemidel? 4. Miks kasutatakse reostaatides suure eritakistusega traati?



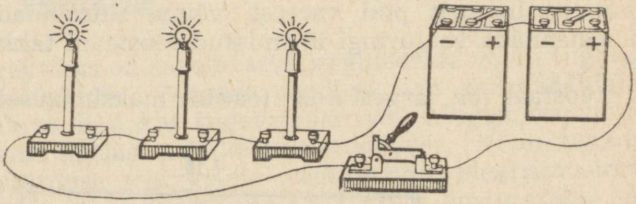
Joon. 88.

Harjutus 22.

1. Joonisel 88 on kujutatud reostaat, millega saab vooluringi takistust muuta hüppeliselt. Vaadelge joonist ja kirjeldage selle põhjal, kuidas see reostaat töötab.
2. Milline takistus on reostaadil joonisel 88 kujutatud asendis, kui reostaadi iga spiraali takistus on 3 Ω? Millisele kontaktile tuleks käepide lükata, et vooluringi lülitatud takistus oleks 18 Ω?
3. Vooluringi on ühendatud hõõglamp ja liugreostaat. Joonistage vihikusse selle vooluringi skeem. Kuhu poole on tarvis nihutada reostaadi liugurit, et lamp põleks heledamalt?
4. 3,0 mm² ristlõikega nikeliintraadist tuleb valmistada reostaat takistusega 20 Ω. Kui pikk traat tuleb selleks võtta?
5. 440 Ω takistusega reostaat ühendati võrku pingega 220 V. Leidke reostaati läbiva voolu tugevus.

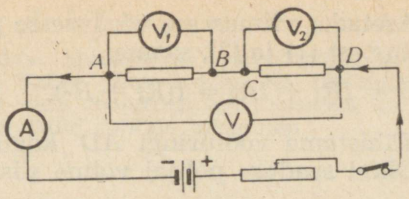
75. Juhtide järjestikühendus[1].

Praktikas esinevad vooluringid ei koosne harilikult mitte ühest juhist (või voolutarbijast), vaid mitmest erinevast juhist, mis võivad olla ühendatud mitmeti. Teades iga juhi takistust ja nende ühendamise viisi, võib arvutada vooluringi üldise takistuse.



Joon. 89.

[1] Järjestikühenduse asemel kasutatakse ka terminit *jadaühendus*. (Tõlk.)



Joon. 90.

Joonisel 89 on kujutatud kolme elektrilambi järjestikune ühendus. Järjestikühendusega tutvusime juba eelmistes paragrahvides. Sellist ühendusviisi võite näha joonisel 75, kus järjestikku on ühendatud akumulaator, lamp, kaks ampermeetrit ja lüliti. Samuti teame, et järjestikku ühendatud vooluringis on voolutugevus kõikjal ühesugune (§ 60).

Selgitame, kuidas jaotub pinge vooluringi üksikute osade vahel. Kasutame selleks Ohmi seadust. Vaatleme vooluringi, mis koosneb vooluallikast (akumulaatorist või patareist), kahest järjestikku ühendatud juhist *AB* ja *CD*, reostaadist ja ampermeetrist (joon. 90).

Tähistagu I voolutugevust vooluringis, R_1 ja R_2 vastavalt juhtide *AB* ja *CD* takistusi; U_1 ja U_2 pingeid juhtide *AB* ja *CD* otstel; U kogupinget, s. o. pinget punktide *A* ja *D* vahel.

Ohmi seadus vooluringi osa kohta võimaldab meil kirjutada:

$$U_1 = IR_1; \quad (1)$$

$$U_2 = IR_2. \quad (2)$$

Jagades võrduse (1) võrdusega (2), saame:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Sellest võrdusest võib teha järelduse: *järjestikühenduse korral on pinged juhtide otstel võrdelised juhtide takistustega.*

Pinge punktide *A* ja *D* vahel, s. t. vooluringi kogupinge, võrdub üksikutele takistustele rakendatud pingete summaga:

$$U = U_1 + U_2.$$

See võrdus ilmneb juba pinge definitsioonist (§ 63). Tõepoolest, pinge mingis vooluringi osas näitab tööd, mida tehakse selles vooluringi osas ühe kuloni läbimisel. Kogu vooluringis tehtud töö on ilmselt võrdne kõigis vooluringi osades ühe kuloni ümberpaigutamisel tehtavate tööde summaga.

Asetades viimasesse võrdusesse pinge väärtused võrdustest (1) ja (2), saame:

$$U = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2). \quad (3)$$

Tähistame vooluringi AD kogutakistuse tähega R. Ohmi seaduse põhjal võime siis kirjutada:

$$U = IR. \quad (4)$$

Võrrutades võrduste (3) ja (4) paremad pooled, saame:

$$IR = I(R_1 + R_2).$$

Jagades võrduse mõlemad pooled voolutugevusega I, saame:

$$R = R_1 + R_2.$$

$R = R_1 + R_2$

Juhtide järjestikusel ühendamisel on vooluringi kogutakistus võrdne kõikide vooluringi ühendatud takistuste summaga.

N ä i d e. Leidke vooluringi kogutakistus, samuti ka pinge vooluringis ja igal üksikul takistusel, kui vooluring koosneb kolmest järjestikku ühendatud juhist takistustega $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 3\ \Omega$ ja $R_3 = 4\ \Omega$ ning voolutugevus vooluringis on $1\ A$.

A n t u d:

$R_1 = 2\ \Omega$
$R_2 = 3\ \Omega$
$R_3 = 4\ \Omega$
$I = 1\ A$

Leida R; U_1; U_2; U_3; U

Vooluahela kogutakistus

$$R = R_1 + R_2 + R_3;$$
$$R = 2\ \Omega + 3\ \Omega + 4\ \Omega = 9\ \Omega.$$

Pinge igal üksikul juhil:

$$U_1 = IR_1;\ U_2 = IR_2;\ U_3 = IR_3;$$
$$U_1 = 1\ A \cdot 2\ \Omega = 2\ V;$$
$$U_2 = 1\ A \cdot 3\ \Omega = 3\ V;$$
$$U_3 = 1\ A \cdot 4\ \Omega = 4\ V.$$

Pinge kogu vooluringis:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \text{ või } U = 1\ A \cdot 9\ \Omega = 9\ V.$$

Küsimused.

1. Millist juhtide ühendust nimetatakse järjestikühenduseks? 2. Kuidas jaguneb üldine pinge vooluringi üksikute lõikude vahel? 3. Kuidas leida vooluringi kogutakistust, kui on teada järjestikku ühendatud juhtide takistused?

Harjutus 23.

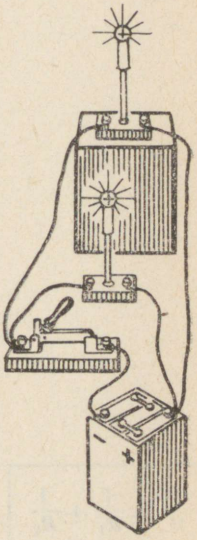
1. Vooluring koosneb kahest järjestikku ühendatud juhist takistustega vastavalt 4 Ω ja 6 Ω. Voolutugevus vooluringis on 0,2 A. Leidke pinge kummalgi takistusel ja üldine pinge.
2. Vooluringi teatud lõik koosneb kolmest järjestikku ühendatud juhist takistustega vastavalt 2 Ω, 4 Ω ja 6 Ω. Leidke vool nendes juhtides, kui pinge selle lõigu otstel on 6 V. Kui suur on pinge igal üksikul juhil? Joonistage juhtide ühendusskeem.
3. Elektrirongid tarvitavad pinget 1200 V. Kuidas saaks vagunite valgustamisel kasutada 220 V arvestatud hõõglampe? Joonistage lampide ühendusskeem.
4. Kaks 127 V pingele arvestatud ühesugust lampi on ühendatud järjestikku vooluvõrku, mille pinge on 127 V. Millise pinge all on kumbki lamp?

76. Juhtide paralleelühendus[1].

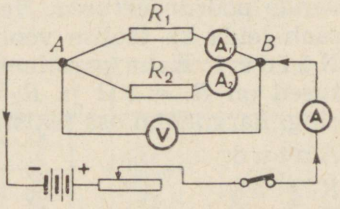
Kui üksikud elektrijuhid on ühendatud vooluringiks järjestikku, siis ühe väljalülitamisel katkeb vooluring ning vool kaob ka kõigis ülejäänud juhtides. Seda võib tähele panna näärikuuse valgustusahela katkemisel, kus kõik pirnid on ühendatud järjestikku. Kui selles ahelas põleb läbi üks pirn, siis kustuvad kohe ka kõik teised.

Praktikas kasutatakse teist juhtide ühendusviisi, mida nimetatakse paralleelühenduseks. Sellest oli juba juttu paragrahvis 65. Joonisel 91*a* on ühendatud paralleelselt kaks lampi, joonisel 91*b* on toodud kahe juhi paralleelühenduse skeem.

Punktis *B* hargneb elektrivool kahe juhi vahel analoogiliselt joonisel 92 kujutatud vee jagunemisega kahe jõeharu vahel, mis hiljem uuesti ühinevad.

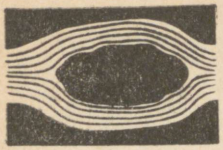


Joon. 91a.



Joon. 91b.

[1] Paralleelühenduse asemel kasutatakse ka terminit *rööpühendus*. (Tõlk.)



Joon. 92.

Teatud kindla veehulga voolamisel on igas sekundis hargnemata jõesängi läbinud veehulk võrdne üksikuid harukanaleid läbinud veehulkade summaga. Samasuguse nähtusega on tegemist ka elektrilaengute liikumisel paralleelsetes juhtides. Meie kinnitust võime kontrollida katseliselt. Selleks on tarvis mõõta voolutugevus enne hargmikku ja igas harus eraldi. Katse näitab, et tõepoolest *voolutugevus I hargnemata osas on võrdne harude voolutugevuste* ($I_1 + I_2$) *summaga:*

$I = I_1 + I_2$

$$I = I_1 + I_2. \tag{1}$$

Tähistame üksikute juhtide takistused tähtedega R_1 ja R_2, vooluringi selle osa kogutakistuse aga tähega R.

Pinge hargmiku punktide A ja B vahel tähistame tähega U. Sama pinge U on rakendatud ka igale hargmiku juhtmele.

Ohmi seaduse põhjal võib üksikute juhtide kohta kirjutada, et

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \tag{2}$$

ja

$$I_2 = \frac{U}{R_2} \tag{3}$$

ning vooluringi vastava osa kohta

$$I = \frac{U}{R}. \tag{4}$$

Kuid nagu teame, on voolutugevus hargnemata osas võrdne üksikute harude voolutugevuste summaga (võrdus 1). Asetades võrdusesse (1) voolutugevuse väärtused võrdustest (2), (3) ja (4), saame:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Jagades võrduse mõlemad pooled U-ga, saame:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Sellest valemist on näha, et *juhtide paralleelühenduse korral ei liitu mitte juhtide takistused, vaid nende pöördväärtused.* Nende pöördväärtuste põhjal saab leida ka taolise vooluringi kogutakistuse.

N ä i d e 1. Kahe paralleelselt ühendatud juhi takistused on $R_1 = 3\,\Omega$ ja $R_2 = 6\,\Omega$. Leida selle vooluringi hargnenud osa takistus.

A n t u d:

$R_1 = 3\,\Omega$

$R_2 = 6\,\Omega$

Leida R

Paigutades arvulised väärtused valemisse

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

saame

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}, \text{ millest}$$

$$R = \frac{6}{3} = 2\Omega.$$

Näide 2. Valgustusvõrku on ühendatud paralleelselt neli lampi, kusjuures iga lambi takistus on 120 Ω. Leida vooluringi osa kogutakistus.

Antud:

$R_1 = 120\ \Omega$
$n = 4$

Leida R

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} = \frac{n}{R_1}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{4}{120}, \text{ millest } R = \frac{120\ \Omega}{4} = 30\Omega.$$

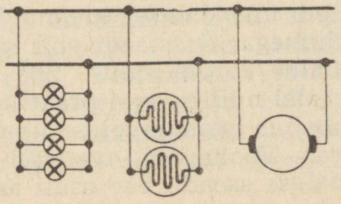
Vaadeldud näiteist selgub, et *paralleelselt ühendatud juhtide kogutakistus on väiksem iga üksiku juhi takistusest.*

Paralleelühendust kasutatakse põhiliselt mitmesuguste tarbijate vooluvõrku ühendamisel.

Ühte ja samasse elektrivõrku võib paralleelselt ühendada palju erinevaid tarbijaid. Joonisel 93 on näidatud elektrilampide, küttespiraalide ja elektrimootori ühendamine vooluvõrku.

Vooluvõrku paralleelselt ühendatud tarbijad peavad olema arvestatud ühele ja samale pingele, mis peab võrduma võrgupingega.

Meil valgustuseks ja majapidamises kasutatavais elektrivõrkudes on pinge kas 127 V või 220 V. Seepärast valmistataksegi elektrilambid ja mitmesugused elektririistad nendele pingetele.



Joon. 93.

Küsimused.

1. Millist juhtide ühendust nimetatakse paralleelühenduseks? 2. Milline elektriline suurus on kõikide paralleelselt ühendatud juhtide jaoks sama? 3. Kuidas väljendub voolutugevus hargnemata osas üksikute haruvoolude kaudu? 4. Kuidas arvutada mitmest paralleelselt ühendatud juhist koosneva vooluringi osa takistust? 5. Milliseid pingeid kasutatakse valgustuse ja majapidamisriistade juures? 6. Kuidas ühendatakse elektrivõrku valgustuslambid? igapäevased elektririistad?

Harjutus 24.

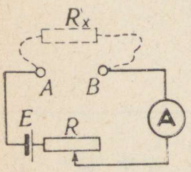
1. Kolm juhti, mille takistused on 10 oomi, 15 oomi ja 30 oomi, on ühendatud paralleelselt. Leida selle hargmiku takistus.
2. Kaks juhti, mille takistused on vastavalt 4 Ω ja 8 Ω, on ühendatud paralleelselt. Pinge juhtide otstel on 4 V. Leida voolutugevus vooluringi hargnemata osas ja igas üksikus juhis.
3. Toas põlevad kaks lampi, mille takistus on 440 Ω. Kui suur on voolutugevus valgustusvõrgus lampide põlemisel? Valgustusvõrgu pinge on 220 V.

Täiendavaks lugemiseks

77. Takistuse mõõtmine oommeetriga.

Nagu teame, võib juhi takistuse määrata Ohmi seaduse põhjal: $R = \frac{U}{I}$. Selleks tuleb mõõta voltmeetriga pinge juhi otstel ja ampermeetriga voolutugevus vooluringis.

Mõõteriista, mille abil saame juhi takistuse vahetult lugeda mõõteriista skaalalt, nimetatakse *oommeetriks*. Tema ehitus põhineb Ohmi seadusel.



Joon. 94.

Oommeetri skeem on kujutatud joonisel 94. Sellel skeemil tähistab A tundlikku ampermeetrit, E patareid ja R muudetava takistusega reostaati. Klemmidega A ja B ühendatakse tundmatu takistus R_x. Ampermeetri skaala on gradueeritud takistusühikutes — oomides. Joonisel 95 on näha oommeetri väliskuju.

Vaatleme, kuidas gradueeritakse sellise mõõteriista skaala oomides.

Algul ühendatakse klemmid A ja B lühikese jämeda juhtmega. Reostaadi abil saavutatakse osuti maksimaalne kõrvalekalle. See osuti asend märgitakse skaalal nulliga, sest praktiliselt on klemmide A ja B vaheline takistus sellise ühenduse korral võrdne nulliga. Vooluringi avamisel võtab mõõteriista osuti esialgse asendi. See osuti asend vastab väga suurele

takistusele, mis märgitakse skaalale lõpmatuse märgiga ∞.
Seejärel ühendatakse klemmidega A ja B järjekorras mitmesuguseid tuntud takistusega juhte. Iga kord märgitakse osuti asend skaalal ja kirjutatakse skaalale takistuse vastav väärtus. Sel viisil graduee-ritaksegi mõõteriista skaala oomides.
Et mõõta oommeetriga mingi tundmatu juhi takistust R_x, tuleb see ühendada klemmidega A ja B. Mõõteriista osuti peatub siis numbril, mis näitab juhi takistust oomides.


Joon. 95.

Peab märkima, et enne iga mõõtmist tuleb mõõteriista osuti reostaadi abil seada skaala nulljaotusele. Seda tuleb tingimata teha, sest aja jooksul patarei tühjeneb. Seda liiki mõõteriistadel aga peab pinge klemmidel olema muutumatu. Vastasel juhul tuleks mõõteriist iga kord uuesti gradueerida. Tõepoolest, Ohmi seaduse järgi

$$I = \frac{U}{R_{mr} + R_x},$$

millest on näha, et piisava pinge U korral sõltub voolutugevus ahelas ainult suurusest R_x, kuna R_m (mõõteriista takistus) on konstantne.
Mõõteriistaga fikseeritava voolutugevuse sõltuvus mõõdetava takistuse R_x suurusest võimaldabki gradueerida mõõteriista skaala mitte voolutugevuse, vaid takistuse ühikuis — oomides.
On olemas veel teisi, palju keerukama süsteemiga oommeetreid, kuid kõigi nende ehitus põhineb Ohmi seadusel.

ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS.

78. Elektrivoolu töö.

Teame, et igas suletud vooluringis toimub energia kahekordne muundumine.
Vooluallikas muutub mingi energialiik elektrienergiaks. Galvaanielemendis muutub näiteks elektrienergiaks keemiline energia. Vooluallika elektrienergia arvel tehakse aga vooluringis tööd. Näiteks tehakse elektrimootoritega mehhaanilist tööd. Elektrisoojendusriistades läheb elektrivoolu töö siseenergia suurendamiseks.

Kõigil juhtudel, kui toimub energia muundumine ühest liigist teise, tehakse tööd. Nagu teame, mõõdetakse energia muundumist ühest liigist teise tööga (Füüsika VII kl., § 108).

Vooluringis on elektrienergia teisteks energialiikideks muundumise mõõduks elektrivoolu töö.

Kuidas arvutada elektrivoolu tööd? Teame, et pinge vooluringi mingi lõigu otstel on võrdne tööga, mis tehakse selles lõigus 1 kuloni läbimisel. Kui seda lõiku läbib mitme kuloni suurune laeng, on ka seejuures tehtud töö vastavalt nii mitu korda suurem. Seega, et *leida elektrivoolu tööd mingis vooluringi lõigus, tuleb pinge selle lõigu otstel korrutada lõiku läbinud elektrihulgaga:*

töö = pinge × elektrihulk.

Selle võib valemina kirjutada järgmiselt:

$A = Uq$,

kus A on töö, U — pinge, q — elektrihulk.

Vooluringi mingit lõiku läbinud elektrihulga võib määrata, mõõtes voolutugevuse ja vastava aja:

$q = It$.

Kasutades seda seost, saame elektrivoolu töö jaoks valemi, mida on mugav kasutada arvutustes:

$A = UIt$.

$A = UIt$

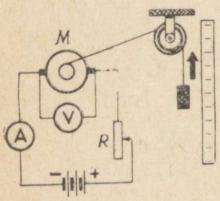
Elektrivoolu töö vooluringi lõigus on võrdne sellele lõigule rakendatud töö tegemiseks kulunud pinge, voolutugevuse ja aja korrutisega.

Tööd mõõdetakse džaulides, pinget voltides, voolutugevust amprites ja aega sekundites. Seepärast võime kirjutada:

1 džaul = 1 volt × 1 amper × 1 sekund, lühemalt 1 J = 1 V · 1 A · 1 s.

1 *džaul* = = 1 *volt* × × 1 *amper* × × 1 *sekund*

Joonisel 96 on kujutatud katse skeem, mis näitab, kuidas mõõta elektrivoolu tööd. Selles katses tõstetakse elektrimootoriga mingit koormust. Vooluringi on elektrimootoriga järjestikku ühendatud reostaat R. Ampermeetriga A mõõdetakse voolutugevust vooluringis ja voltmeetriga V pinget elektrimootori klemmidel. Aega mõõdetakse stopperi või kellaga. Teades koormuse kaalu P ja kõrgust, kuhu koormus teatud aja vältel tõstetakse, võime arvutada elektrimootori poolt tehtud töö:



Joon. 96.

$A = Ph$.

Katse kinnitab, et töö suurus on võrdeline pinge, voolutugevuse ja ajaga.

N ä i d e. Kui suure töö teeb elektrimootor ühe tunni jooksul, kui voolutugevus vooluringis on 5 A ja pinge mootori klemmidel 220 V? Mootori kasutegur on 80%.

A n t u d:

$t = 1$ tund $= 3600$ s
$I = 5$ A
$U = 220$ V
$\eta = 80\%$

Leida A_1

Voolu poolt tehtud kogutöö $A = UIt$;

$A = 220\ \text{V} \cdot 5\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 3\,960\,000\ \text{VAs} =$
$= 4\,000\,000$ J.

Mootori töö A_1, mis võrdub voolu kasuliku tööga, moodustab voolu kogutööst 80%.

$$A_1 = \frac{4\,000\,000 \cdot 80}{100}\ \text{J} = 3\,200\,000\ \text{J} \approx 3 \cdot 10^6\ \text{J}.$$

Küsimused.

1. Millised energia muutused toimuvad suletud vooluringis? 2. Kuidas sõltub elektrivoolu töö mingis vooluringi lõigus pingest ja seda lõiku läbinud elektrihulgast? 3. Kuidas avaldub voolu töö pinge, voolutugevuse ja aja kaudu? 4. Kuidas saab avaldada tööühiku 1J teiste ühikute kaudu? 5. Milliste mõõteriistadega saab mõõta voolu tööd?

Harjutus 25.

1. Kui suure töö teeb elektrivool elektrimootoris 30 minutiga, kui voolutugevus ahelas on 0,50 A ja pinge mootori klemmidel 12 V?
2. Arvutage elektrivoolu töö taskulambipirnis 5 minuti jooksul, kui pinge lambi klemmidel on 3,5 V ja lampi läbiva voolu tugevus 0,25 A.
3. Vaskvitrioli lahust läbis 1000 C elektrit. Pinge elektroodidel on 6 V. Kui suur on seejuures voolu töö?

79. Elektrivoolu võimsus.

Tuletame valemi elektrivoolu võimsuse arvutamiseks. Meenutame, et võimsus võrdub ühes sekundis tehtud tööga.

Et leida võimsust, tuleb töö hulk jagada ajaga: $P = \frac{A}{t}$, kus tähega P on märgitud võimsus.

Elektrivoolu töö väljendub pinge, voolutugevuse ja aja korrutisena: $A = UIt$.
Jagades selle valemi mõlemad pooled ajaga t, saame valemi elektrivoolu võimsuse arvutamiseks:

$P = UI$

$P = \frac{UIt}{t}$ ehk $P = UI$.

Voolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega.

Võimsuse ühikuks on võetud 1 vatt, mis võrdub ühe džauli tööga ühes sekundis (Füüsika VII kl., § 97):

$1\ \mathrm{W} = 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$.

1 *vatt* = 1 *volt* × 1 *amper*

Voolu võimsuse valemist järgneb, et

1 vatt = 1 volt × 1 amper ehk $1\ \mathrm{W} \approx 1\ \mathrm{V} \cdot \mathrm{A}$.

Praktikas kasutatakse võimsusühikutena veel vati kordseid:

1 hW (hektovatt) = 100 W
1 kW (kilovatt) = 1000 W
1 MW (megavatt) = 1 000 000 W

N ä i d e. Leidke elektrimootori võimsus, kui mootor töötab pingel 220 V ja voolutugevusel 10 A.

$U = 220\ \mathrm{V}$
$I = 10\ \mathrm{A}$
Leida P

$P = UI$;
$P = 220\ \mathrm{V} \cdot 10\ \mathrm{A} = 2200\ \mathrm{W} = 2{,}2\ \mathrm{kW}$.

Alljärgnevalt on toodud mõned vooluallikate ja voolu tarbijate võimsused kilovattides:

Taskulambipirn	0,001
Valgustusvõrgu lambid	0,015—0,2
Elektritriikraud	0,3
Elektripliit	0,6
Lambid Kremli tähtedes	5
Treipingi mootor	0,5—15
Elektriveduri mootor	4000
Bratski HEJ generaator	250 000
Turbogeneraator	50 000—1 000 000

Elektrivoolu võimsust saab mõõta voltmeetri ja ampermeetriga. Joonisel 80*a* on näidatud voltmeetri ja ampermeetri ühendamise skeem lampi läbiva voolu võimsuse mõõtmiseks. Et arvutada otsitav võimsus, korrutatakse mõõteriistadelt loetud pinge ja voolutugevuse väärtused.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse võimsuseks? 2. Kuidas arvutada võimsust? 3. Kuidas avaldub elektrivoolu võimsus pinge ja voolutugevuse kaudu? 4. Mis on võetud võimsusühikuks? 5. Kuidas väljendub võimsusühik pinge ja voolutugevuse ühikute kaudu? 6. Missuguseid pingeühikuid kasutatakse praktikas?

Harjutus 26.

1. Vooluringi on ühendatud hõõglamp, mida läbib vool 0,60 A. Leidke voolu võimsus lambis, kui vooluringi pinge on 127 V.
2. Elektripliit on arvestatud pingele 220 V ja voolutugevusele 3,0 A. Määrake voolu võimsus pliidis.
3. Pinge elektrimootori klemmidel on 12 V, voolutugevus vooluringis aga 10 A. Leidke mootori võimsus.

80. Elektrivoolu töö avaldamine võimsuse kaudu.

Voolutarbijate — lampide, elektripliitide, mootorite passides on tavaliselt märgitud voolu võimsus neis. Võimsuse järgi võib määrata voolu töö mingis ajavahemikus. Selleks kasutame valemit $P = \frac{A}{t}$, millest

$A = Pt$.

Avaldades võimsuse vattides ja aja sekundites, saame töö džaulides:

$1\,W = 1\,\frac{J}{s}$, millest $1\,J = 1\,W \cdot s$.

Praktikas väljendatakse voolu tööd sageli mitte džaulides, vaid teistes ühikutes:

1 hWh (hektovatt-tund) = 100 W·1h = 360 000 J;
1 kWh (kilovatt-tund) = 1000 W·1h = 3 600 000 J.

Teades, millisele võimsusele lamp on arvestatud ja kui kaua ta põleb, võime arvutada voolu töö.
Näiteks, olgu meil 100 W võimsusele arvestatud hõõglamp. Lamp põleb iga päev 6 tundi. Leida voolu töö ühe kuu jooksul (30 päeva).
Kasutame valemit $A = Pt$:

$A = 100\,W \cdot 180\,h = 180\,000\,Wh = 180\,kWh$.

Küsimused.

1. Missugune suurus on tavaliselt antud voolutarbijate passis? 2. Kuidas avaldada voolu tööd võimsuse ja aja kaudu? 3. Milliseid džaulist tuletatud tööühikuid kasutatakse praktikas?

81. Elektrivoolu töö ja võimsuse arvutamise näited.

1. Vooluringi on ühendatud elektripliit, mille spiraali takistus on 24 Ω. Leida voolu võimsus, kui vooluringi pinge on 120 V.

Antud:

$U = 120$ V
$R = 24\ \Omega$

Leida P

Võimsuse arvutame valemi põhjal

$$P = UI. \qquad (1)$$

Selles valemis on vaja teada voolutugevust, mille saame leida Ohmi seadusest

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (2)$$

Paneme valemeisse (2) ja (1) suuruste arvulised väärtused:

$$I = \frac{120}{24} = 5\ \text{A};\quad P = 120\ \text{V} \cdot 5\ \text{A} = 600\ \text{W}.$$

2. Millega võrdub trammi 40 kW elektrimootori takistus, kui mootori töötamisel on pinge mootori klemmidel 500 V?

Antud:

$P = 40\ \text{kW} = 40\,000\ \text{W}$
$U = 500\ \text{V}$

Leida R

Takistuse võib leida Ohmi seaduse põhjal:

$$R = \frac{U}{I}, \qquad (1)$$

kuid enne tuleb leida voolutugevus. Voolutugevuse saame võimsuse valemist $P = UI$, millest

$$I = \frac{P}{U}. \qquad (2)$$

Asetades valemisse (2) ja (1) füüsikaliste suuruste arvulised väärtused, saame:

$$I = \frac{40\,000\ \text{W}}{500\ \text{V}} = 80\ \text{A};\quad R = \frac{500\ \text{V}}{80\ \text{A}} \approx 6{,}3\ \Omega.$$

3. Triikrauda kasutatakse 7 tundi pingel 220 V, kusjuures voolutugevus on 3 A. Arvutage voolu töö maksumus, kui 1 kWh maksab 4 kopikat.

Antud:
$U = 220$ V
$I = 3$ A
$t = 7$ h

Leida voolu töö maksumus k

Voolu töö $A = UIt$;

$A = 220\ \text{V} \cdot 3\ \text{A} \cdot 7\ \text{h} = 4620\ \text{Wh} \approx 4{,}6\ \text{kWh}$;

$k = 4{,}6\ \text{kWh} \cdot 4\ \frac{\text{kop}}{\text{kWh}} \approx 18\ \text{kop}.$

Harjutus 27.

1. Leidke voolutugevus 60-vatises lambis, kui võrgu pinge on 127 V; 220 V.
2. Kuidas muutub voolu võimsus elektripliidis, kui selle spiraali lühendada?
3. Elektrimootor töötab pingel 220 V ja voolutugevuse juures 40 A. Mootori kasulik võimsus on 6,5 kW. Kui suur on mootori kasutegur?
4. Lambid 40 W ja 60 W on arvestatud pingele 220 V. Kumma lambi hõõgniidil on väiksem takistus?

82. Juhtide soojenemine elektrivoolust.

Kõigile on hästi teada, et elektrijuhti läbiv vool soojendab seda. See nähtus seletub molekulide korrapäratu liikumise intensiivistumisega voolu toimel, mis tähendab ühtlasi juhi siseenergia suurenemist. Juhi siseenergia suureneb sellepärast, et elektrivälja mõjul liikuvad vabad elektronid (metallis) ja ioonid (elektrolüüdis) põrkavad selle aine molekulide või aatomite vastu ja annavad neile osa oma energiast. Katsed näitavad, et liikumatutes metalljuhtmetes kulub voolu töö tervenisti juhi soojendamiseks, s. t. tema siseenergia suurendamiseks. Keha siseenergia muutumise mõõduks ongi eralduv soojushulk.

Voolu töö arvutatakse valemi $A = UIt$ järgi. Nagu teame, võrdub voolu töö metalljuhis juhist eralduva soojushulgaga.

Tähistame soojushulga tähega Q. Vastavalt öeldule $Q = A$ ehk $Q = UIt$. Selle valemi põhjal leitud soojushulka mõõdetakse samuti nagu töödki džaulides.

$$Q = UIt$$

Kasutades Ohmi seadust, võime avaldada vooluringi mingis lõigus eralduva soojushulga voolutugevuse, selle lõigu takistuse ja aja kaudu. Selleks asendame valemis $Q = UIt$ pinge U voolutugevuse I ja takistuse R korrutisega: $U = IR$.

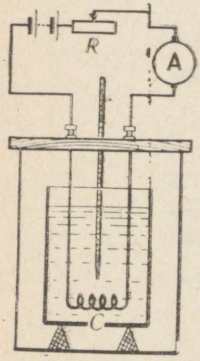
Saame: $Q = IRIt = I^2Rt$.

$$Q = I^2Rt$$



Emil Hristianovitš Lenz (1804—1865) — vene füüsik, üks elektrotehnika rajajaid. Tema nimega on seotud seadus, mis määrab induktsioonivoolu suuna, samuti kuulub talle voolu soojuslikku toimet määrava seaduse avastamine.

Juhist elektrivoolu toimel eralduv soojushulk on võrdeline voolutugevuse ruuduga, juhi takistusega ja ajaga.



Joon. 97.

Sellisele järeldusele tulid katsete varal teineteisest sõltumatult inglise teadlane Joule ja vene teadlane Lenz.

Valemit $Q = I^2Rt$ võib kontrollida katse varal, kasutades taolist seadist, nagu näha joonisel 97. Lastes voolu läbi spiraali C, kuumutatakse kalorimeetrisse kallatud vedelikku (petrooleum, piiritus, vesi). Soojushulk, mille vedelik juurde saab, arvutatakse lihtsamal juhul valemi $Q = cmt$ järgi, kus m on vedeliku mass, c — vedeliku erisoojus, t — temperatuur, mille võrra vedelik soojenes. Vedelikule antud soojushulk arvutatakse valemi $Q = I^2Rt$ järgi. Valemis esinevad suurused määratakse nii: voolutugevus mõõdetakse ampermeetriga, aeg stopperi või kellaga, spiraali takistus peab aga olema teada (katseks võetakse tuntud takistusega spiraal). Katse näitab, et nii ühel kui teisel viisil leitud soojushulgad on võrdsed.

Küsimused.

1. Kuidas selgitada juhtme soojenemist voolu mõjul? 2. Millised energeetilised protsessid toimuvad juhi soojendamisel vooluga? 3. Millise valemi järgi saab leida vooluga juhis eralduvat soojushulka? 4. Kuidas saab Ohmi seaduse kaasabil väljendada vooluga juhis eralduvat soojushulka voolutugevuse, juhi takistuse ja aja kaudu?

Harjutus 28.

1. Kui palju soojust eraldab 20-oomine traatspiraal voolutugevusel 5 amprit 30 minuti jooksul?

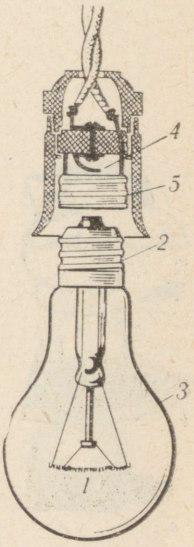
2. Miks juhtide ühendamisel kokkukeeratud juhtmeotsad veel üle joodetakse? Põhjendage vastust.
3. Kui elektrivõrku lülitatud keedupulk veest välja võtta, põleb see kiiresti läbi. Miks?
4. Vooluallikaga on ühendatud järjestikku võrdse pikkuse ja ühesuguse ristlõikega vask-, teras- ja nikkeltraat. Milline neist soojeneb kõige rohkem? Põhjendage vastust ja võimaluse korral kontrollige seda klassis katseliselt.
5. Vooluallika vooluringi on ühendatud paralleelselt võrdse pikkuse ja ristlõikega raudjuhe ja vaskjuhe. Kumb neist soojeneb rohkem? Põhjendage vastust ja võimaluse korral kontrollige seda klassis katseliselt.
6. Elektripliit on arvestatud voolule võimsusega 300 W. Kui palju eraldab pliit soojust ühes tunnis?

83. Hõõglamp.

Tänapäeva hõõglambi põhiliseks osaks on peenike volframspiraal. See paigutatakse klaaskolbi, millest seejärel õhk välja pumbatakse. Volframi sulamistemperatuur on 3300 °C. Kuumutamisel üle 3000 °C hakkab volframspiraal aurustuma. Ta muutub peenemaks ja põleb võrdlemisi ruttu läbi. Et vältida volframi kiiret aurustumist, täidetakse tänapäeva lambid keemiliselt inertse gaasi — lämmastikuga, mõnikord ka krüptooni või argooniga. Gaasi molekulid takistavad volframi molekulide väljumist spiraalist, s. t. hoiavad ära hõõgniidi kiire purunemise.

Joonisel 98 on kujutatud gaastäitega hõõglamp. Spiraali *1* otsad on ühendatud kahe klaasümbrises asuva tugitraadiga, mis on joodetud lambi sokli *2* külge. Üks traat on joodetud sokli keerme, teine keermest isoleeritud sokli põhja külge.

Elektrivõrku ühendamiseks keeratakse lamp lambipessa. Pesa sisemuses asub vedrukontakt *4*, mis puudutab lambi sokli põhja, ja metallkeermestus, mis hoiab lampi pesas.



Joon. 98.

Pesa vedrukontakti ja vintkeerme küljes asuvad klemmid, mille külge ühendatakse võrgu juhtmed.

Tööstuses valmistatakse hõõglampe pingetele 220 ja 127 V (valgustusvõrgu tarbeks), 50 V (raudteevagunite valgustamiseks), 12 ja 6 V (autodele) ning 3,5 ja 2,5 V (taskulampidele).

Korterites kasutatakse tavaliselt paljusid lampe, mis kõik ühendatakse elektrivõrku paralleelselt.

Elektrihõõglampe hakkasid valgustuseks kasutama esimestena vene insener A. N. Lodõgin ja ameerika leidur T. Edison.

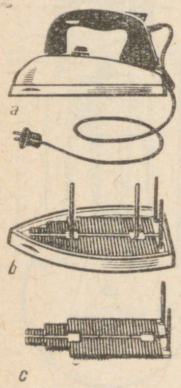
Küsimused.

1. Kuidas on ehitatud tänapäeva hõõglamp? 2. Millisest metallist valmistatakse hõõglampide spiraalid? 3. Miks täidetakse tänapäeva hõõglambid inertse gaasiga (lämmastiku, argooni või krüptooniga)? 4. Kuidas on ehitatud lambipesa, mille abil hõõglamp võrku ühendatakse? 5. Missugustele pingetele on arvestatud meie tööstuses toodetavad hõõglambid? 6. Kuidas ühendatakse lambid valgustusvõrku? 7. Nimetage leidurid, kes esimesena kasutasid valgustamiseks elektrihõõglampe.

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmisel teemal:
1. A. N. Lodõgini elu ja tegevus.
2. T. Edison. Elektrihõõglambi ja lambipesa leiutamine.
3. P. N. Jablotškov. Vene valgus.
4. Metallide keevitamine N. N. Benardose meetodil.
5. Metallide keevitamine N. G. Slavjanovi meetodil.

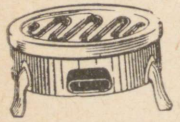
84. Elektrisoojendusriistad.



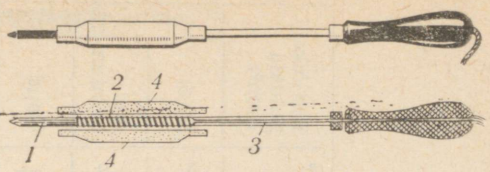
Joon. 99.

Voolu soojuslikku toimet kasutatakse mitmesugustes elektrisoojendusriistades ja -seadmetes. Koduses majapidamises kasutatakse elektripliite, triikraudu, teekanne, keedupulki. Tööstuses kasutatakse voolu soojuslikku toimet spetsiaalsete terasesortide ja paljude teiste metallide sulatamisel, samuti elektrikeevitusel. Põllumajanduses köetakse elektrivooluga kasvuhooneid, söödaauruteid, inkubaatoreid, kuivatatakse vilja ja valmistatakse silo.

Iga elektrisoojendusriista põhielemendiks on *kütteelement*. Kütteelement kujutab endast suure takistusega juhti, mis kannatab kuumutamist kõrge temperatuurini (1000—1200 °C). Kõige sagedamini kasutatakse selleks nikli, raua, kroomi ja mangaani sulamit, mis on tuntud nikroomi nime all. Nikroomi eritakistus $\varrho = 1{,}1 \frac{\Omega\ mm^2}{m}$, mis ületab vase eritakistuse ligi 70 korda. Nikroomi suure eritakistuse tõttu sobib ta hästi väikeste mõõtmetega kütteelementide valmistamiseks.


Joon. 100.

Kütteelemendis on juht mähitud traadi või lindina kuumakindlast materjalist plaadile. Selleks kasutatakse harilikult vilgukivist või keraamilisest materjalist plaati. Elektritriikraua kütteelement on kujutatud joonisel 99. Selles elemendis kuumutab vool nikroomlinti, millest kuumeneb ka triikraua alusplaat.



Joon. 101. Elektrijootekolb: *1* — vaskvarras; *2* — vilgukivikihile mähitud nikroomtraat; *3* — toru, milles asuvad ühendusjuhtmed; *4* — metallist kaitsekest.

Elektripliidis on kütteelemendiks nikroomtraadist spiraal, mis on paigutatud keraamilise plaadi uuretesse (joon. 100).
Elektrijootekolvi ehitus on näha jooniselt 101.

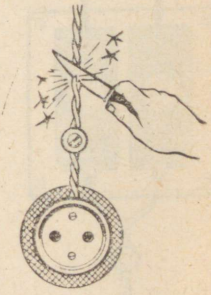
Küsimused.

1. Tooge näiteid voolu soojusliku toime kasutamisest. 2. Mis on elektrisoojendusriistas kütteelemendiks? 3. Milliste omadustega peab olema materjal, millest valmistatakse kütteelemendi spiraale või linte? 4. Missugustel teile tuntud materjalidel on kõik kütteelemendile vajalikud omadused?

Ülesanne.

Koostage ettekanne ühel järgmisel teemal:
1. Voolu soojusliku toime kasutamine kasvuhoonetes.
2. Inkubaatorite elektriküttеseadis. Automaatne püsiva temperatuuri säilitamine.
3. Elektrienergia kasutamine terase ja alumiiniumi sulatamisel.

85. Lühis. Kaitsmed.

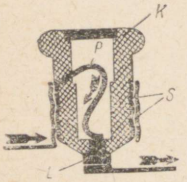




Joon. 102.

Elektrivooluringid on alati arvestatud teatud kindlale maksimaalsele voolutugevusele. Kui voolutugevus kasvab lubatust suuremaks, võivad juhtmed kuumeneda ja nende isolatsioonikiht isegi süttida.
Leheküljel 132 olevas tabelis on toodud lubatud voolutugevused isolatsiooniga kaetud juhtmeis.
Voolutugevuse järsu suurenemise põhjuseks võib olla kas võimsate voolutarbijate üheaegne võrku lülitamine või siis lühiühendus ehk nn. *lühis*. Lühiseks nimetatakse vooluringi mingi lõigu otste ühendamist juhiga, mille takistus, võrreldes selle lõigu enda takistusega, on väga väike. Lühis võib kergesti tekkida voolu all olevate seadmete remontimisel. Seadmete remontimiseks tuleb need a l a t i vooluringist välja lülitada (joon. 102).

Ristlõike pindala (mm^2)	Voolutugevus (A)			Ristlõike pindala (mm^2)	Voolutugevus (A)		
	Vask	Alu-miinium	Raud		Vask	Alu-miinium	Raud
1	6	8	—	6	25	20	10
1,5	10	9	—	10	31	25	15
2,5	15	10	6	16	43	35	25
4	20	15	8	25	75	60	—

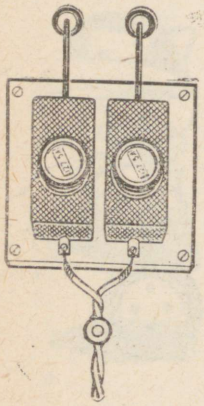


Joon. 103.

Kuna vooluringi takistus on lühise korral tühiselt väike, tekib vooluringis väga tugev vool.

Et vältida juhtmete ülekoormusest tingitud tuleohtu, ühendatakse vooluringi *kaitsmed*. Kaitsmete ülesandeks on katkestada vooluring kohe, kui voolutugevus osutub lubatud normist suuremaks. Vaatleme korteri elektriseadmeis kasutatavate kaitsmete ehitust.

Kõigi kaitsmete peamiseks osaks on pliitraat *P* (joon. 103), mis asub portselanist korgis *K*. Pliitraat ühendab korgi keermestatud osa *S* keskmise kontaktiga *L*. Kork keeratakse portselankarbis asuvasse pessa. Nii kujutab kaitsmete pliitraat endast üht osa vooluringist. Pliitraat valitakse sellise jämedusega, et ta kannatab teatud kindla tugevusega voolu, näiteks 5 A, 10 A jne. Kui voolutugevus ületab selle lubatava väärtuse, siis pliitraat sulab ja vooluring katkeb.

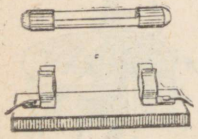


Joon. 104.

Kergesti sulava juhtmega kaitsmeid nimetatakse *sulavkaitsmeteks*.

Kaitsmed paigutatakse spetsiaalsele kilbile, mis seatakse korteris üles juhtmete sisenemiskoha lähedale. Igasse juhtmesse ühendatakse järjestikku eraldi kaitse (joon. 104).

Joonisel 105 on näha raadiovastuvõtjais kasutatav sulavkaitse. See kujutab endast metallotsikutega klaastoru, milles piki telge asub peenike traat. Selline kaitse asetatakse vastavasse hoidjasse.



Joon. 105.

Küsimused.

1. Mis võib juhtuda juhtmega, kui teda läbiva voolu tugevus ületab lubatud normi? 2. Mis võib põhjustada voolutugevuse järsu suurenemise vooluvõrgus? 3. Milles seisneb lühiühendus? 4. Millega seletada voolutugevuse järsku suurenemist lühise korral? 5. Mis eesmärgil lülitatakse vooluvõrku kaitsmed? 6. Kuidas on ehitatud meil kõige levinumad sulavkaitsmed?

ELEKTROMAGNETILISED NÄHTUSED.

86. Magnetväli.

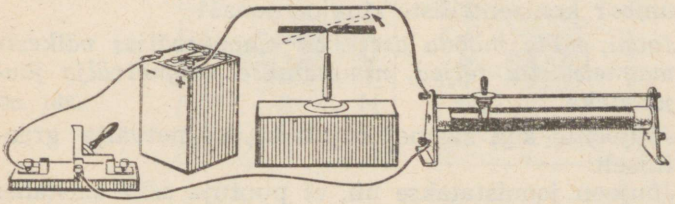
Elektriseeritud kehade vastastikuse mõju uurimisel tehti kindlaks, et elektrilaengut ümbritseb ruumis elektriväli. Elektrivälja mõjul toimub laetud osakeste liikumine (see ongi elektrivool): metallides liiguvad elektronid, vedelikes ioonid (§ 56, 57).

§ 58 kirjeldasime mitmesuguseid elektrivooluga kaasnevaid nähtusi vooluringis: soojuslikke, keemilisi ja magnetilisi. Nagu juba nägime, esinevad magnetilised nähtused alati siis, kui on tegemist elektrivooluga. Põhiliseks magnetiliseks nähtuseks, millega tutvusime § 58, olid kahe vooluga juhi vahel esinevad vastastikused jõud. Neid jõude nimetatakse magnetjõududeks.

Edaspidisel magnetiliste nähtuste uurimisel kasutame magnetnõela. Nagu teada, on magnetnõel kompassi peamiseks osaks. Meenutame, et magnetnõelal on *kaks poolust: põhja- ja lõunapoolus*. Magnetnõela otsi (pooluseid) ühendavat joont nimetatakse magnetnõela teljeks. Vaatleme nüüd katset, mis näitab elektrivoolu ja magnetnõela vastastikust mõju. Esimesena tegi sellise katse taani õpetlane Oersted 1820. a. Sellel katsel oli suur tähtsus elektriliste nähtuste uurimise arengule.

Kui asetada vooluallikaga ühendatud juhe magnetnõela telje kohale (joon. 106) ja vooluring sulgeda, kaldub magnetnõel oma esialgsest asendist kõrvale (joonisel näidatud punktiiriga). Vooluringi katkestamisel läheb magnetnõel oma algseisu tagasi. See tähendab, et vool ja magnetnõel mõjutavad teineteist.

Kuidas selgitada Oerstedi katset?



Joon. 106.

Vaadelnud kahe elektriseeritud keha vastastikust mõju, tulime järeldusele, et neid kehi ümbritseb elektriväli. Oerstedi katse näitab aga, et vooluga juhti ümbritseb magnetväli. See väli mõjubki magnetnõelale, kallutades teda esialgsest sihist kõrvale.

Magnetväli esineb igat liiki elektrivoolu ümber, s. t. kõikjal, kus on tegemist elektrilaengute liikumisega.

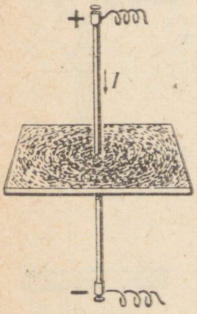
Elektrivool ja magnetväli on teineteisest lahutamatud. Niisiis, liikumatu laengu ümber eksisteerib ruumis üksnes elektriväli. Liikuvate laengute, s. t. elektrivoolu ümber esineb nii elektri- kui ka magnetväli.

Kuna magnetväli esineb alati vooluga juhtme ümber, tuleb vaadata voolu kui magnetvälja tekitajat. Sellises tähenduses tuleb mõista ka väljendeid «voolu magnetväli» või «voolu poolt tekitatud magnetväli».

Küsimused

1. Missuguseid nähtusi võib tähele panna vooluringis, mida läbib vool? 2. Milliseid magnetilisi nähtusi tunnete? 3. Milles seisneb Oerstedi katse? 4. Missugune seos on elektrivoolu ja magnetvälja vahel?

87. Sirgvoolu magnetväli. Magnetvälja jõujooned.



Joon. 107.

Vooluga juhtme ümber olevat magnetvälja võib kindlaks teha mitmel viisil, näiteks rauapuruga. Magnetväljas rauatükikesed magneetuvad ja muutuvad väikesteks magnetnõelteks. Iga sellise nõela telg asetub magnetväljas mõjuvate jõudude suunas.

Joonisel 107 on kujutatud sirgvoolu magnetvälja pilt. Selle saamiseks pisteti sirge juhe läbi papitüki, millele puistati õhukese kihina rauapuru.

Voolu magnetvälja mõjul asetub rauapuru juhtme ümber kontsentriliste ringjoontena.

Jooni, mida mööda asetuvad magnetväljas väikeste magnetnõelte teljed, nimetatakse magnetvälja jõujoonteks.

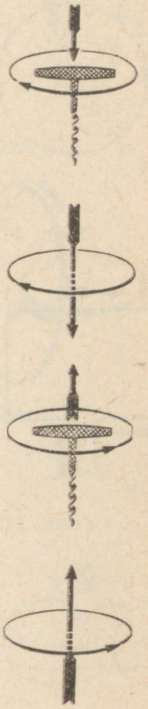
Jõujoonte abil saame kujutada magnetvälja graafiliselt.

Jõujoon joonistatakse nii, et puutuja selle mistahes punktis näitaks magnetnõela põhjapoolusele mõjuva jõu suunda.

Rauapuru asetus magnetväljas annabki meile ettekujutuse magnetvälja jõujoonte kujust.
Voolu magnetvälja jõujooned kujutavad endast kinnisi kõveraid, mis ümbritsevad juhti.

Küsimused.

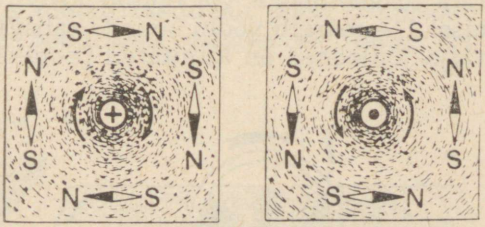
1. Miks on magnetvälja uurimiseks hea kasutada rauapuru? 2. Kuidas asetub rauapuru sirgvoolu magnetväljas? 3. Mida nimetatakse magnetvälja jõujoonteks? 4. Milleks on võetud tarvitusele välja jõujoonte mõiste? Kuidas kujutatakse voolu magnetvälja jõujooni?



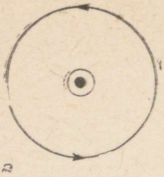
Joon. 109.

88. Voolu suund ja tema magnetvälja jõujoonte suund.

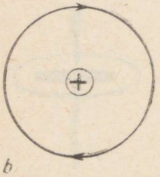
Joonisel 108, *a* on näidatud magnetnõelte paigutus vooluga juhtme ümber. Nende nõelte teljed asuvad piki jõujooni. Muutes selles juhtmes voolu suuna vastupidiseks, pöörduvad kõik magnetnõelad 180° (joon. 108, *b*). Katsest võib järeldada, et magnetvälja jõujoonte suund on seotud voolu suunaga juhtmes.
Seda seost võib väljendada väga lihtsa reegliga, mida nimetatakse *kruvireegliks.*
Kruvireegel sõnastatakse järgmiselt: *kui kruvi kulgev liikumine ühtib voolu suunaga juhis, siis kruvipea pöörlemise suund ühtib voolu magnetvälja jõujoonte suunaga.* Joonisel 109 on näidatud kruvireegli kasutamist.
Voolu suunda näitab siin sabaga nool.
Tähistame vooluga juhi ristlõike ringikesega. Ringi keskele asetatud punkt näitab, et vool tuleb meie poole (näeme meie poole lendava noole otsa, joon.



Joon. 108.



110, *a*). Kui aga vool meist eemaldub, tehakse ringi sisse rist (näeme eemalduva noole saba, joon. 110, *b*). Kruvireegli abil võib määrata nende voolude magnetvälja jõujoonte suuna.



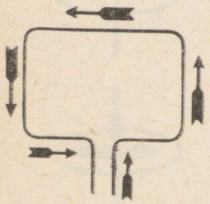
Joon. 110.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata seost voolu suuna ja tekkinud magnetvälja jõujoonte suuna vahel? 2. Milles seisneb kruvireegel, mis aitab määrata magnetvälja jõujoonte suunda? 3. Kuidas on joonisel kõige mugavam kujutada vooluga juhti?

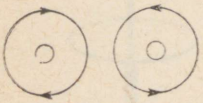
Harjutus 29.

1. Joonisel 111 on kujutatud juhtmest keeratud ristkülik, mida läbib vool noolega näidatud suunas. Tehke sama joonis ka vihikusse ja, kasutades kruvireeglit, märkige ristküliku iga külje ümber jõujoon. Jõujoone suund näidake noolega.
2. Joonisel 112 on näidatud vooluga juhtmeid ümbritseva magnetvälja jõujooned. Juhtmed on kujutatud väikeste ringidena. Joonistage sama pilt vihikusse ja, kasutades kruvireeglit, märkige vastavate märkidega voolu suund kummaski juhtmes.



Joon. 111.

89. Ringvoolu magnetväli.

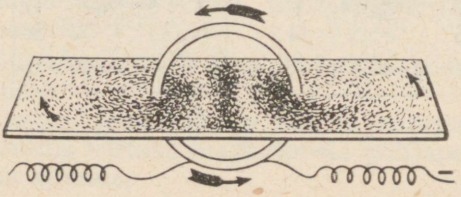


Joon. 112.

Joonisel 113 on kujutatud papitükist läbipandud rõngakujuline juht. Kui juhime taolisesse rõngasse voolu, võime rauapuru abil saada pildi ringvoolu magnetväljast.

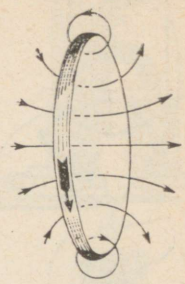
Rauapuru asetuse järgi võime öelda, et ringvoolu magnetvälja jõujooned pole enam korrapärased, kuigi ka siin on kõik juhti ümbritsevad jooned kinnised kõverad.

Jõujoonte suuna ringvoolu magnetväljas võib määrata magnetnõelte või õpitud kruvireegli abil. Joonisel 114 märgib voolu suunda sabaga nool, magnetvälja jõujooned on kujutatud peenikeste joontega.



Joon. 113.

Nagu juba öeldud, on voolu suund ja magnetvälja jõujoonte suund omavahel seotud.
Joonisel 115 on kujutatud kaks rõngast, mis asuvad teineteise suhtes ristuvates tasapindades. Kui üks neist kujutaks noolega näidatud suunas ringvoolu, siis teine kujutaks selle voolu magnetvälja jõujoonte suunda.



Joon. 114.

Küsimused.

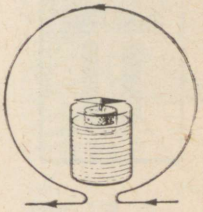
1. Kuidas määrata kruvireegli põhjal ringvoolu magnetvälja jõujoonte suunda? 2. Kuidas asetsevad need kaks rõngast, millest üks kujutab ringvoolu ja teine selle voolu magnetvälja jõujoont? 3. Kuidas saab magnetnõela abil määrata ringvoolu magnetvälja jõujoonte suunda?



Joon. 115.

Harjutus 30.

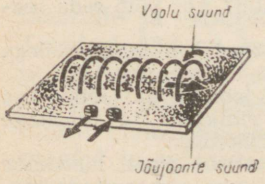
1. Ujuk, millel asetseb magnetnõel, asub nõus vee pinnal. Millise asendi võtab magnetnõel, kui nõu asetada rõngakujulise juhtme sisse, mida läbib vool noolega näidatud suunas (joon. 116)?
2. Kuidas muutub magnetvälja asend, kui vool juhtmes muuta vastupidiseks?



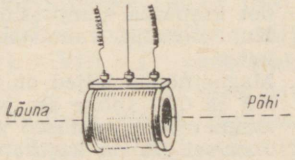
Joon. 116.

90. Vooluga pooli magnetväli.

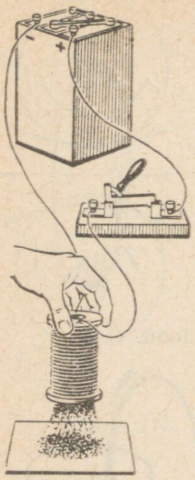
Kõige suuremat praktilist huvi pakub vooluga pooli magnetväli.
Teinud papi- (või klaasi-) tükki kaks rida auke ja tõmmanud neist läbi juhtme nii, nagu näidatud joonisel 117, saame pooli. Laseme nüüd poolist läbi voolu ja puistame papitükile rauapuru. Rauapuru asetub siis magnetvälja jõujoonte sihis. Me saame nn. magnetvälja spektri. Pooli magnetvälja võib vaadata summaarse väljana, mis tekib mitme ringvoolu magnetvälja liitumisel (joon. 113).
Kui pooli pikkus ületab tunduvalt pooli läbimõõdu, siis tekib sellise pooli sees magnetväli, mille *jõu-*



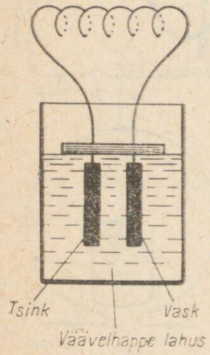
Joon. 117.



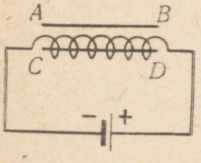
Joon. 118.



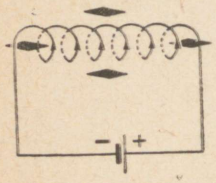
Joon. 119.



Joon. 120.



Joon. 121.



Joon. 122.

jooned on üksteisega rööbiti (joon. 117). Pooli otstel lähevad jõujooned laiali ja sulguvad väljaspool pooli.

Magnetvälja jõujoonte suuna võib ka siin määrata kruvireegliga.

Kui riputada vooluga pool pikkade peenikeste ja painduvate juhtmete abil horisontaalselt üles, võtab pool samasuguse asendi kui magnetnõel. Pooli üks ots on pööratud põhja, teine lõuna poole. Põhja poole on pööratud pooli see ots, millest jõujooned *väljuvad*. See pooli ots sarnaneb magnetnõela põhjapoolusega (joon. 118). Pooli teine ots, millesse jõujooned *suubuvad*, sarnaneb magneti lõunapoolusega. Seega on vooluga poolil, samuti kui magnetnõelal, kaks poolust.

Teades voolu suunda pooli keerdudes, võib kruvireegli põhjal määrata pooli poolused.

Pooli magnetpooluste vahetamiseks tuleb muuta ainult voolu suunda poolis.

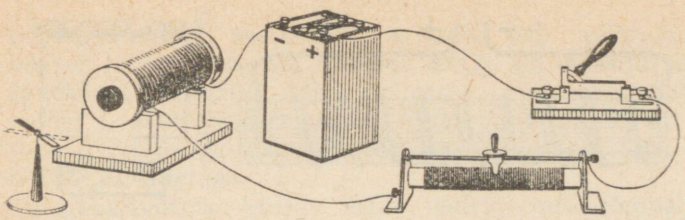
Joonisel 119 on kujutatud suure keerdude arvuga puusüdamikule mähitud pool. Kui pooli läbib vool, tõmbub rauapuru pooli magnetpooluste külge. Voolu kadumisel langeb rauapuru pooluste küljest tagasi lauale.

Küsimused.

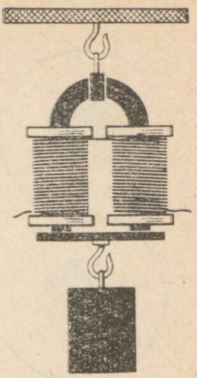
1. Kuidas võib katseliselt saada pildi pooli magnetväljast? 2. Kuidas paiknevad jõujooned pooli magnetväljas? 3. Kuidas saab kruvireegli põhjal määrata vooluga pooli magnetvälja jõujoonte suunda? 4. Millise suuna võtab peenikeste juhtmete otsa horisontaalselt riputatud pool? Milline sarnasus esineb siin magnetnõelaga? 5. Kummal pooli otsal on magneti põhja-, kummal lõunapooluse omadused? 6. Kuidas määrata pooli magnetpooluseid kruvireegli põhjal? 7. Mida tuleb teha, et muuta pooli magnetpoolused vastupidisteks?

Harjutus 31.

1. Joonisel 120 on kujutatud «ujuv» Volta element, mille elektroodidega on ühendatud pooli otsad. Kasutades kruvireeglit, määrake, milline pooli ots osutub magnetiliseks põhjapooluseks, milline lõunapooluseks. Kuidas kontrollida pooli pooluseid magnetnõela abil? Kas võib seda seadet kasutada kompassina?
   Kui võimalik, valmistage selline seade ja tehke sellega katseid.
2. Magnetnõelte teljed on kujutatud joonisel 121 lõikudena *AB* ja *CD*. Tehke see joonis ka vihikusse ja tähistage magnetnõelte poolused vastavate tähtedega.
3. Joonisel 122 on kujutatud vooluga pool. Pooli lähedusse on paigutatud neli magnetnõela. Tehke samasugune joonis oma vihikusse ja määrake nõelte magnetpoolused.



Joon. 123.



Joon. 124.

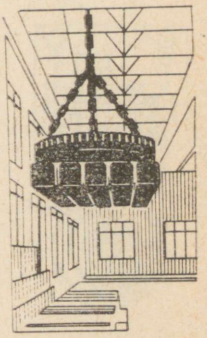
91. Elektromagnetid.

Vooluga pooli magnetvälja võib tunduvalt tugevdada, kui asetada pooli sisse raudsüdamik. Vaatleme seda nähtust üksikasjalikumalt. Teeme järgmise katse.

Joonisel 123 on kujutatud skeem vooluringist, mis koosneb vooluallikast, poolist, reostaadist ja lülitist. Pooli lähedusse on paigutatud magnetnõel. Kui pooli läbib vool, pöördub magnetnõel teatud nurga võrra kõrvale. Nihutades nõela poolist kaugemale, näeme, et sama voolutugevuse juures on nüüd magnetnõela kaldenurk väiksem. Järelikult, magnetvälja mõju magnetnõelale väheneb kauguse suurenedes.

Muutes poolis voolutugevust, muutub ka pooli magnetväli: voolutugevuse suurendamisel magnetväli tugevneb, voolutugevuse vähendamisel aga nõrgeneb.

Kui panna pooli sisse raudsüdamik, kaldub magnetnõel korraldatavas katses järsult kõrvale.



Joon. 125.

Pooli sisse viidud raudsüdamik tugevdab magnetvälja samuti nagu voolutugevuse kasvgi. Kui vooluring katkestada, kaob magnetväli poolis ja südamikus.

Raudsüdamikuga pooli nimetatakse elektromagnetiks. On olemas mitmesuguse kujuga elektromagneteid. Joonisel 124 on kujutatud hobuserauakujuline elektromagnet, mis hoiab ülal ankrut koos selle külge kinnitatud koormusega.

Suure tõstejõuga elektromagneteid kasutatakse tehastes terasest ja malmist toodete, samuti metallilaastude ja -kangide transportimiseks (joon. 125).

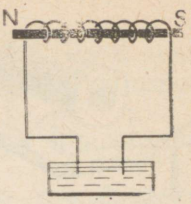
Joonisel 126 on kujutatud lõikes magnetiline viljapuhastusmasin (separaator). Vili *1* puistatakse punkrist pöörlevale trumlile *2*. Trumli sees asub tugev elektromagnet, mis tõmbab külge raudesemeid *4* ja eemaldab need üle trumli langevast viljavoost *3*.



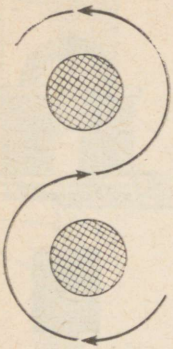
Joon. 126.



Joon. 127.



Joon. 128.

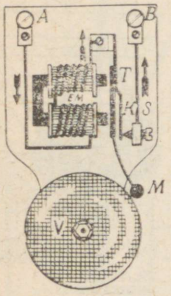


Joon. 129.

Küsimused.

1. Kuidas saab tugevdada pooli magnetvälja? 2. Mida nimetatakse elektromagnetiks? 3. Milleks kasutatakse tehastes elektromagneteid? 4. Kuidas on ehitatud magnetiline viljapuhastusmasin?

Harjutus 32.



Joon. 130.

1. Läbi pooli, milles asub terasvarb (joon. 127), juhitakse kindla suunaga vool. Määrake saadud elektromagneti poolused. Kuidas saaks vahetada selle elektromagneti pooluseid?
2. Määrake voolu suund poolis ja vooluallika poolused (joon. 128), kui voolu läbiminekul tekkisid elektromagnetil joonisel märgitud poolused.
3. Voolu suund hobuserauakujulise elektromagneti mähise keerdudes on näidatud nooltega (joon. 129). Määrake elektromagneti poolused.
4. Joonisel 130 on skemaatiliselt kujutatud elektrikõlisti ehitus. Sellel skeemil on *EM* hobuserauakujuline elektromagnet, *T* — raudplaat (ankur), *M* — vasarake, *V* — kellakauss, *K* — kontaktvedru, mis puudutab kruvi *S*. Vaadelge joonist ja selgitage, kuidas kõlisti töötab.

92. Elektritelegraaf.

Telegraaf kujutab endast seadet, mille abil saab anda signaale kauge maa taha ja neid ka üles kirjutada. Sõna «telegraaf» tuleneb kahest kreekakeelsest sõnast: *tēle* — kauge ja *graphō* — kirjutan.

Esimese elektrilise telegraafiaparaadi leiutas Venemaal P. L. Šilling 1832. aastal. Laialdaselt levis ameeriklase Morse elektromagnetiline telegraaf, mille ta leiutas 1937. aastal.

Morse telegraafiaparaadi töötamise skeem on kujutatud joonisel 131.

Saatejaamas *A* asuvad vooluallikas ja telegraafivõti *1*. Vastuvõtujaamas asub üleskirjutusseadis, mille peamiseks osaks on elektromagnet *2*. Elektromagneti

pooluste vahel asetseb kang, mis võib pöörelda ümber telje *0*. Kangi ühe õla külge on kinnitatud raudplaat *3* (ankur), teise õla otsas, mida pingutab vedru *4*, asub poolest saadik värvivanni ulatuv rattake *5*. Saate- ja vastuvõtujaam on omavahel ühendatud juhtmetega.

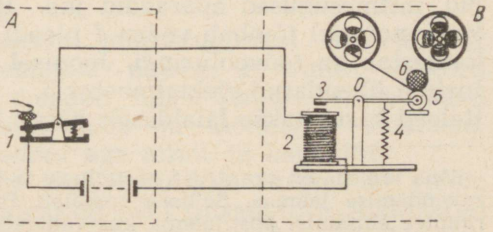
Telegraafivõtme küljes asub vedru, mis tõmbab metallkangi kontaktist eemale, katkestades nii vooluringi. Vooluringi sulgemiseks tuleb suruda telegraafivõtme käepidemele *1* ja viia see ühendusse kontaktiga. Vooluringi sulgemisel saatejaamas *A* tõmbab elektromagnet *2* külge raudankru, kusjuures rattake *5* kerkib vastu rullidel liikuvat paberilinti. Rullid paneb liikuma kellamehhanism.

Puutudes vastu paberilinti, jätab rattake sellele jälje — kriipsu, mille pikkus sõltub ankru ja elektromagneti kokkupuute ajast. See omakorda sõltub aga voolu kestusest vooluringis. Vooluring suletakse saatejaamas telegraafivõtmega. Lühiajalised vajutused võtmele jätavad lindile punktid, pikemaajalised aga kriipsud. Kombineerides kriipse ja punkte, võib neist koostada tingmärkide tabeli, milles leiduvad vastavad märgid kõigi tähtede, numbrite ja kirjavahemärkide jaoks (morsetähestik).

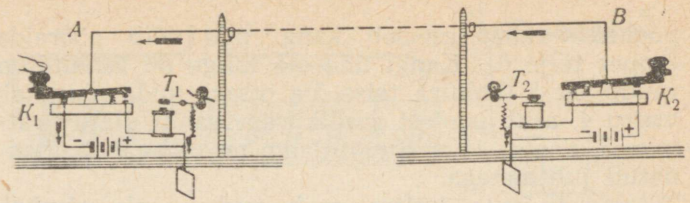
Joonisel 132 on kujutatud telegraafiside lihtsustatud skeem, mis võimaldab telegrammide vahetamist jaamade *A* ja *B* vahel. Mõlemas jaamas asuvad üleskirjutusaparaadid T_1 ja T_2 ning telegraafivõtmed K_1 ja K_2. Joonisel on kujutatud olukord, kus jaamas *A* antakse edasi telegrammi, jaamas *B* aga kirjutatakse see lindile. Elektrivooluring sulgub sellel skeemil maa kaudu.

Tuleb märkida, et see on telegraafi lihtsustatud skeem, mis selgitab ainult telegrafeerimise põhimõtet. Tänapäeva telegraafiaparaatide ehitus ja tööprintsiip on palju keerukam.

Telegraafiaparaati täiustas vene teadlane B. S. Jakobi. Ta leiutas nimelt aparaadi, mis trükkis lindile mitte punkte ja kriipse, vaid tähti.



Joon. 131.



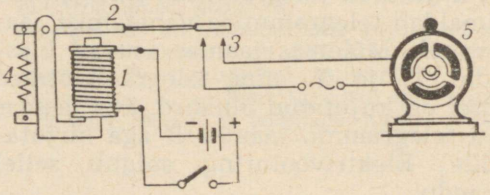
Joon. 132.

Küsimused.

1. Mida tähendab sõna «telegraaf»? 2. Millistest põhiosadest koosneb telegraafiseade? 3. Kuidas on ehitatud ja kuidas töötavad telegraafivõti ja üleskirjutusseadis? 4. Mida kujutab endast morsetähestik?

93. Elektromagnetiline relee[1].

Elektromagnetiline relee on seade, mis töötab nõrgal voolul ja mille abil saab sisse ja välja lülitada tugevama vooluga vooluringe. Ettekujutuse lihtsaima relee tööprintsiibist annab joonis 133.



Joon. 133.

Relee põhiliseks osaks on elektromagnet *1*. Kui elektromagneti mähist läbib vool, tõmbub ankur *2* vastu elektromagnetit ja suleb töövooluringi kontaktid *3*. Töövooluringi võivad olla lülitatud erinevad voolutarbijad, nagu elektrimootorid, elektrilambid, mitmesugused aparaadid jne. Relee vooluringi katkestamisel tõmbab vedru *4* plaadi *2* üles ning see katkestab ka töövooluringi. Joonisel 133 on töövooluringi ühendatud elektrimootor *5*.
Releed kasutatakse laialdaselt kõigis tehnikaharudes,

[1] Sõna «relee» on prantsuse päritoluga ja tähendab «ümberrakendamise jaama». Selliselt nimetati Prantsusmaal enne raudtee ehitamist postijaamu, kus vahetati hobuseid.

eriti automaatikas. Relee tähtsus seisneb selles, et ankru 2 külgetõmbamiseks on tarvis elektromagneti mähisesse juhtida nõrk vool, töövooluringi aga võib läbida väga tugev vool. Seega saame relee kaasabil nõrga vooluga lülitada sisse tugeva voolu.

Küsimused.

1. Mida tähendab sõna «relee»? 2. Kuidas on relee ehitatud? 3. Milleks kasutatakse releed?

94. Püsivmagnetid.

Nägime (§ 91), et vooluga pooli sees raudsüdamik magneetub, voolu katkestamisel aga demagneetub. Kui asetada pooli karastatud terasvarb, siis erinevalt raudvarvast ei demagneetu see voolu katkestamisel.

Kehi, mis säilitavad magneeditud oleku pikemaks ajaks, nimetatakse *püsivmagneteiks* ehk lihtsalt *magneteiks*.

Prantsuse õpetlane Ampère selgitas raua ja terase magneetumist elektrivooludega, mis tsirkuleerivad nende ainete igas molekulis.

Ampère'i kaasajal ei teatud aatomi ehitusest veel midagi, seepärast jäi molekulaarvoolude olemus saladuseks. Nüüd aga teame, et igas aatomis on liikuvad negatiivsed osakesed — elektronid, mida ümbritsevad magnetväljad, ning need põhjustavadki raua ja terase magneetumise.

Magnetitel võib olla väga erinev kuju. Joonisel 134 on kujutatud sirgmagnet ja hobuserauakujuline magnet.

Magneti kohti, kus magnetiline toime on kõige tugevam, nimetatakse magneti *poolusteks* (joon. 135). Igal magnetil, nagu magnetnõelalgi, on tingimata kaks poolust: *põhjapoolus* (*N*) ja *lõunapoolus* (*S*).

Lähendades magnetit mitmesugustest materjalidest valmistatud esemetele, näeme, et ainult vähesed neist tõmbuvad magneti külge. Magnet tõmbab hästi ligi malmi, terast, rauda ja mõningaid sulameid, tunduvalt nõrgemini aga niklit ja koobaltit.

Looduses leidub ka loomulikke magneteid (joon. 136) magnet-rauamaagi näol (magnetiit). Rikkalikud magnet-rauamaagi lademed asuvad meil Uraalis,



Joon. 134.


Joon. 135.

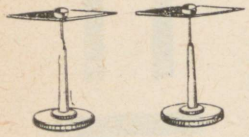

Joon. 136.

Ukrainas, Karjala ANSV-s, Kurski oblastis ja paljudes teistes kohtades.
Magnet-rauamaagi kaudu tutvus inimene esmakordselt kehade magnetiliste omadustega.

Küsimused.

1. Mille poolest erinevad teineteisest vooluga magneeditud rauatükk ja terasetükk? 2. Missuguseid kehi nimetatakse püsivmagneteiks? 3. Kuidas seletas Ampère raua magneetumist? 4. Kuidas selgitatakse tänapäeval Ampère'i molekulaarvoole? 5. Milliseid magneti kohti nimetatakse tema poolusteks? 6. Milliseid teile tuntud aineid tõmbab magnet külge?

95. Magnetite vastastikune mõju.



Joon. 137.

Kui ühele magnetnõelale lähendada teine, siis pöörduvad nad nii, et nende erinimelised poolused jäävad vastakuti (joon. 137).
Niisamuti mõjub magnetnõelale ka iga teine magnet.
Tuues magnetnõela lähedale magneti, võime märgata, et nõela põhjapoolus tõukub magneti põhjapoolusest ja tõmbub lõunapooluse poole. Täpselt samuti tõukub magnetnõela lõunapoolus magneti lõunapoolusest ja tõmbub põhjapooluse poole.
Kirjeldatud katsete põhjal võib teha järelduse.

Magnetite erinimelised poolused tõmbuvad, samanimelised tõukuvad.

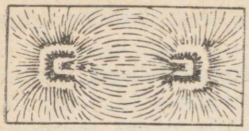
Magnetite vastastikust mõju võib selgitada asjaoluga, et iga magnetit ümbritseb magnetväli. Ühe magneti magnetväli mõjub teisele magnetile ja, vastupidi, teise magnetväli mõjub esimesele magnetile.

Küsimused.

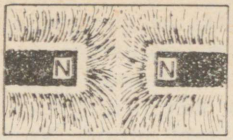
1. Kuidas mõjuvad magnetid omavahel? 2. Kuidas saab magnetnõela abil määrata magneeditud terasvarda pooluseid?

96. Püsivmagneti magnetväli.

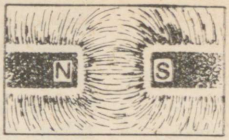
Püsivmagneti magnetväljast võib saada ettekujutuse rauapuru abil.
Joonisel 138 on kujutatud sirgmagneti magnetväli. Täpselt nii nagu voolu magnetvälja jõujooned, on



Joon. 138



a



b

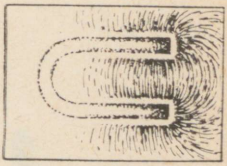
Joon. 139

ka magneti magnetvälja jõujooned kinnised. Jõujooned väljuvad magneti põhjapoolusest ja suubuvad lõunapoolusesse, ühinedes magneti sees.

Joonisel 139, *a* on kujutatud kahe magneti magnetväljad, kui vastamisi on samanimelised poolused, joonisel 139, *b* on aga teineteise vastas erinimelised poolused.

Joonisel 140 on kujutatud hobuserauakujulise magneti magnetväli.

Nende magnetväljade pilte on kerge saada katseliselt.



Joon. 140

Küsimused.

1. Kuidas võib saada ettekujutuse magneti magnetväljast?
2. Mida kujutavad endast magnetvälja jõujooned?

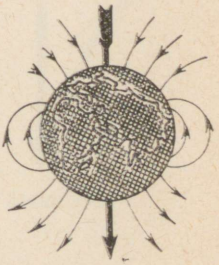
97. Maa magnetväli.

Juba ammusest ajast on teada, et vertikaalsel teljel vabalt pöörlev magnetnõel võtab Maa igas punktis teatud kindla asendi (juhul, kui läheduses puuduvad magnetid ja elektrivoolud). See asjaolu näitab, et Maad ümbritseb *magnetväli*.

Magnetnõel asetubki Maa magnetvälja jõujoonte sihis.

Vaatlused näitavad, et Maa geograafilisele põhjapoolusele lähenemisel kalduvad Maa magnetvälja jõujooned üha enam horisondi suhtes ja põhjalaiusel 70° 50′ ning läänelaiusel 96° suubuvad maasse. Siin asubki Maa magnetiline lõunapoolus (joon. 141), mis asub geograafilisest põhjapoolusest umbes 2100 km kaugusel.

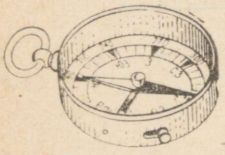
Maa magnetiline põhjapoolus asub geograafilise lõunapooluse lähedal, nimelt 70° 10′ lõunalaiust ja 150° 45′ idapikkust. Maakera sellest punktist väljuvad tema magnetvälja jõujooned.



Joon. 141.

Näeme, et Maa magnetpoolused ei lange kokku tema geograafiliste poolustega.

Kuna Maa magnetpoolused ja geograafilised poolused ei kattu, siis ei ühti ka magnetnõela ja geograafilise meridiaani suund. Nurka, mille võrra magnetnõel antud kehas kaldub kõrvale geograafilise meridiaani suunast, nimetatakse *käände-* ehk *deklinatsiooninurgaks*. Seda nurka mõõdetakse kompassiga (joon. 142).



Joon. 142.

Vanade laevapäevikute sissekannete põhjal on õnnestunud kindlaks teha, et käändenurgad aja jooksul muutuvad. Peale selle esinevad vahel ootamatud magnetilised tormid (nii nimetatakse Maa magnetvälja lühiajalisi muutusi).

Vaatlused näitavad, et magnetiliste tormide tekkimine on seotud Päikese tegevusega. Päikese aktiivsuse perioodil paiskuvad tema pinnalt maailmaruumi laetud osakeste, elektronide ja prootonite vood. Nende liikuvate osakeste poolt tekitatud magnetväli muudab Maa magnetvälja ja kutsubki esile magnetilise tormi.

Magnetilised tormid on lühiajalised nähtused. Maakeral on aga alasid, kus käändenurk tunduvalt erineb normaalsest. Selliseid alasid nimetatakse *magnetilisteks anomaaliateks*[1]. Üks suuremaid ja tuntumaid on Kurski magnetiline anomaalia. Selliste anomaaliate põhjusteks on võrdlemisi maapinna lähedal asuvad suured rauamaagilademed.

Maa magnetismi olemus pole veel lõplikult selgitatud. On vaid kindlaks tehtud, et suurt osa Maa magnetvälja muutustes etendavad mitmesugused elektrivoolud, mis esinevad nii atmosfääris (eriti selle ülemistes kihtides) kui ka maakoores.

Maa magnetvälja ehituse ja omaduste uurimisele pööratakse suurt tähelepanu kõigi tehiskaaslaste ja kosmoselaboratooriumide lendudel.

On kindlaks tehtud, et Maa magnetväli kaitseb maapinda hästi kosmilise kiirguse eest, mis mõjub elavatele organismidele kahjulikult.

Kosmilise kiirguse moodustavad maailmaruumis tohutu kiirusega liikuvad elektronid, prootonid ja teised osakesed.

Maa magnetväli on neile osakestele omamoodi lõksuks, ta on nagu soomusrüü, mis peatab enamiku Maa poole liikuvatest osakestest.

[1] *Anomaalia* tuleneb ladina keelest ja tähendab kõrvalekaldumist, ebanormaalsust.

Kosmoselaevade lennud Kuule ja ümber selle on aidanud kindlaks teha, et Kuul puudub magnetväli. Kosmosealased uurimised näitavad, et magnetväli puudub ka Veenusel ja Marsil.

Küsimused.

1. Millega seletada, et magnetnõel võtab Maa antud punktis alati kindla suuna? 2. Kus asuvad Maa magnetpoolused? 3. Kuidas näidata, et Maa magnetiline lõunapoolus asub põhjas ja magnetiline põhjapoolus lõunas? 4. Mida nimetatakse käände- ehk deklinatsiooninurgaks? 5. Millega seletatakse magnetiliste tormide tekkimist? 6. Mida kujutavad endast magnetilised anomaaliad? 7. Kus asub suurim magnetiline anomaalia?

98. Telefon.

Kõigile on hästi tuntud telefon ja telefonitoru. Viimase ühes otsas on *telefon*[1], mis hoitakse kõnelemisel vastu kõrva, teises otsas aga *mikrofon*[2]. Mikrofon ja telefon on juhtmete abil ühendatud liini teises otsas asuva mikrofoni ja telefoniga ühisesse vooluringi.

Joonisel 143 on kujutatud mikrofoni ehituse skeem. Mikrofoni põhiosadeks on õhuke terasest või presssöest membraan *2* ja söepuru *3*, mis asub söeklotsi *4* süvendites. Söeklots on kestast *1* isoleeritud vaheseibiga *5*. Mikrofoni kesta põhja on kinnitatud (isoleeritult) liikumatu elektrood *6*.

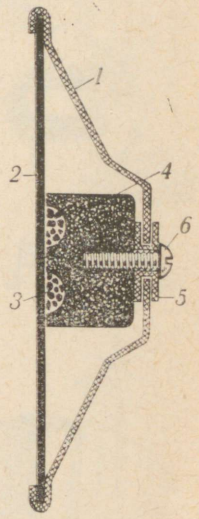
Elektrilaengud lähevad läbi membraani, söeklotsi ja söepulbri elektroodile *6*.

Kuidas töötab mikrofon?

Kui me räägime või laulame, panevad meie võnkuvad häälepaelad võnkuma ka õhu. Õhu võnkumisi kuulemegi helidena.

Kui mikrofoni membraanile ei mõju võnkuvad õhuosakesed, on söepulbri takistus mikrofonis muutumatu ja voolutugevus konstantne. (Joonisel 144 iseloomustab sellist olukorda graafiku lõik *AB*.)

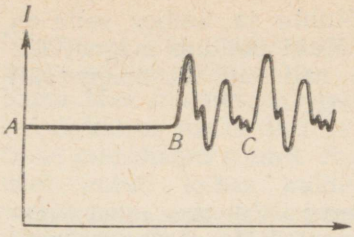
Häälelained, jõudes membraanini, panevad selle võnkuma. Võnkuv membraan aga muudab pidevalt



Joon. 143.

[1] Telefon — tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *tēle* — kauge, *phōne* — hääl. Telefon on aparaat, mis võimaldab häält edasi anda kauge maa taha.

[2] Mikrofon — tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *mikros* — väike ja *phōne* — hääl. Mikrofon on aparaat, mis on tundlik nõrkadele helidele.



Joon. 144.

söepulbri üksikute terakeste vahelist kontakti. Selle tagajärjel söepulbri takistus muutub, mis omakorda kutsub esile voolutugevuse kõikumise mikrofoni vooluringis. Need voolu muutused toimuvad vastavalt membraani võnkumisele. Mikrofoni vooluringi läbib pulseeriv vool. (Joonisel 144 kujutab neid voolu muutusi graafiku lõik *BC*.)

Niisiis, *hääle võnkumised mikrofoni membraani ees põhjustavad voolu võnkumisi telefoni vooluringis.*

Telefoni ehituse skeem on kujutatud joonisel 145. Telefoni kestas *2* asub püsivmagnet *3*, mille terasest poolusekingadele on paigutatud väga peenikesest traadist poolid *4*. Poolusekingade kohal asub õhuke ümmargune terasmembraan *1*. Membraani ja poolusekingade vahele on jäetud väike õhupilu. Kaas *5* surub membraani *1* vastu kesta *2*.

Kui telefoni poolides puudub vool, on membraan kergelt nõgus, sest magneti poolused tõmbavad teda sissepoole. Kui aga pooli läbib muutuva tugevusega vool, põhjustab see vastavaid muutusi ka poolide magnetväljas.

Kuna see vool muutub vastavalt hääle võnkumistele, siis muutub ka voolu poolt tekitatud lisamagnetväli nende võngete kohaselt.

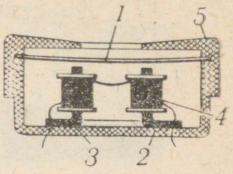
Muutuva magnetvälja mõjul hakkab telefoni membraan võnkuma, pannes ühtlasi võnkuma ka temaga kokkupuutuvad õhukihid. Selle tulemusena on telefonis kuulda just neid sõnu ja lauseid, mida samal ajal räägitakse mikrofoni.

Küsimused.

1. Mida tähendavad sõnad «telefon» ja «mikrofon»? 2. Kuidas on ehitatud mikrofon ja kuidas ta töötab? 3. Kuidas on ehitatud telefon ja kuidas ta töötab? 4. Kuidas toimub vestlus telefoni teel?

99. Vooluga juhile magnetväljas mõjuv jõud.

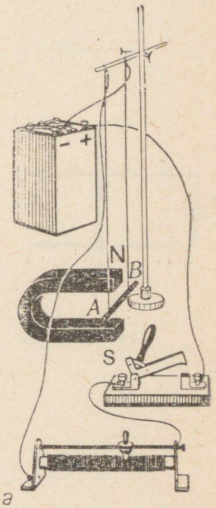
Teame, et kaks vooluga juhti mõjutavad teineteist teatud jõuga (§ 61).
Seda nähtust seletatakse nii, et kummalegi vooluga juhile mõjub teise juhi magnetväli: esimesele juhile mõjub teise juhi magnetväli, teisele omakorda esimese oma.



Joon. 145.

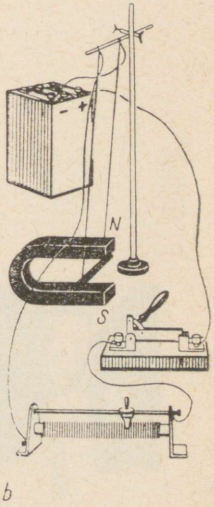
Igale magnetväljas asuvale vooluga juhile mõjub see väli teatud jõuga.

Magnetväljas mõjuvat jõudu on lihtne kindlaks teha katse varal. Katse skeem on kujutatud joonisel 146, *a*.
Katseseadmes on juht *AB* riputatud kahe peene juhtme otsa, mis on ühenduses vooluallikaga. Juht *AB* on paigutatud hobuserauakujulise magneti pooluste vahele, s. t. ta asub magnetväljas.
Vooluringi sulgemisel hakkab juht *AB* liikuma (joon. 146, *b*). Kui magnetit pole, siis vooluga juht liikuma ei hakka. Tähendab, magnetväli mõjub vooluga juhile mingi jõuga, mis viib juhi esialgsest asendist kõrvale. Selgitame, millest sõltub selle jõu suund. Katse näitab, et *voolu suuna muutmisel muutub ka juhi liikumise suund,* s. t. temale mõjuva jõu suund.
Kui katses (joon. 146) jätta voolu suund endiseks ja vahetada ainult magneti pooluste asukohad, s. t. muuta magnetvälja suunda, siis muutub vastupidiseks ka juhile mõjuv jõud.



Järelikult, *juhti läbiv vool, magnetvälja jõujoonte suund ja juhile mõjuva jõu suund on omavahel seotud.*

Magnetväljas vooluga juhile mõjuva jõu suunda võib määrata vasaku käe reegli abil. See reegel on järgmine: *kui vasak käsi asetada nii, et magnetvälja jõujooned suunduvad peopessa ja sõrmed näitavad voolu suunda, siis näitab väljasirutatud pöial juhile mõjuva jõu suunda* (joon. 147).



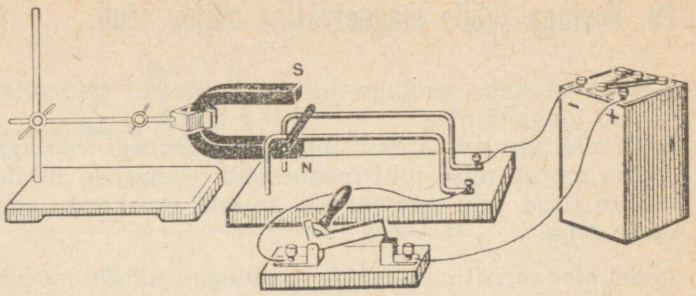
Joon. 146.

Küsimused.

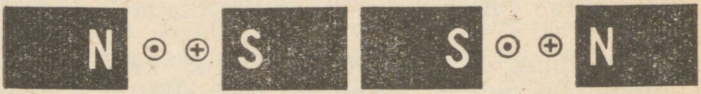
1. Kuidas teha katseliselt kindlaks vooluga juhile magnetväljas mõjuva jõu suunda? **2.** Millest sõltub vooluga juhile mõjuva jõu suund? **3.** Kuidas on sõnastatud vasaku käe reegel? **4.** Kuidas kasutada vasaku käe reeglit vooluga juhile mõjuva jõu suuna määramiseks?



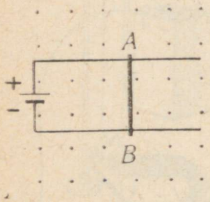
Joon. 147.



Joon. 148.



Joon. 150.



Joon. 149.

Harjutus 33.

1. Millises suunas hakkab liikuma kerge alumiiniumtoru vooluringi sulgemisel (joon. 148)?
2. Kahel vooluallikaga ühendatud isoleerimata juhtmel saab liikuda kerge alumiiniumtoru *AB* (joon. 149). Juhid asuvad magnetväljas, mille jõujooned väljuvad joonise tasapinnast meie poole. Millises suunas hakkab liikuma toru *AB* vooluringi sulgemisel?
3. Magnetite pooluste vahele on paigutatud neli vooluga juhti (joon. 150). Määrake, millises suunas hakkab iga juht liikuma.

100. Vooluga raami pöörlemine magnetväljas.

Suure praktilise tähtsusega on magnetväljas asuva vooluga raami pöörlemise tundmaõppimine.

Joonisel 151 on kujutatud seadis, millega saab seda pöörlemist demonstreerida. See seadis koosneb vertikaalsele teljele paigutatud raamist *ABCD*, millele on keritud mitukümmend keerdu isoleeritud juhet. Mähise otsad on ühendatud metallrõngastega *k*, kusjuures mähise üks ots on ühendatud ühe, teine teise rõngaga. Metallrõngad on kinnitatud raamiga *ABCD* samale teljele. Raami mähis ühendatakse vooluallika vooluringi rõngaste ja metallplaadikeste, nn. harjade *h* kaudu. Raam paigutatakse magnetväljas magneti põhja- ja lõunapooluse vahele.

Joonisel 151, *a* asetseb raami *ABCD* tasapind paralleelselt magnetvälja jõujoontega. Vooluringi sulge-

misel läbib raami vool, mille suund on joonisel 151, *b* näidatud nooltega.

Kasutades vasaku käe reeglit, leiame, et raami osale *AB* mõjub jõud *F*, mis on suunatud meist eemale (joonise taha). Raami osale *CD* mõjub niisama suur jõud *F*, mille suund on jooniselt meie poole. Piki magnetvälja jõujooni asuvaile raami osadele *AD* ja *BC* ei mõju mingit jõudu.

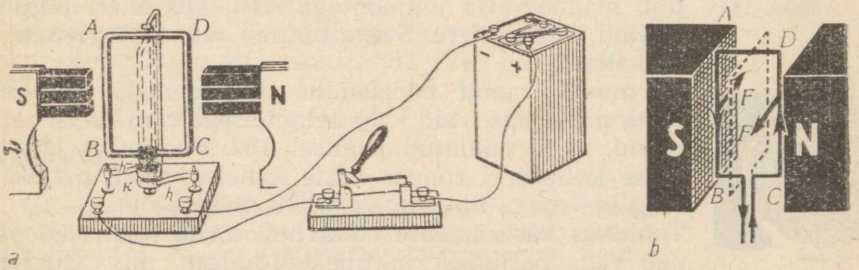
Võrdsete ja vastupidiselt suunatud jõudude mõjul raam pöördub ning pärast mõningat edasi-tagasi võnkumist peatub asendis, kus mähise tasapind on risti magnetvälja jõujoontega. Joonisel 151 on raami selline asend kujutatud punktiiriga.

Muutes voolu suunda, pöördub raam jälle 180° ja läbib inertsi tõttu koguni tasakaaluasendi. Et raam pööruks veel 180°, tuleb muuta mähises voolu suunda just hetkel, mil ta on inertsi tõttu läbinud tasakaaluasendi. Tähendab, kui vajalikel momentidel, s. o. pärast raami iga pöördumist 180° võrra, muuta voolu suunda mähises, siis pöörleks raam magnetväljas pidevalt senikaua, kuni mähist läbib vool.

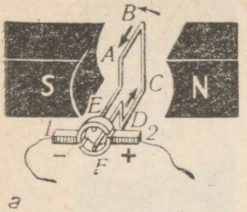
Voolu suunda mähises saab muuta automaatselt. Selleks kasutatakse erilist seadet, mida nimetatakse *kollektoriks*.

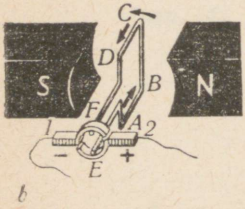
Lihtsaim kollektor koosneb kahest teineteisest isoleeritud poolrõngast, mis on kinnitatud raamiga ühisele teljele ja mis pöörlevad koos viimasega. Mähise otsad on ühendatud nende poolrõngastega. Vool juhitakse mähisesse poolrõngastele toetuvate harjade kaudu. Raam sellise kollektoriga on kujutatud joonisel 152.

Kui poolrõngas *F* puudutab harja *2*, on vool suunatud *D*-lt *C*-le, nagu näidatud joonisel 152, *a*. Seejuures pöördub raam 180°. Pärast seda pööret läheneb harjale *2* poolrõngas *E*. Nüüd on vool mähises

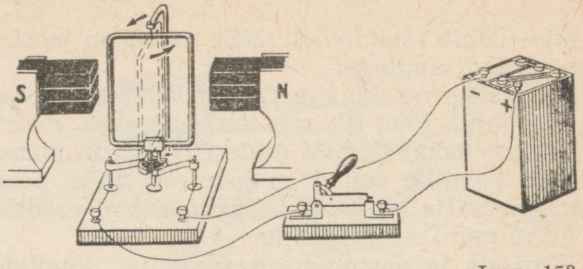


Joon. 151.





Joon. 152.



Joon. 153.

suunatud *A*-lt *B*-le (joon. 152, *b*), s. t. voolu suund mähises muutub vastupidiseks. Selle tulemusena teeb raam uuesti 180-kraadise pöörde jne. Nii saadakse raamikese pidev pöörlemine.

Joonisel 153 kujutatud seadmes, kus kollektoriks on kaks poolrõngast, pöörleb raam pidevalt.

Küsimused.

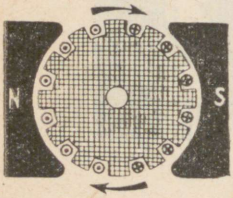
1. Missugustele vooluga raami osadele mõjuvad magnetväljas jõud? **2.** Kuidas liigub magnetväljas vertikaalsele teljele kinnitatud ristkülikukujuline raam, kui raami mähist läbib vool? **3.** Kuidas saaks eelmises küsimuses kirjeldatud raami panna pidevalt pöörlema? **4.** Millise seadmega saab automaatselt muuta voolu suunda raami mähises? **5.** Kuidas on ehitatud ja kuidas töötab lihtsaim kollektor?

101. Alalisvoolumootor.



Joon. 154.

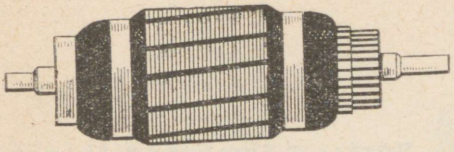
Vooluga raami pöörlemist magnetväljas kasutatakse elektrimootorites. Joonisel 153 on kujutatud alalisvoolumootori töötav mudel. Teame, et magnetväli mõjub vooluga mähisele suurima jõuga siis, kui raami ja mähise tasapind asetseb rööbiti magnetvälja jõujoontega. Kui raami tasapind pöördub magnetvälja jõujoontega risti, siis edasi liigub ta vaid inertsi tõttu. Seega toimub raami pöörlemine tõukeliselt.



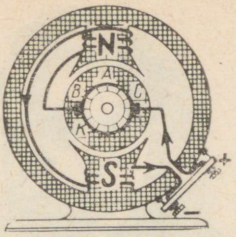
Joon. 155.

Et muuta raami pöörlemine ühtlasemaks, tuleb võtta mitte üks, vaid kaks teineteisega risti asetsevat raami, nagu näidatud joonisel 154. Seejuures jagatakse kollektori rõngas mitte kaheks, vaid neljaks ning iga osaga ühendatakse üks mähise ots.

Tehnikas kasutatavate elektrimootorite mähis koosneb väga paljudest juhtmekeerdudest, mis asuvad terassilindri uuretes. Joonisel 155 on esitatud elektri-



Joon. 156.



Joon. 157.

mootori skeem. Juhtmekeerud on skeemil kujutatud ringikestena.

Terassilinder on pandud kokku üksikutest lehtedest. Piki silindri välispinda on tehtud uurded, millesse on paigutatud juhtmed. Seesugust silindrit koos mähisega nimetatakse mootori *ankruks*. Terassilinder tugevdab magnetvälja, milles asuvad ankrumähise juhtmed mootori töötamisel.

Ankru juhtmekeerdude otsad on joodetud kollektori vaskplaatide külge, mis on üksteisest isoleeritud. Kollektor asub ankruga ühisel võllil. Ankrumähis ühendatakse vooluallika vooluringi kollektori plaate puudutavate söeharjade abil. Joonisel 156 on kujutatud alalisvoolumootori ankur koos kollektoriga.

Magnetvälja, milles sellise mootori ankur pöörleb, tekitab tugev elektromagnet. Seda toidab sama vooluallikas mis ankrumähistki.

Joonisel 157 on näha alalisvoolumootori läbilõige, kus *A* on ankur, *B* ja *C* — harjad ning *K* — kollektor.

Kuni ankrumähist läbib vool, ankur pöörleb. Pannes ankru telje otsa rihmaratta või ühendades selle vahetult mingi masina teljega, võime panna tööle mistahes masina.

Ankrumähises teeb elektrivool tööd voolu saamisel kulutatud energia arvel.

Esimesena leiutas praktiliseks kasutamiseks kõlbliku elektrimootori akadeemik B. S. Jakobi 1834. a.

Küsimused.

1. Missugusel füüsikalisel nähtusel põhineb elektrimootori ehitus ja töötamine? 2. Kuidas on ehitatud alalisvoolumootori ankur? 3. Kuidas tekitatakse elektrimootoris magnetväli?



Boriss Semjonovitš Jakobi (1801—1874) — vene akadeemik, kes sai kuulsaks galvanoplastika leiutajana. Konstrueeris esimese praktiliselt kasutatava elektrimootori. Tema leiutatud on ka telegraafiaparaat, mis trükkis morsemärkide asemel tähti.

102. Elektrimootorite kasutamine.

Eelmises paragrahvis tutvusime alalisvoolumootori ehitusega. Peale alalisvoolumootorite valmistatakse veel vahelduvvoolumootoreid. Neid õpime tundma aga vanemates klassides.

Soojusmasinatega võrreldes on elektrimootoreil rida eeliseid. Ühesuguse võimsuse korral on elektrimootorite mõõtmed väiksemad ja nende kasutamine palju mugavam. Peale selle ei eralda nad töötamisel gaase, suitsu ega auru; nende jaoks pole tarvis kütteega veevaru.

Elektrimootoreid on hea paigaldada sobivasse kohta: tööpingile, trammi põranda alla, elektriveduri raamile. On olemas ka selliseid elektrimootoreid, mis pumpavad puuraukudest naftat, asudes ise selle sees.

Elektrimootoreid võib valmistada mistahes võimsusega, mis ulatub mõnest vatist (näiteks habemeajamisaparaatides) sadade ja tuhandete kilovattideni (ekskavaatorites, valtsimispinkides, laevades).

Võimsate elektrimootorite kasutegur ulatub 98%. Nii suurt kasutegurit ei ole ühelgi teisel jõumasinal.

Tehastes ja vabrikutes käitatakse elektrimootoritega mitmesuguseid tööpinke. Põllumajanduses kasutatakse elektrimootoreid pumpades, viljapeksu-, tuulamis-, lüpsi- ja hekslimasinate töölepanemiseks. Linnades liiguvad elektrimootorite jõul trammid, trollibussid, metroorongid, elektrirongid jne.



Michael Faraday (1791—1867) — inglise füüsik, kes rajas õpetuse elektri- ja magnetväljast, avastas elektromagnetilise induktsiooni nähtuse ja voolu keemilise toime seadused.

Elektrimootorite kasutamine mitmesugustes majapidamismasinates (tolmuimejates, külmutuskappides, pesupesemis- ja õmblusmasinais jm.) kergendab tunduvalt inimese tööd ja loob mugavusi.

Küsimused.

1. Millised on elektrimootorite eelised võrreldes soojusmasinatega? 2. Kus kasutatakse elektrimootoreid?

103. Elektromagnetiline induktsioon.

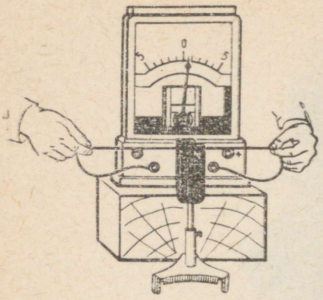
Mitmesuguste elektromagnetiliste nähtuste uurimine, millest paljud on tuttavad ka meile, näitab, et kõikjal, kus esineb elektrivool, ümbritseb teda alati magnetväli.

Kui aga elektrivool tekitab magnetvälja, kas siis ei esine ka vastupidine nähtus? Kas pole magnetvälja abil võimalik tekitada juhtmes elektrivoolu?

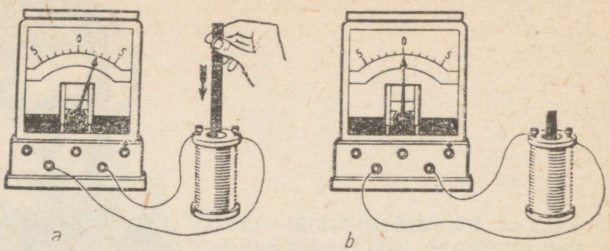
1882. aastal seadis inglise füüsik Faraday endale ülesande «muuta magnetism elektriks».

Et mõista, kuidas Faradayl see «magnetismi elektriks muutmine» õnnestus, vaatleme mõningaid Faraday katseid, mida tänapäeva tehnika taseme juures on koolis kerge teha.

Joonisel 158 on kujutatud juhe, mille otsad on ühendatud galvanomeetriga. Liigutades juhet hobuserauakujulise magneti pooluste vahel nii, et juhe lõikaks magnetvälja jõujooni, tekib ja püsib selles juhtmes vool seni, kuni kestab juhtme liikumine. Voolu olemasolust annab tunnistust galvanomeetri osuti kõrvalekaldumine.



Joon. 158.



Joon. 159.

Kui juhe on paigal või liigub jõujoontega rööbiti, siis ta neid ei lõika ning juhtmes voolu ei teki.

Vaatleme veel mõningaid katseid.

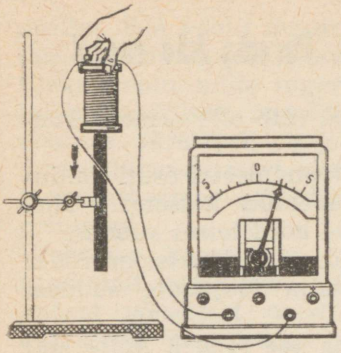
Joonisel 159, *a* on kujutatud galvanomeetriga ühendatud pool. Kui sellisesse pooli asetada magnet, kaldub galvanomeetri osuti kõrvale, näidates voolu tekkimist pooli vooluringis. Samasugune nähtus esineb ka magneti väljatõmbamisel poolist, kusjuures nüüd kaldub galvanomeetri osuti teisele poole. See näitab, et magneti eemaldamisel poolist tekib poolis elektrivool, mis on vastupidine voolule, mis tekkis magneti asetamisel pooli.

Niipea kui magneti liikumine pooli suhtes lõpeb (joon. 159, *b*), lakkab ka vool. *Pooli vooluringis tekib vool ainult siis, kui magnet liigub pooli suhtes, s. t. magnetvälja muutumisel.*

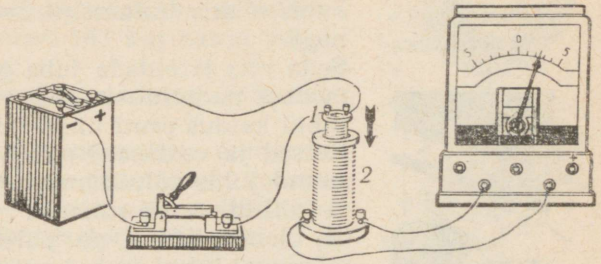
Katset võib korraldada ka teisiti: asetame liikumatule magnetile joonisel 160 näidatud viisil pooli ja võtame selle siis jälle ära. Senikaua kui kestab pooli liikumine magneti suhtes, näitab pooli vooluringi ühendatud galvanomeeter voolu. Magneti võib asendada ka vooluga pooli või elektromagnetiga, nagu näidatud joonisel 161, ja teha täpselt neidsamu katseid mis püsivmagnetiga. Asetades akumulaatoriga ühendatud pooli *1* galvanomeetriga ühendatud pooli *2* sisse, näitab galvanomeeter voolu. Sama võib tähele panna ka siis, kui eemaldame pooli *1* poolist *2*.

Kõigis neis katseis, kus pool ja magnet teineteise suhtes liiguvad, lõikavad pooli keerud magnetvälja jõujooni. Just magnetvälja jõujoonte lõikamine pooli keerdude poolt põhjustabki poolis elektrivoolu tekkimise.

Asugu pool *1* pooli *2* sees. Neid poole teineteise suhtes liigutamata suleme ja katkestame pooli *1* vooluringi. Sel juhul tekib poolis *2* samuti lühiajaline



Joon. 160.



Joon. 161.

vool. Vooluringi sulgemisel tekib poolis *1* magnetväli, vooluringi avamisel aga kaob. Kuid magnetvälja tekkimisel ja kadumisel muutub pooli keerde lõikavate jõujoonte arv ning see põhjustabki poolis *2* voolu tekkimise.

Kõigis eespool kirjeldatud katseis tekkis juhtmes vool. Voolu tekkimise põhjus oli alati üks ja seesama.

Avastanud selle seaduse, näitas Faraday, et elektrivool tekib juhis ainult siis, kui juht lõikab magnetvälja jõujooni. Mida rohkem jõujooni lõikab juht ühes sekundis, seda tugevam vool selles juhis tekib.

Elektrivoolu tekkimist suletud juhis, kui juht lõikab magnetvälja jõujooni, nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks[1].

Tekkivat voolu nimetatakse induktsioonivooluks.

Elektromagnetilise induktsiooni avastas Faraday 1831. aastal. See avastus oli üks suurepärasemaid kogu XIX saj. esimesel poolel. Elektromagnetilise induktsiooni nähtus on aluseks nii elektro- kui ka raadiotehnikale.

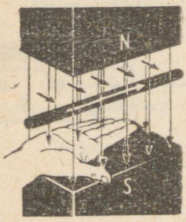
Küsimused.

1. Missugustele faktidele tugines Faraday, kui ta seadis endale ülesandeks «muuta magnetism elektriks»? **2.** Millistel tingimustel tekib magnetväljas asuvas juhis vool? **3.** Milliste katsetega on võimalik näidata voolu tekkimist juhtmes, mis lõikab magnetvälja jõujooni? **4.** Millist nähtust nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks? **5.** Kuidas nimetatakse voolu, mis tekib elektromagnetilisel induktsioonil?

[1] Induktsioon tuleneb ladinakeelsest sõnast *inductio* — ergutamine.

104. Induktsioonivoolu suund. Parema käe reegel.

Täiendavaks lugemiseks



Joon. 162.

Juhis tekkiv induktsioonivool võib olla erineva suunaga.

Seda võis järeldada juba galvanomeetri osuti kaldumistest paragrahvis 103 vaadeldud katsetes. Ühel juhul kaldus osuti ühes, teine kord teises suunas.

Katsed ja vaatlused näitavad, et induktsioonivoolu suund juhis sõltub magnetvälja jõujoonte suunast ja juhi liikumise suunast.

On olemas lihtne, nn. parema käe reegel, mille abil mõningal juhul on hea määrata juhis tekkiva induktsioonivoolu suunda.

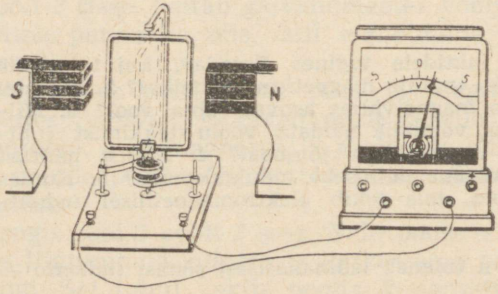
Kui asetada parem käsi nii, et magnetvälja jõujooned on suunatud peopessa ja pöial näitab juhi liikumise suunda, siis näitavad väljasirutatud sõrmed induktsioonivoolu suunda juhis. Joonisel 162 on näidatud, kuidas tuleb seda reeglit rakendada.

105. Elektrivoolugeneraator.

Elektromagnetilisel induktsioonil põhineb elektrivoolugeneraatorite ehitus ja töö.

Joonisel 163 on näha sellise generaatori mudel. See koosneb meile juba tuttavast raamist koos mähisega. Mähise otsad on rõngaste ja harjade kaudu ühendatud galvanomeetriga. Raam ise on paigutatud sirgmagnetite magnetvälja.

Raami pööramisel muutub seda kontuuri läbivate jõujoonte arv. Seepärast tekibki induktsiooninähtuse tõttu mähises vool, mille suund, nagu näitab galvanomeetri osuti, muutub raami ühe pöörde jooksul kaks korda. Voolutugevus mähises kasvab nullist kuni teatud väärtuseni ja kahaneb seejärel jälle



Joon. 163.

nullini. See voolu muutumine toimub perioodiliselt, mis on näha ka galvanomeetrilt.

Elektrivoolu, mille tugevus ja suund teatud aja vältel perioodiliselt muutuvad, nimetatakse *vahelduvvooluks*. Järelikult on joonisel 163 kujutatud vahelduvvoolugeneraatori mudel.

Me vaatlesime vahelduvvoolugeneraatori töötamise printsiipi.

Praktikas kasutatava voolugeneraatori ehitus on tunduvalt keerulisem. Selline generaator koosneb kahest põhilisest osast — *staatorist* ja *rootorist*. Staatoriks nimetatakse generaatori liikumatut ja rootoriks selle liikuvat osa.

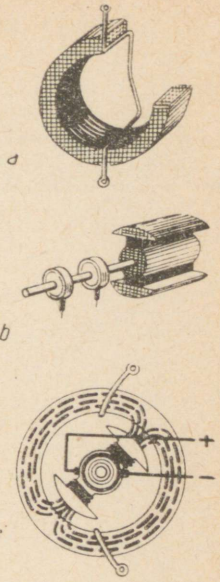
Staator kujutab endast terasest valmistatud õõnsat silindrit. Sellise silindri siseküljel asuvatesse uuretesse paigutatakse juhtmed, milles generaatori töötamisel tekib induktsioonivool. Joonisel 164, *a* on kujutatud üks juhtmekeerd, mis on paigutatud terassilindri uurdesse.

Generaatori pöörlev osa — rootor (joon. 164, *b*) — kujutab endast elektromagnetit. Selle elektromagneti mähis ühendatakse generaatori töötamisel harjade ja kontaktrõngaste kaudu alalisvooluallikaga.

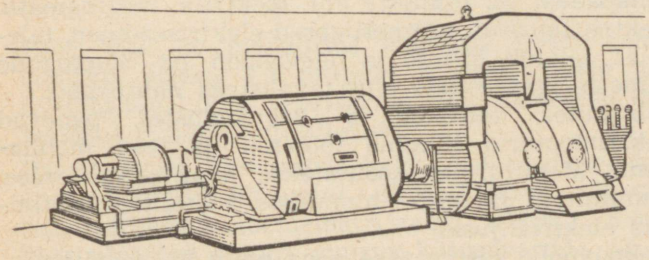
Joonisel 164, *c* on kujutatud vahelduvvoolugeneraatori täielik skeem. Sellelt skeemilt on näha, et kui panna rootor mingi välise jõu abil pöörlema, siis hakkab pöörlema ka tema poolt tekitatav magnetväli. Seejuures lõikavad välja jõujooned staatori mähise keerde, ja kui vooluring on suletud, indutseeritakse neis vahelduvvool.

Generaatori rootor pannakse pöörlema mingi jõumasina — sisepõlemismootori, auru- või hüdroturbiini abil.

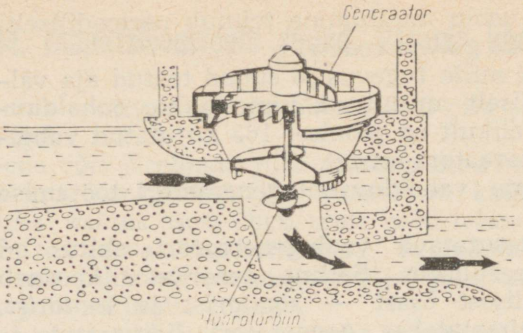
Auruturbiiniga ühendatud generaatorit nimetatakse t u r b o g e n e r a a t o r i k s (joon. 165).



Joon. 164.



Joon. 165.



Joon. 166.

Joonisel 165 on vasakul kujutatud generaator, paremal aga turbiin.

Turbogeneraatoreid kasutatakse peamiselt soojuselektrijaamades. Meie kodumaa tehastes ehitatakse generaatoreid, mille võimsus ulatub kuni 1 000 000 kW.

Joonisel 166 on kujutatud võimas hüdrogeneraator. Juhtmete abil elektrimootorite, lampide, soojendusseadmetega ühendatud generaator annab neile kõigile voolu, mis teeb neis tööd. Seejuures kulutatakse kas kütuse energiat või vee potentsiaalset energiat.

Küsimused.

1. Millisel füüsikalisel nähtusel põhineb elektrivoolugeneraatori ehitus ja töö? 2. Missugustest põhilistest osadest koosneb generaator? 3. Mida nimetatakse turbogeneraatoriks? 4. Mida nimetatakse hüdrogeneraatoriks? 5. Millised energeetilised protsessid toimuvad generaatoriga toidetavates vooluringides?

106. Nõukogude Liidu elektrifitseerimine.

Täiendavaks lugemiseks

Tänapäeval on inimeste elu elektrita mõeldamatu. Elektrivalgustus, mitmesugused elektriseadmed, telegraaf, telefon, raadio ja televisioon on nõukogude inimeste igapäevases elus tavalisteks nähtusteks.

Vabrikutes, tehastes ja kaevandustes panevad elektrimootorid liikuma tööpinke ja teisi mehhanisme. Metallurgias kasutatakse kvaliteetse terase, alumiiniumi ja teiste hinnaliste metallide tootmiseks elektriahjusid.

Elektrivoolu kasutatakse väga palju ka keemiatööstuses ja transpordis. Meie maal on elektrifitseeritud raudteid mitme tuhande kilomeetri ulatuses.

Iga aastaga laieneb elektrienergia kasutamine põllumajanduses. Valgustuse kõrval kasutatakse elektrienergiat veel mitmesuguste masinate ja lüpsiagregaatide töölepanemiseks, lammaste pügamiseks, vee soojendamiseks ning piima pastöriseerimiseks. Millega on seletatav elektrienergia nii laialdane kasutamine tänapäeval? Kõigepealt sellega, et elektrienergiat on väga mugav kasutada. Sageli on ta aga isegi asendamatu. Näiteks said telefoni-, telegraafi- ja raadioside tekkida ainult tänu elektrivoolule. Elektriliste signaalide abil on võimalik pidada sidet maakera kõige kaugemate punktide ja isegi Maa ning teiste planeetide vahel.

Elektrimootoreil on suuri eeliseid soojusjõumasinatega võrreldes. Elektrimootoreid võib valmistada erineva võimsusega, alustades väikese võimsusega mootoritest habemeajamisaparaatides kuni sadade kilovattideni ulatuvate võimsate mootoriteni, mida kasutatakse tõstekraanades.

Väga lihtsad ja mugavad kasutamiseks on mitmesugused elektriaparaadid.

Elektrienergia laialdast kasutamist rahvamajanduses ja igapäevases elus nimetatakse elektrifitseerimiseks.

Maa elektrifitseerimine on seotud kolme tähtsa ülesande lahendamisega: esiteks elektrienergia saamise, teiseks selle ülekandmise ja lõpuks tarbimisega.

Väga tähtsaks pidas NSV Liidu elektrifitseerimist Nõukogude riigi looja V. I. Lenin. Ta ütles: «Kommunism — see on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine.»

1920. a. koostati V. I. Lenini ettepanekul esimene Venemaa elektrifitseerimise plaan. Selle plaani kohaselt pidi 10—15 aasta jooksul ehitatama 30 elektrijaama koguvõimsusega 1,75 miljonit kilovatti.

Juba 1932. a. moodustas ehitatud elektrijaamade võimsus kokku 2,9 miljonit kilovatti. 1940. a. oli Nõukogude Liidus tegutsevate elektrijaamade koguvõimsus 11,2 miljonit kilovatti.

Pärast Suurt Isamaasõda hakkas elektrifitseerimine arenema veelgi kiiremini. Ehitati terve rida võimsaid riiklikke rajoonielektrijaamu (ГРЭС). Sellised elektrijaamad ehitati suurte kütusevarude — söe, põlevkivi, turba, maagaasi või nafta leiukohtade vahetusse lähedusse. Mõne taolise elektrijaama võimsus ületab 2 miljonit kilovatti.

Elektrijaamu, mis muudavad kütuse energia elektrienergiaks, nimetatakse soojuselektrijaamadeks.

Peale soojuselektrijaamade, mis annavad ligikaudu 80% kogu elektrienergiast, on Nõukogude Liidus ehitatud ja ehitatakse palju võimsaid hüdroelektrijaamu (ГЭС) Volgale, Kaamale, Dneprile, Angaraale, Jenisseile, Obile, Irtõšile ja paljudele teistele meie kodumaa jõgedele.

Nendes elektrijaamades muudetakse elektrienergiaks vee energia.

Esimeseks hüdroelektrijaamaks, mis ehitati veel Lenini eluajal, oli Volhovi elektrijaam võimsusega 80 000 kW. NLKP XXII Kongressi nimelise Hüdroelektrijaama võimsus on 2,5 miljonit kW, Suure Oktoobri 50. Aastapäeva nimelise Bratski Hüdroelektrijaama võimsus on 4,5 miljonit kW. See on praegu kõige võimsam hüdroelektrijaam maailmas.

V. I. Lenini sajandaks sünniaastapäevaks valmis Jenisseil Krasnojarski hüdroelektrijaam, mille turbiinide koguvõimsuseks on arvestatud 6 miljonit kW.

Kõrvuti soojus- ja hüdroelektrijaamadega ehitatakse meie maal ka võimsaid aatomielektrijaamu (АЭС). Aatomielektrijaamades muudetakse aatomienergia elektrienergiaks.

Nõukogude Liidu kõigi elektrijaamade võimsus ulatus 1967. aastaks — Oktoobrirevolutsiooni juubeliaastaks — 135 miljoni kW-ni (revolutsioonieelsel Venemaal oli kõikide elektrijaamade võimsus 1 miljon kW).

Paljud elektrijaamad on omavahel seotud ülekandeliinidega, moodustades nii ühe võimsa elektrienergiaallika ehk nn. ühtse energiasüsteemi. Tänapäeval kuuluvad näiteks kõik Nõukogude Liidu Euroopaosas asuvad elektrijaamad ühte energiasüsteemi. Üldisest energiasüsteemist jaotub elektrienergia erinevatele tarbijatele.

Elektrijaamades toodavad võimsad generaatorid vahelduvvoolu pingega mitte üle 22 000 V.

On kindlaks tehtud, et mida kõrgem on pinge, seda väiksemad on kaod ülekandeliinides. Seepärast tõstetakse generaatorist saadav pinge enne ülekandeliinidesse juhtimist vähemalt 220 000 voldini. Seda tehakse vastavate seadmete abil, mida nimetatakse transformaatoreiks (nende ehitusega tutvute vanemates klassides).

Elektrienergia tarbimiskohal madaldatakse kõrgepingeline vool vastavate transformaatorite abil madalpingeliseks, s. t. kas 127-, 220- või 380-voldiseks vooluks.
Uute võimsate elektrijaamade käikulaskmisega kasvab veelgi võimas energiavoog, mis lähendab meid helgele tulevikule — kommunismile.
Nõukogude inimesed viivad ellu selle, millest rääkis ja unistas V. I. Lenin.

107. Radioaktiivsus.

Täiendavaks lugemiseks

Rutherfordi katse kirjeldamisel (§ 48) me juba nimetasime, et mõned keemilised elemendid kiirgavad laetud osakesi. See nähtus avastati möödunud sajandi lõpul. Tehti kindlaks, et uraanimaak kiirgab nähtamatuid kiiri, mis mõjuvad fotoplaadile. Seda nähtust hakati nimetama r a d i o a k t i i v s u s e k s. Peagi leiti, et peale uraani on radioaktiivsed ka paljud teised elemendid.
Uurides radioaktiivsust, leidsid Pierre ja Marie Curie uraanimaagis peale uraani veel mingit tundmatut metalli, mille radioaktiivsus oli mitu korda suurem kui uraanil. See element nimetati raadiumiks[1]. Raadium on väga haruldane metall. Mitme tonni uraanimaagi töötlemisel õnnestus teadlastel eraldada vaid umbes 1 gramm raadiumi.
Katsetega on kindlaks tehtud, et radioaktiivsed kiired avaldavad mitmesugust toimet. Fotoplaadile langedes radioaktiivsed kiired valgustavad plaati. Kui radioaktiivse aine terake satub fotoplaadile, võib sellel hiljem näha kiirguse jälgi, mis on väljunud terakese langemiskohast kõigis suundades.
Läbides õhku või mõnda teist gaasi, muudavad radioaktiivsed kiired oma teel gaasi aatomeid ioonideks, mistõttu gaas muutub elektrijuhiks. Kui tükike radioaktiivset ainet tuua laetud elektroskoobi lähedale, muutub õhk elektrijuhiks ja elektroskoop kaotab oma laengu.
Radioaktiivsed kiired kutsuvad esile mõnede ainete helendumise. Kui sellise ainega katta ekraani pind, tekib kohale, kuhu kiirgus langeb, helenduv täpike.

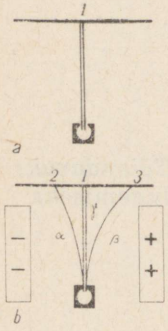
---

[1] R a a d i u m — kiirgav; ladinakeelsest sõnast *radius* — kiir.

108. Radioaktiivse kiirguse liigid.

Täiendavaks lugemiseks

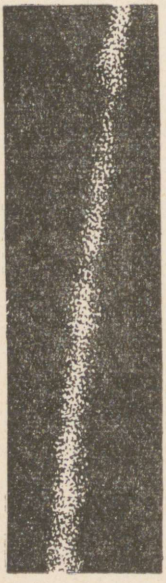
Radioaktiivse kiirguse toime kaudu uuriti kiirguse omadusi ja koostist. Selleks suleti radioaktiivse aine tükike pliist anumasse, millesse oli tehtud väike ava. Avast väljuv kitsas kiirtekimp jättis fotoplaadile tumeda laigu punktis *1* (joon. 167, *a*).



Joon. 167.

Nüüd juhiti kiirtekimp tugevasse elektrivälja, mis tekitati erinimeliselt laetud kahe metallplaadi abil. Katse põhimõte oli järgmine: kui radioaktiivne kiirgus koosneb laetud osakeste voost, kalduvad need elektriväljas vastavate plaatide poole. Kui kiired sarnanevad aga valguskiirgusega, siis nad kõrvale ei kaldu. (Tol ajal oli teada, et valguskiired elektriväljas kõrvale ei kaldu.)

Katse tulemusena selgus, et radioaktiivne kiirgus jagunes elektriväljas kolmeks kimbuks: üks kiirtekimp kaldus positiivse, teine negatiivse plaadi poole, kolmas aga ei kaldunud üldse kõrvale ning fotoplaadile saadi kolm tumedat täpikest *1, 2* ja *3* (joon. 167, *b*). Tähendab, antud juhul koosnes radioaktiivne kiirgus *kolmest erinevat liiki kiirgusest.* Neid nimetati vastavalt kreeka tähestiku kolmele esimesel tähele α-, β- ja γ-kiirguseks[1].


Joon. 168.

Negatiivse plaadi poole kaldunud kiirtekimp kujutab endast *positiivselt laetud osakeste voogu.* Neid osakesi nimetati *α-osakesteks.* Iga α-osake on tegelikult elektronid kaotanud heeliumi aatom, s. t. heeliumi aatomi tuum.

Positiivse plaadi poole kaldunud kiirtekimp, nn. β-kiirgus, kujutab endast negatiivselt laetud osakeste, elektronide voogu. Kolmandat kiirtekimpu, mis kusagile ei kaldunud, nimetati γ-kiirguseks. Viimane on olemuselt lähedane valguskiirgusele.

Teades, et radioaktiivne kiirgus koosneb laetud osakestest (erandi moodustab γ-kiirgus), võib selgitada veel üht nende toimet, millel on teaduses suur tähtsus.

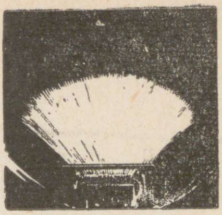
Läbides küllastatud läbipaistvat vee- või piirituseauru, tekitavad laetud osakesed oma teel ioone. Need ioonid saavad auru kondensatsioonitsentriteks, mistõttu tähistabki α- või β-osakese läbiminekut kitsas udujälg. See on hästi nähtav isegi palja silmaga (joon. 168). Väliselt sarnaneb see jälg suures kõrguses lendava reaktiivlennuki jäljega. Osakese jälge

[1] Neid tähti loetakse alfa, beeta, gamma.

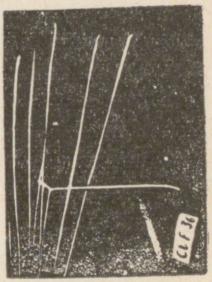
saab fotografeerida ja foto põhjal täpselt määrata, kuidas osakene liikus. Joonisel 169 on toodud foto, kus on näha radioaktiivsest ainest väljapaiskuvate α-osakeste jäljed: α-osakesed lendavad kõigis suundades.

Nende jälgede uurimine võimaldas kindlaks määrata osakeste laengu, massi ja energia. Osakeste jälgede põhjal saab uurida isegi mõningaid nähtusi. Joonisel 170 on näha, kuidas üks α-osake on põrganud kokku aine aatomi tuumaga ja oma teelt kõrvale paiskunud.

Joonisel 170 on kujutatud liikuva α-osakese põrkumine oma teel aine aatomi tuumaga ja tema kõrvalekaldumine pärast põrget.



Joon. 169.



Joon. 170.

Täiendavaks lugemiseks

109. Aatomienergia.

Uurides kehade siseenergiat, märkisime, et suurema osa sellest moodustab aatomi koosseisu kuuluvate osakeste liikumise ja vastastikuse mõju energia.

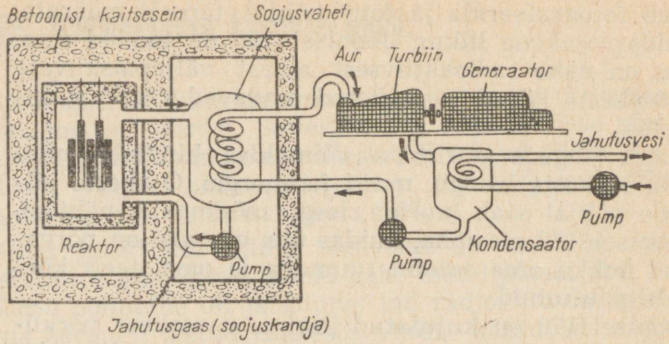
Tohutud siseenergia varud peituvad aatomituumas. Tuumajõud, mis hoiavad tuumas koos prootoneid ja neutroneid, on mitu korda suuremad gravitatsiooni- ja elektrijõududest. Seepärast on ka osakeste vastastikuse mõju potentsiaalne energia tuumas miljoneid kordi suurem molekulide, aatomite ja elektronide liikumise ja vastastikuse mõju energiast. Seda energiat nimetatakse *tuuma-* ehk *aatomienergiaks.*

Aatomienergia kasutamisvõimaluse avastamine kuulub XX saj. kõige suuremate teaduslike avastuste hulka.

Kahjuks kasutas USA valitsus 1945. a. seda avastust inimeste massiliseks hävitamiseks Jaapani linnade Hiroshima ja Nagasaki pommitamisel aatomipommidega.

Ka Nõukogude Liidul on see tohutu purustusjõuga relv. Ent meie riik teeb kõik selleks, et keelata selle relva kasutamine. Aatomienergiat tuleb kasutada ainult rahulikel eesmärkidel. Sel alal on Nõukogude Liit kõikidest teistest maadest ees.

1954. aastal ehitati meie maal esimene tööstuslik aatomielektrijaam maailmas võimsusega 5000 kW. Tänapäeval on meil juba aatomielektrijaamu, mille võimsus ulatub sadade tuhandete kilovattideni, kus-



Joon. 171.

juures ehitamisel on veelgi võimsamad elektrijaamad.

Joonisel 171 on kujutatud aatomireaktoriga ühendatud aurujõuseadme skeem. Aatomienergia arvel saadud soojusega kuumutatakse gaasi, mis seejärel aurukatlas (soojusvahetis) omakorda soojendab vett, muutes selle auruks.

Tuumareaktori võib paigutada ka laevadele. 1959. aastal ehitati Nõukogude Liidus maailma võimsaim aatomijäälõhkuja «Lenin». Jäälõhkuja «Lenin» mootorid töötavad tuumakütusel ja nende võimsus on 29 420 kW. Kuna tuumakütusel on väga väike ruumala ja ta kaalub vähe, võib jäälõhkuja «Lenin» töötada terve aasta kütusevaru täiendamata.

Laboratoorsed tööd.

1. Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segamisel.

Töövahendid: kalorimeeter, mensuur, termomeeter.
Töö käik.

1. Kalla ühte kalorimeetrisse 200 g kuuma vett, teise niisama palju külma vett. Mõõda nende temperatuurid.
2. Kalla külm vesi kuuma vee juurde ja sega vett ettevaatlikult termomeetriga. Mõõda vee temperatuur.
3. Arvuta soojushulk, mille annab ära kuum vesi jahtumisel segu temperatuurini, seejärel soojushulk, mille saab juurde külm vesi soojenemisel sama temperatuurini.

Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjuta tabelisse:

Kuuma vee mass	Kuuma vee algtemperatuur	Segu temperatuur	Soojushulk, mille annab ära kuum vesi	Külma vee mass	Külma vee algtemperatuur	Soojushulk, mille saab külm vesi

4. Võrdle soojushulki, mille annab ära kuum vesi ja mille saab külm vesi. Tee järeldus.

2. Kõva keha erisoojuse määramine.

Töövahendid: kalorimeeter, termomeeter, kaalud ja alumiiniumsilinder.

Töö käik.

1. Vala kalorimeetrisse 200—300 g toatemperatuuril olevat vett. Mõõda vee temperatuur.
2. Mõõda alumiiniumsilindri mass.
3. Seo alumiiniumsilindri ümber niit ja kuumuta seda keevas vees. Seejärel lase silinder kalorimeetrisse, kus on vesi.
4. Mõõda vee temperatuur pärast alumiiniumsilindri kalorimeetrisse laskmist.

5. Kõik mõõtmise tulemused kirjuta tabelisse:

Vee mass kalorimeetris m_1	Vee algtemperatuur t_2	Alumiiniumsilindri mass m_2	Alumiiniumi algtemperatuur t_2	Vee ja alumiiniumsilindri ühine temperatuur

6. Leia:
a) soojushulk Q_1, mille sai vesi, soojenedes temperatuurilt t_1 temperatuurini t ehk $(t - t_1)$ kraadi võrra:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1),$$

kus c_1 on vee erisoojus;
b) soojushulk Q_2, mille annab ära alumiiniumsilinder jahtumisel temperatuurilt t_2 temperatuurini t ehk, lühemalt, $(t_2 - t)$ kraadi võrra:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t),$$

kus c_2 on alumiiniumi erisoojus, mis ongi tarvis määrata.
Teades, et soojushulk, mille vesi juurde sai, võrdub soojushulgaga, mille alumiiniumsilinder jahtumisel ära andis, võime kirjutada:

$$Q_1 = Q_2,$$

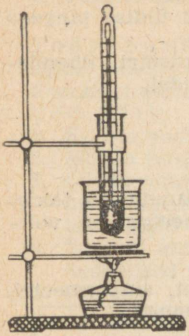
millest

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t).$$

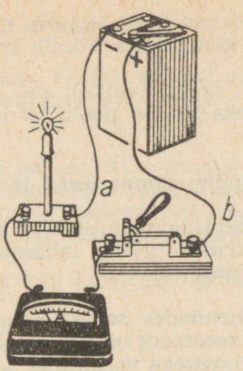
Saadud võrrandis on tundmatuks suuruseks alumiiniumi erisoojus c_2. Asetades võrrandisse nende suuruste mõõtmisel saadud arvulised väärtused, arvuta c_2 väärtus.
7. Kirjuta üles õpilasgruppide tulemused ja leia alumiiniumi erisoojuse keskmine väärtus. Võrdle seda tabelis antud väärtusega.

3. Naftaliini soojendamise, sulamise ja tahkestumise jälgimine.

T ö ö v a h e n d i d: lai katseklaas, termomeeter, naftaliin, keeduklaas.
T ö ö k ä i k.
1. Pane katseklaasi naftaliini ja pista sellesse termomeeter. Seejärel aseta katseklaas veega täidetud keeduklaasi ja soojenda seda piirituslambi nõrgal leegil (joon. 172).
2. Kui naftaliin on soojenenud 50—60 °C-ni, märgi naftaliini temperatuur iga minuti tagant vihikusse. Nii toimi seni, kuni naftaliini temperatuur on tõusnud 90 °C. Seejärel võta katseklaas naftaliiniga kuumast veest välja ja lase õhu käes jahtuda. Samal ajal jätka temperatuuri märkimist vihikusse iga minuti järel, kuni naftaliin on jahtunud 60 °C.
3. Vaatlusandmete põhjal joonesta millimeetripaberile graafik, mis näitab naftaliini temperatuuri muutumist sõltuvalt soojendamise ajast (sellise graafiku näide on toodud joonisel 24).
4. Märgi graafikul naftaliini sulamis- ja kristalliseerumistemperatuur. Võrdle neid.
5. Selgita lähemalt saadud graafikut.



Joon. 172.



Joon. 173.

4. Vee soojendamise ja keemise vaatlemine.

Töövahendid: suurem kolb või keeduklaas, termomeeter, statiiv, kell.
Töö käik.

1. Vala kolbi 40—50 °C-ni soojendatud vett. Pane vette termomeeter, kinnita see statiivi külge. Seejärel hakka kolbi soojendama. Vee temperatuur märgi üles iga minuti järel.
   Kui vesi hakkab keema, lase tal keeda viis minutit ja lõpeta siis soojendamine. Seejärel jätka iga minuti järel temperatuuri ülesmärkimist 4—5 minuti vältel.
2. Saadud andmete põhjal joonesta graafik, märkides valitud ühikutes horisontaalteljele aja (minutites), vertikaalteljele aga temperatuuri (kraadides).

5. Vooluringi koostamine ja voolutugevuse mõõtmine vooluringi mitmesugustes osades.

Töövahendid: akumulaator või kolmest elemendist koosnev patarei, madalpingeline lamp alusel, lüliti, ampermeeter, ühendusjuhtmed.
Töö käik.

1. Koosta vooluring vastavalt joonisele 173. Kirjuta üles ampermeetri näit. Seejärel ühenda ampermeeter vooluringi lõikudesse, mis joonisel on märgitud tähtedega *a* ja *b*. Võrdle kõiki ampermeetri näite. Tee järeldus.
2. Joonista vihikusse vooluringi ühendamise skeem.

Märkus. Ampermeetrit ei tohi ühendada vooluallika klemmidega vahetult, s. t. ilma et temaga oleks ühendatud järjestikku mingi tarbija. Vastasel korral võib ampermeetri mähis läbi põleda.

6. Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel.

Töövahendid: kolmest kuivelemendist või neljast leelisakumulaatorist koosnev patarei, madalpingeline lamp alusel, voltmeeter, lüliti, ühendusjuhtmed.
Töö käik.

1. Mõõda pinge iga elemendi ja ka patarei poolustel. Võrdle saadud suurusi. Mitu korda on pinge patarei poolustel kõrgem ühe elemendi pingest?

2. Ühenda patarei vooluringi lamp ja lüliti ning sule vooluring.
3. Mõõda pinge lambi klemmidel. Võrdle mõõdetud pinget üldise pingega patarei poolustel.
4. Joonista vooluringi skeem, millel on näidatud voltmeetri ühendamine pinge mõõtmiseks patarei poolustel ja lambi klemmidel.

7. Juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil.

Töövahendid: elementide patarei (või akumulaator), tundmatu takistusega juht (nikeliinspiraali tükk), laboratoorne ampermeeter ja voltmeeter, reostaat, lüliti, juhtmed.
Töö käik.
1. Koosta vooluring, ühendades sellesse elementide patarei, ampermeetri, tundmatu takistuse, reostaadi ja lüliti. Mõõda voolutugevus.
2. Ühenda uuritava juhi otstega voltmeeter ja mõõda pinge.
3. Muuda reostaadiga vooluringi takistust ja mõõda uuesti voolutugevus ja pinge.
4. Mõõtmistulemused kirjuta tabelisse.

	Juhi number	Voolutugevus amprites	Pinge voltides	Takistus oomides
Juht	1 2			

5. Kasutades Ohmi seadust, määra juhi takistus iga mõõtmise põhjal. Leia selle juhi takistuse keskmine väärtus.

8. Juhtide järjestikühenduse uurimine.

Töövahendid: vooluallikas (akumulaator või taskulambipatarei), kaks nikeliinjuhti (kaks väikest nikeliinspiraali), ampermeeter, voltmeeter, lüliti, ühendusjuhtmed.
Töö käik.
1. Koosta vooluring, ühendades järjestikku vooluallika, reostaadi, kaks juhti ja ampermeetri (vt. joon. 90).
2. Mõõda pinge vooluringi lõigul, millesse kuuluvad kaks nikeliinjuhti, ja pinge kummalgi juhil eraldi ning voolutugevus vooluringis. Mõõtmistulemuste põhjal arvuta järjestikku ühendatud juhtide kogutakistus ja kummagi juhi takistus eraldi.
3. Leia takistuste väärtused ja kirjuta need järgmisse tabelisse:

Vooluringi pinge U	Voolutugevus I	Kogu lõigu takistus $R = \frac{U}{I}$	Pinge 1. juhil U_1	1. juhi takistus R_1	Pinge 2. juhil U_2	2. juhi takistus R_2

4. Võrdle kogu lõigu takistust R kahe takistuse summaga $R_1 + R_2$.
5. Võrdle kahest juhist koosneva lõigu kogupinget U üksikute juhtide pingete summaga $U_1 + U_2$.

9. Juhtide paralleelühenduse uurimine.

Töövahendid: vooluallikas (taskulambipatarei või leelisakumulaator), kaks nikeliinspiraali, laboratoorne voltmeeter ja ampermeeter, lüliti, ühendusjuhtmed.

Töö käik.

1. Koosta vooluring vastavalt joonisel 91, *b* toodud skeemile.
2. Mõõda pinge paralleelselt ühendatud juhtide otstel.
3. Lülita ampermeeter vooluringi hargnemata ossa ja seejärel üksikutesse harudesse ning mõõda vastavad voolutugevused. Mõõtmistulemused märgi tabelisse.
4. Saadud andmete põhjal arvuta hargmiku ja üksikute harude takistuste keskmised väärtused.

Pinge hargmikul U	Voolutugevus hargnemata osas I	Voolutugevus 1. harus I_1	Voolutugevus 2. harus I_2	Hargmiku kogutakistus $R = \frac{U}{I}$	1. haru takistus $R_1 = \frac{U}{I_1}$	2. haru takistus $R_2 = \frac{U}{I_2}$

5. Võrdle harude voolutugevuste summat $I_1 + I_2$ hargnemata osa voolutugevusega I.

Kas katse kinnitab valemi $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ õigsust?

10. Elektrilampi läbiva voolu võimsuse määramine.

Töövahendid: vooluallikas (taskulambipatarei või leelisakumulaator), taskulambipirn alusel, ampermeeter, voltmeeter, lüliti, juhtmed.

Töö käik.

1. Koosta vooluring vooluallikast, lambist ja lülitist. Voolutugevuse määramiseks ühenda lambiga järjestikku ampermeeter.
2. Mõõda voltmeetriga pinge lambi klemmidel.
3. Joonista vihikusse vooluringi skeem ja märgi üles mõõteriistade näidud.
4. Arvuta voolu võimsus lambis.
5. Kontrolli, kas saadud võimsus ühtib lambile märgitud võimsusega.

11. Elektrisoojendusriista kasuteguri määramine.

Töövahendid: keeduplaat, nõu veega, kaalud või mensuur (ühine kogu klassile), laboratooriumitermomeeter (ühine kogu klassile), kell.

Töö käik.

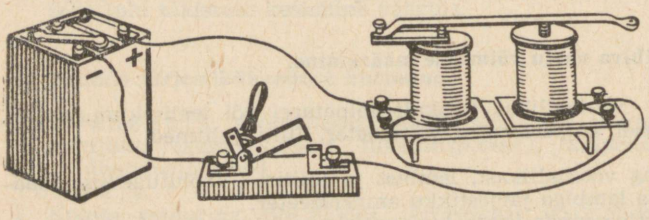
1. Vala keedunõusse mingi kogus vett ja määra selle mass. Mõõda ja märgi üles vee temperatuur. Lülita elektrisoojendusriist vooluvõrku ja soojenda vett keemiseni. Märgi üles aeg, mis kulus vee soojendamiseks.
2. Teades elektrisoojendusriista võimsust (see on märgitud riista passi) ja vee soojendamiseks kulunud aega, arvuta voolu töö džaulides.
3. Arvuta džaulides soojushulk, mis kulus vee soojendamiseks (vee mass ja alg- ning lõpptemperatuur on teada).
4. Arvuta elektrisoojendusriista kasutegur (protsentides).

Elektrisoojendusriista kasuteguriks nimetatakse vee soojendamiseks kulunud soojushulga ja voolu töö suhet.
Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjuta tabelisse.

Vee mass (kg)	Vee algtemperatuur (°C)	Soojendamise aeg (s)	Riista võimsus (W)	Voolu töö (J)	Soojushulk (J)	Kasutegur (%)

12. Elektromagneti kokkupanek ja katsetamine.

T ö ö v a h e n d i d: vooluallikas, reostaat, lüliti, ühendusjuhtmed, kompass, elektromagneti osad.
T ö ö k ä i k.
1. Koosta vooluring patareist, poolist ja lülitist. Sule vooluring ja määra kompassi abil pooli magnetpoolused.
2. Nihuta kompass piki pooli mõttelist telge sellisele kaugusele, kus pooli mõju kompassi nõelale on tühine. Aseta pooli sisse raudsüdamik ja vaatle, kuidas mõjub elektromagnet kompassi nõelale. Tee sellest järeldus.
3. Pane valmisdetailidest kokku hobuserauakujuline elektromagnet. Elektromagneti poolid ühenda järjestikku, nii et nende vabades otstes tekiksid erinimelised poolused. Kontrolli pooluseid kompassi abil.



Joon. 174.

13. Elektromagnetilise relee koostamine ja katsetamine.

T ö ö v a h e n d i d: detailid elektromagneti koostamiseks, kaks vooluallikat, taskulambipirn alusel, lüliti, ühendusjuhtmed.
T ö ö k ä i k.
1. Koosta vastavatest osadest elektromagnetiline relee (joon. 174). Proovi relee töötamist, ühendades sellega vooluallika ja lüliti.
2. Koosta avatud sekundaarvooluring, millesse kuuluks valgustusvõrku ühendatud lamp.
3. Monteeri kohale kontakt, mis sulgub vetruva ankru abil.
4. Sule ja ava lülitiga relee vooluringi ja vaatle nähtusi, mis toimuvad sekundaarvooluringis.
5. Joonista katse skeem vihikusse.

14. Magneti omaduste tundmaõppimine ja magnetspektrite vaatlemine.

T ö ö v a h e n d i d: kaks sirgmagnetit, magnetnõel, sõel (aukudega karp) rauapuruga, pehme raudtraadi tükikesed, papitükk.

Töö käik.

1. Aseta lauale raudnael, pliiats, kumm, klaasitükk, alumiiniumitükk, paberit jmt. Lähendades neile kõigile järgemööda magnetit, tee kindlaks, milliseid materjale magnet külge tõmbab.
2. Kontrolli, kas magneti poolused tõmbavad esemeid kõige tugevamini.
3. Aseta lauale sirgmagnet ja selle peale papitükk. Raputa papile rauapuru ja koputa papitükki kergelt sõrmega. Vaatle tekkinud magnetspektrit ja joonista see vihikusse.
4. Samuti tekita kahe samanimelise ja kahe erinimelise pooluse magnetspektrid. Joonista nende magnetspektrite kujud vihikusse.

15. Alalisvoolumootori kokkupanemine ja katsetamine.

Töövahendid: hobuserauakujuline magnet, ankur kollektoriga, puust alus, harjad, laagritega toed, ühendusjuhtmed, vooluallikas.

Töö käik.

1. Pane kokku elektrimootori mudel.
2. Lülita vool sisse ja pane ankur pöörlema. Kui ankur ei hakka pöörlema, leia viga ja kõrvalda see. Kollektorit saab telje otsas pöörata. Pöörates kollektorit, leia talle magnetväljas ankru suhtes kõige sobivam asend.

Harjutuste vastused.

Harjutus 5. **4.** a) $\approx$ 140 000 J; b) 740 cal; c) 75 000 000 J.
5. a) $\approx$ 7 400 000 J; b) 3,5 kcal; **6.** 200 000 000 kcal.
Harjutus 6. **3.** 105 000 kcal; 1300 kcal.
Harjutus 7. **6.** 60 000 J; **7.** 1,3 °C.
Harjutus 8. **3.** Ei. **4.** Võib.
Harjutus 9. **3.** 1 400 000 J; **4.** 500 000 J; **5.** 10 000 kcal; **6.** 520 kcal.
Harjutus 11. **4.** $\approx$ 81 kcal; **5.** 3200 kcal; **6.** $\approx$ 2 700 000 J;
7. $\approx$ 2,4 kg.
Harjutus 13. **2.** 6 prootonit ja 6 neutronit.
Harjutus 16. **1.** 90 C; **2.** 300 C; **3.** 144 000 C; **4.** $6 \cdot 10^{18}$ elektroni.
Harjutus 18. **1.** 4 V; **2.** 1 A.
Harjutus 19. **1.** 5 Ω; **2.** $\approx$ 290 Ω; **3.** $\approx$ 25 Ω.
Harjutus 20. **1.** 2 A; **2.** $\approx$ 130 V; **3.** 15 000 Ω; **4.** 12,5 Ω; **5.** 0,01 A.
Harjutus 21. **1.** Esimese juhtme takistus on 8 korda väiksem kui teise juhtme takistus. **2.** Esimese juhtme takistus on teise omast 2 korda suurem. **3.** 1,0 m; **4.** 1,7 korda; **5.** 60 V; $\approx$ 120 m; **6.** 4 A.
Harjutus 22. **4.** 150 m; **5.** 0,5 A.
Harjutus 23. **1.** 0,8 V; 1,2 V; 2 V; **2.** $I_1 = I_2 = I_3 = 0{,}5$ A; 1 V; 2 V; 3 V; **4.** 63,5 V.
Harjutus 24. **1.** 5 Ω; **2.** 1 A; 0,5 A; 1,5 A; **3.** 1 A.
Harjutus 25. **1.** 10 800 J; **2.** $\approx$ 260 J; **3.** 6000 J.
Harjutus 26. **1.** $\approx$ 76 W; **2.** 660 W; **3.** 120 W.
Harjutus 27. **1.** $\approx$ 0,5 A; $\approx$ 0,3 A; **2.** Suureneb. **3.** $\approx$ 74%; **4.** 40-W lambi spiraali takistus on suurem kui 60-W lambi spiraali takistus.
Harjutus 28. **1.** 900 000 J; **6.** $\approx$ 1 000 000 J.

Kordamisülesanded.

SOOJUSNÄHTUSED.

Soojusülekanne ja töö.

1. Browni liikumine (vees lahustatud väikeste värviosakeste liikumine) on üheks soojusliikumise näiteks. Milliste tunnuste põhjal võib seda öelda?
2. Sooja tuppa toodi väljast korgiga suletud pudel. Mõne aja pärast hüppas kork pudelilt. Miks?
3. Kummipall kukkus teatud kõrguselt. Pärast põrget vastu maapinda tõusis pall uuesti üles. Millised energia muundumised siin toimusid? Miks ei tõusnud pall endisele kõrgusele?
4. Miks viiliga töötamisel viil ja detail soojenevad?
5. Miks metalli kiirtöötlemisel kuumeneb lõiketera rohkem kui tavalisel töötlemisel?
6. Alumiinium- ja portselankruusi kallati keeva vett. Miks kruuside kõrvad soojenevad erinevalt? Miks alumiiniumkruusi äär põletab suud, portselankruusi oma aga mitte?
7. Miks kaitsevad vatimantel ja karvamüts inimese keha nii külma kui ka kuuma eest?
8. Piima jahutamiseks asetati see kruusiga jääle. Miks piima kiiremaks jahutamiseks tuleb seda segada?
9. Miks soojeneb küntud põld päikesekiirtest rohkem kui roheline aas?
10. Miks tunneb küdeva ahju suu ees istuv inimene ahjuukse sulgemisel kohe külma?
11. Teadlased püüavad luua Maa tehiskaaslaste jaoks spetsiaalse koostisega kattematerjale. Need katted peaksid soojenemisel ja jahtumisel oma värvi muutma. Temperatuuri tõusmisel omandaks selline kate heledama, temperatuuri langemisel jälle tumedama tooni. Milleks on selliste omadustega kattematerjalid vajalikud?
12. Kummas ämbris soojeneb vesi päikesepaistel kiiremini, kas lahtises või klaasiga kaetud ämbris?
13. Leidke tabelist vee erisoojus. Nimetage soojushulgad, mis on vajalikud 1 kg vee temperatuuri tõstmiseks 2, 10 ja 100 °C võrra. (Vasta suuliselt.)
14. Kui suur soojushulk on vajalik, et tõsta 3, 4 ja 10 kg vee temperatuuri 1 °C võrra? (Vasta suuliselt.)
15. Kui palju kulub soojust, et tõsta 30-kilogrammise metalldetaili temperatuuri 20-lt kuni 1120 °C?
16. Kui palju soojust kulus $4 \times 5 \times 3$ m^3 suuruse toa õhu temperatuuri tõstmiseks 10-lt kuni 20 °C (soojuskadusid ei arvestata)? Õhu erisoojus on 0,24 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$.
17. Lõiketera otsas on keraamiline plaadike massiga 12 g. Metalli kiirtöötlemisel kuumenes plaadike 1000 °C. Millisel viisil suurenes plaadikese siseenergia? Mitme džauli võrra suurenes plaadi siseenergia? See plaadike on valmistatud ainest, mille erisoojus on 590 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$.
18. Raudkatel massiga 1,5 kg mahutab 2 liitrit vett. Kui palju kulub soojust katlatäie 0-kraadise vee soojendamiseks temperatuurini 80 °C?
19. Kui palju 20-kraadist vett võib keema ajada, andes sellele 640 kcal soojust?
20. Telliskiviahi soojendab toas olevat õhku (vt. ülesanne 16). Mitme kraadi võrra jahtus seejuures ahi, kui ahju mass on 800 kg?

21. Ämbrisse on valatud 5 liitrit vett, mille temperatuur on 9 °C. Kui palju tuleb ämbrisse lisada keeva vett, et segu temperatuur oleks 30 °C?
22. Töötamisel kuumenes teraspuur temperatuurini 100 °C. Kui palju soojust andis 90-grammine puur ära jahtumisel endise temperatuurini? Millisel teel suurenes ja millisel teel vähenes puuri siseenergia?
23. Terasdetaili töötlemisel lihvimispingil kulutati mehhaanilist tööd 575 000 J. 40% sellest kulus 10-kilogrammise detaili soojenemiseks. Mitme kraadi võrra soojenes detail?
24. Kasutades tabelit, milles on antud mitmesuguste kütuste küttevääртused, loetlege (suuliselt), kui palju eraldub soojust järgmiste kütusekoguste põlemisel: a) 2 kg puid, b) 1,5 kg pruunsütt, c) 1 t antratsiiti ja d) 500 g bensiini.
25. Veepaagi soojendamiseks on vaja kulutada 10 000 kcal soojust. Palju on selleks tarvis põletada a) puusütt, b) maagaasi, c) petrooleumi?
26. Et hoida eluruumides normaalset temperatuuri, kulub ööpäevas 24 000 kcal soojust. Seejuures läheb ruumide soojendamiseks ainult 30% kütuse põlemisel vabanevast soojusest. Kui palju puid tuleb ööpäeva jooksul ahjus põletada, et hoida ruumides normaalset temperatuuri?
27. Kui palju 0-kraadist vett saab soojendada temperatuurini 55 °C, kui selleks kulutada kogu 1 kg petrooleumi põlemisel vabanev soojus?
28. Priimusel aeti keema (100 °C) 2 liitrit 12-kraadist vett, kusjuures põletati 50 g petrooleumi. Kui palju soojust sai vesi ja kui palju soojust eraldus 50 g petrooleumi põlemisel? Miks need soojushulgad pole võrdsed? Millise osa petrooleumi põlemisel vabanevast soojushulgast moodustab vee soojendamiseks kulunud soojushulk?

Aine agregaatoleku muutumine.

29. Kui palju kulub soojust, et sulatada a) 500 g lund, mille temperatuur on 0 °C, b) 200 g naftaliini, mille temperatuur on 80 °C, c) 10 kg tina, mille temperatuur on 232 °C? Naftaliini sulamissoojus on 36 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.
30. Kui palju kulub soojust 2 kg 0-kraadise lume sulatamiseks 40-kraadise temperatuuriga veeks?
31. Kui suur soojushulk on vajalik, et sulatada a) 2 kg massiga tinatükk, mille temperatuur on —10 °C, b) 50 g massiga jäätükk, mille temperatuur on —10 °C? Tina erisoojus on 0,055 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$.
32. Sulatusahjus sulatati 1,5 t vanarauda, mille algtemperatuur oli 20 °C. Kui palju kulus selleks soojust? Kui palju koksi oli vanaraua sulatamiseks tarvis põletada, kui vabanevast soojushulgast läks sulatamise tarbeks vaid 60%? Koksi küttevääртus on 7000 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.
33. Miks muutub alati pärast vihma veidi jahedamaks?
34. Miks kummeeritud riietes on kuumust raskem taluda kui tavalises riietuses?
35. Miks puud põlemisel praksuvad?
36. Kui palju on tarvis soojust, et normaalrõhul muuta auruks a) 200 g vett temperatuuriga 100 °C, b) 10 g piiritust temperatuuriga 78 °C, c) 2 g eetrit temperatuuriga 35 °C?
37. Kui palju kulub soojust, et muuta normaalrõhul auruks a) 0,5 kg vett temperatuuriga 20 °C, b) 100 g piiritust temperatuuriga 18 °C, c) 5 g eetrit temperatuuriga 5 °C? Eetri erisoojus on 0,56 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$.

38. 200 g massiga jäätüki temperatuur on 0 °C. Kui palju kulub soojust, et see jäätükk sulatada ja tekkinud vesi keema ajada?
39. Veeaur, mille temperatuur on 100 °C, kondenseerub ja tekkinud vesi jahtub temperatuurini 0 °C. Kui suur soojushulk seejuures eraldub? Auru mass on 1 kg.

Soojusmasinad.

40. Miks peab sisepõlemismootori silindreid töötamise ajal jahutama, kuid auruturbiini ümbritsevat silindrit mitte?
41. Miks varustatakse neljataktiline sisepõlemismootor massiivse hooratta-ga? Miks võib neljasilindrilise sisepõlemismootori hooratas olla väiksem kui ühesilindrilisel?
42. Mootorvedur TƏ-3 teeb tunnis tööd 8 000 000 kJ. Selle aja jooksul kulutab ta 800 kg diislikütust, mille kütteväärtus on $4 \cdot 10^7 \frac{J}{kg}$. Määrake selle diiselmootori kasutegur.

ELEKTER.

Aatomi ehitus.

43. Kuidas teha kindlaks elektriseeritud hülsi laengu märk, kui on kasutada pleksiklaasist pulk ja tükike karusnahka?
44. Et anda elektriseeritud klaaspulgalt osa laengut elektroskoobile, puudutas üks õpilane selle pulgaga elektroskoopi. Teine õpilane tegi sama katse nii, et tõmbas pulgaga pikalt üle elektroskoobi kuuli. Kummal juhul saab elektroskoop suurema laengu? Miks? Vastake samale küsimusele juhul, kui elektroskoobile antakse laeng metallpulgaga.
45. Vaadelge liitiumi aatomi ehituse skeemi (joon. 53). Miks on aatom tervikuna neutraalne, kuigi tuumal on elektrilaeng?
46. Hapniku aatomi tuumas on 8 prootonit ja 8 neutronit. Milline on hapniku aatomi ehitus tervikuna? Millisel juhul muutub hapniku aatom negatiivseks iooniks?
47. Elektriseerimisel hõõrumise teel läheb osa elektrone ühelt kehalt üle teisele. Miks muutub seejuures väga vähe elektriseeritavate kehade mass?
48. Kaks elektroskoopi on ühendatud metallvardaga, mille keskel on isoleerivast ainest käepide (joon. 50). Kuidas saaks ühe elektriseeritud pulgaga laadida need elektroskoobid erinimeliste laengutega? Kirjeldage, kuidas liiguvad elektronid elektroskoopide laadimise ajal.
49. Kas laadimata kehal on elektrilaenguid? Mille poolest erineb laetud keha laadimata kehast?

Voolutugevus, pinge, takistus.

50. Laadimata elektroskoop ühendati laetud elektroskoobiga metallvarda abil (joon. 50). Kas vardas tekib elektrivool? Kas see vool kestab pikka aega? Millisel teel saaks hoida vardas voolu pikema aja jooksul?
51. Kas me saame galvaanielemendi, kui laseme happe või soola lahusesse kaks tsinkplaati?
52. Vooluring koosneb patareist ja kahest lambist, mida saab sisse lülitada teineteisest sõltumatult. Joonista sellise vooluringi skeem.
53. Haiglas asub valveõe toas elektrikõlisti. Joonistage skeem vooluringist, mis võimaldab kella helistada kolmest erinevast palatist.

54. Kui vool läbib vaskvitrioli, siis eraldub ühel plaadil puhas vask. Kui aga vool läbib vaskjuhet, siis mingisugust vase ümberkandumist ei teki. Miks?

55. Et saada katoodil puhast hõbedat, lastakse läbi hõbenitraadi lahuse elektrivool. Millised protsessid toimuvad seejuures lahuses? Kuidas on võimalik kiirendada hõbeda eraldumist katoodile? Põhjendage seda.

56. Hõbenitraadi lahust läbis 500 C elektrit. Kui palju eraldus lahusest hõbedat, kui 1 C läbimisel eraldub 1,118 kg hõbedat?

57. Kui palju hõbedat eraldub hõbenitraadi lahusest 0,5 tunni jooksul voolutugevusel 100 A (vt. eelmine ülesanne)?

58. Määrake joonisel 80, *a* kujutatud ampermeetri ja voltmeetri ühe jaotuse väärtus.

59. Kui suur elektrihulk läbib joonisel 80, *a* kujutatud ampermeetrit 10 minuti jooksul?

60. Erinevate metallide ruumalaühikud sisaldavad erineva arvu vabu elektrone. Kas see erinevus peegeldub ka metallide eritakistustes? Miks?

61. Leidke tabelist raua eritakistus. Ütelge, millega võrdub 1 mm^2 ristlõikega raudtraadi takistus, kui traadi pikkus on: a) 2 m, b) 10 m, c) 100 m.

62. Määrake (peast) 1-meetrise raudtraadi takistus, kui ristlõige on: a) 2 mm^2, b) 4 mm^2, c) 0,5 mm^2, d) 0,01 mm^2.

63. Spetsiaalsel pingil venitatakse traati nii, et see muutub kaks korda pikemaks ja kaks korda peenemaks. Kuidas muutub venitamise tagajärjel selle traadi takistus?

64. Arvutage vasktraadi takistus, mille pikkus on 9 km ja ristlõike pindala 60 mm^2.

65. Arvutage ja võrrelge alumiinium- ja nikroomjuhtme takistust, kui kummagi pikkus on 10 m ja ristlõike pindala 0,2 mm^2.

66. Mitu meetrit 0,2 mm^2 ristlõikega nikeliintraati on tarvis, et valmistada reostaat takistusega 30 Ω?

67. Ühte ja samasse vooluvõrku lülitati hõõglamp, pliit ja ventilaator. Miks neid läbib erineva tugevusega vool?

68. Elektrivõrku, milles pinge on 120 V, on lülitatud elektriteekann ja laualamp. Teekannu spiraali takistus on 22 oomi, lambi hõõgniidi takistus aga 240 oomi. Määrake voolutugevus teekannus ja hõõglambis.

69. Reostaat on valmistatud nikeliintraadist, mille pikkus on 40 m ja ristlõike pindala 0,5 mm^2. Pinge reostaadi klemmidel on 80 V. Kui tugev on reostaati läbiv vool?

70. Elektrihõõglamp, mille takistus on 240 oomi, põleb normaalselt voolutugevusel 0,5 A. Kui suur on pinge lambi klemmidel?

71. Määrake pingelang 200 km pikkuses telegraafiliinis, kui juhtmeteks on 12 mm^2 ristlõikega raudtraat ja voolutugevus liinis on 0,01 A.

72. Kaks hõõglampi, kumbki takistusega 240 oomi, on ühendatud järjestikku 220 V pingega valgustusvõrku. Leida voolutugevus kummaski lambis.

73. Näärikuuse ehtimiseks kasutatakse väikseid 20-oomiseid lampe, mis tarbivad voolu 0,3 A. Kui palju selliseid lampe tuleb kuuse ehtimisel ühendada järjestikku, et kogu ahela võiks lülitada 220 V pingega võrku?

74. Kaks juhti takistustega 5 ja 20 oomi on ühendatud paralleelselt 40 V pingega vooluvõrku. Määrake voolutugevus kummaski juhis.

75. Kaks hõõglampi takistustega 200 ja 300 oomi on ühendatud paralleelselt. Leidke voolutugevus teises lambis, kui esimeses on see 0,6 A.

Voolu töö ja võimsus.

76. Kui suur on 10 minuti jooksul voolu poolt tehtud töö hõõglambi läbimisel, kui voolutugevus vooluringis on 0,5 A ja pinge lambi klemmidel 127 V?
77. Määrake elektrivoolu võimsus lambis, mis pingel 220 V tarbib voolu tugevusega 0,25 A.
78. 20-oomise takistusega elektrimootor lülitatakse 220 V pingega vooluvõrku. Määrake voolu töö mootoris 8 tunni jooksul.
79. Kaks paralleelselt ühendatud hõõglampi, mille võimsused on vastavalt 100 W ja 25 W, lülitati vooluvõrku, mille pinge on 220 V. Määrake voolutugevus kummaski lambis. Kumma lambi hõõgniidi takistus on suurem?
80. Leidke voolu töö maksumus ühe tunni jooksul järgmiste elektririistade kasutamisel: a) triikraud võimsusega 300 W, b) hõõglamp võimsusega 60 W, c) televiisor võimsusega 220 W. 1 kWh elektrienergiat maksab 4 kopikat.
81. Miks kuumenevad elektripliidi spiraali peenemad kohad rohkem?
82. Kui palju soojust eraldub 20 minuti jooksul elektriteekannu spiraalist takistusega 100 Ω, kui kann on lülitatud vooluvõrku, mille pinge on 220 V? Leia teekannu valatud vee mass, kui selle aja jooksul hakkas 20-kraadine vesi keema.
83. Kremli tähes asuva hõõglambi võimsus on 5000 W. Kui palju soojust eraldub sellisest lambist ühe tunni jooksul? (Neid lampe jahutatakse spetsiaalsete ventilaatorite abil.)

Elektromagnetilised nähtused.

84. Kuidas saab magnetiga eraldada rauapuru vasepurust? Miks on see võimalik?
85. Kahest terasnõelast on üks magneeditud. Kuidas teha kindlaks, kumb nõel on magneeditud, kui selleks on kasutada ainult need kaks nõela?
86. Kuidas asetuksid magneeditud nõelad, kui panna need vees ujuvatele korkidele?
87. Kui lähendada kompassile magnet, kaldub kompassinõel oma esialgsest asendist kõrvale. Kas kompassinõel kaldub kõrvale ka siis, kui talle lähendada raudvarb, vaskvarb?

Kordamisülesannete vastused.

13. 8400 J; 42 000 J; 420 000 J.
14. 12 600 J; 16 800 J; 42 000 J.
15. 15 200 000 J.
16. 186 kcal.
17. 7100 J.
18. 730 000 J.
19. 8 kg.
20. 1,3 °C.
21. 1,5 kg.
22. 990 cal.
23. 50 °C.
24. a) 5000 kcal; b) 4500 kcal; c) 8 000 000 kcal; d) 5500 kcal.
25. a) 1,4 kg; b) 0,96 kg; c) 0,91 kg.
26. ≈ 32 kg.
27. 200 kg.
28. 176 kcal; 550 kcal; 32%.
29. a) 40 kcal; b) 7,2 kcal; c) 140 kcal.
30. 240 kcal.
31. a) 52 kcal; b) 4,2 kcal.
32. 350 000 kcal; 83 kg.
36. a) 108 kcal; b) 2,04 kcal; c) 170 cal.
37. a) 310 kcal; b) 24 kcal; c) 500 cal.
38. 364 kcal.

39. 639 kcal.
42. 25%.
56. 0,56 g.
57. 200 g.
61. a) 0,2 Ω; b) ≈ 1 Ω; c) ≈ 10 Ω.
62. a) 0,05 Ω; b) 0,025 Ω; c) 0,2 Ω; d) 10 Ω.
63. Suureneb 4 korda.
64. ≈ 2,6 Ω.
65. 1,4 Ω ja 55 Ω.
66. 15 m.
68. ≈ 5,5 A; 0,5 A.
69. 2,5 A.
70. 120 V.
71. 16 V.
72. $I_1 = I_2 \approx 0{,}5$ A.
73. 37 tükki.
74. 8 A ja 2 A.
75. 0,4 A.
76. ≈ 38 000 J.
77. 55 W.
78. ≈ 19 kWh.
79. 0,5 A ja 0,125 A.
80. a) 1,2 kop.; b) 0,24 kop.; c) 0,88 kop.
82. ≈ 580 000 J; ≈ 1,7 kg.
83. ≈ 4300 kcal.

Aatom 72—74
aatomielektrijaam 162, 165
aatomienergia 165
aatomituum 72, 73
agregaatolek 32
akumulaator 81—82
alalisvoolumootor 152
α-kiirgus 164
α-osake 70—72, 164
amorfne keha 34
Ampère, A. M. 92, 143
amper 91
ampermeeter 93
anood 86
aurustumine 44—45
aurustumissoojus 51
auruturbiin 57

β-kiirgus 164

Coulomb 92
Curie, M. 163
Curie, P. 163

Deklinatsiooninurk 146
džaul (J) 122

Edison, T. 129
energia jäävuse ja muundumise seadus 29
energia muundumine ühest liigist teise 4—6
elektrifitseerimine 161
elektrihulga ühik 92
elektrihulk 90
elektrijuht 76
elektrilaeng 61, 63
elektrilaengu jagatavus 67—68
elektrimootor 152
elektrimootori ankur 153
— kollektor 151
elektriseerimine 61, 62
elektrisoojendusriist 130
elektrivool 78, 84, 86
elektrivoolugeneraator 59, 82, 158
elektrivoolu töö 121—122
elektriväli 66
elektrolüüt 85
elektromagnet 139
elektromagnetiline induktsioon 157
elektromagnetiline relee 142
elektron 61, 69—70, 72—75, 143
elektroskoop 64—65
erisoojus 23—24
eritakistus 109

Faraday, M. 155, 157
fotoefekt 69, 79
fotoelement 80

Galvanomeeter 87—88
galvaanielement 80—81
γ-kiirgus 164

Hüdrogeneraator 160
hüdroelektrijaam 162
hõõglamp 129

Induktsioonivool 157
induktsioonivoolu suund 158
ioon 73—74, 85—86
isolaator 76

Jakobi, B. S. 141, 153, 154
Joffe 68
Joule 128
järjestikühendus 90, 114—116
jäälõhkuja «Lenin» 166

Kalor 22
kasutegur 59—60
katood 86
keemine 50
keemistemperatuur 50
kehade elektriseerimine 61—62, 74—75

kiirgamine 17
kolvikäik 55
kondenseerumine 44, 47
kondenseerumissoojus 47, 50—52
konvektsioon 12—14
kristalliline keha 33—34
kristalliseerumine 35
kruvireegel 135
kulon 92
käändenurk 146
külmutuskapp 48
küteväärtus 27—28

Laetud kehade vastastikune mõju 62—64, 66
Lenz, E. H. 128
Lodõgin, A. N. 129
lühis 131
lüliti 83

Maandamine 75
Maa magnetväli 145—146
magnetiline anomaalia 146
magnetiline poolus 133, 143
magnetite vastastikune mõju 144
magnetjõud 133
magnetväli 134—138
magnetvälja jõujooned 134—138, 156—157
mikrofon 147—148
Millikan 68
Morse 140

Neutron 73

Oersted 133
Ohm, G. S. 105, 106
Ohmi seadus 105
oom 103
oommeeter 120

Paralleelühendus 99, 117—119
parema käe reegel 158
pinge 94—95, 99—100
pingeühikud 96—97
planetaarne aatomimudel 72
prooton 73
püsivmagnetid 143

Raadium 70, 163
Radioaktiivsus 163
reostaat 112—113
rootor 59, 159
Rutherford 70

Sisepõlemismootor 55—56
skeem 83
soojuselektrijaam 162
soojushulk 9, 20—22, 25, 127—128
soojushulga ühikud 22—23
soojusjuhtivus 9—10
soojusliikumine 4
soojusmasin 54
soojusülekanne 9, 21
staator 159
sulamid 43
sulamine 35
sulamissoojus 39—40
sulamistemperatuur 35
sulavkaitsmed 132

Šilling P. L. 140

Tahkestumine 35, 38
tahkestumistemperatuur 35
takistus 102, 107—109
takistusühikud 103
telefon 147—148
telegraaf 140—141
termoelement 79
termos 20
transformaator 163
turbiin 57
turbogeneraator 124, 160
tööühikud 122

Uraan 70, 163

Vabad elektronid 77
vatt 124
vahelduvvool 159
vasaku käe reegel 149
vesikeskküte 16
volt 96—97
Volta, A. 96
voltmeeter 98
vooluallikas 79
vooluallika poolus 79
vooluga juhtide vastastikune toime 91
vooluga pooli magnetväli 137—138
vooluring 83
voolu suund 88—89
voolu toimed 86
— keemiline toime 87
— magnetiline toime 87
— mehhaaniline toime 87
— soojuslik toime 87
voolutugevuse ühikud 91—92
võimsusühikud 124

Sisukord.

SOOJUSNÄHTUSED

Soojusülekanne ja töö

1. Soojusliikumine 3
2. Mehhaanilise energia muundumine siseenergiaks 4
3. Siseenergia 6
4. Keha siseenergia muutmise viisid 7
5. Soojusjuhtivus 9
6. Konvektsioon 12
7. Konvektsioon looduses 14
8. Näiteid konvektsiooni kasutamisest tehnikas . . 15
9. Kiirgamine 17
10. Soojusülekande rakendusi praktikas 19
11. Soojushulk 20
12. Soojushulga ühikud 22
13. Erisoojus 23
14. Keha soojendamiseks vajaliku või jahtumisel eralduva soojushulga arvutamine 24
15. Kütuse energia. Kütteväärtus 27
16. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides 28
17. Päike kui Maa peamine energiaallikas . . . 30

Aine agregaatolekute muutumine

18. Aine agregaatolekud 32
19. Kristallilised kehad 33
20. Amorfsed kehad 34
21. Kristalliliste kehade sulamine ja tahkestumine . 35
22. Kristalliliste kehade sulamise ja tahkestumise graafik 36
23. Amorfsete kehade sulamine ja tahkestumine . 37
24. Sulamine ja tahkestumine aine ehituse molekulaarteooria seisukohalt 38
25. Sulamissoojus 39
26. Aine tahkestumisel vabanev energia 40
27. Soojushulga arvutamise näiteid 41
28. Metallide valamine 42
29. Sulamid ja nende kasutamine tehnikas . . . 43
30. Aurumine ja kondenseerumine 44
31. Tahkete kehade aurumine 45
32. Energia neeldumine vedeliku aurumisel . . . 46
33. Auru kondenseerumine 47
34. Külmutuskapp 48
35. Keemine 49
36. Aurustumis- ja kondenseerumissoojus . . . 50
37. Soojushulga arvutamise näiteid 53

Soojusmasinad

38. Gaasi ja auru töö paisumisel 54
39. Sisepõlemismootor 55
40. Auruturbiin 57
41. Soojusmasina kasutegur 59

ELEKTER

Aatomi ehitus

42. Kehade elektriseerumine nende kokkupuutumisel 61
43. Kahte liiki laengud. Laetud kehade vastastikune mõju 62
44. Elektroskoop 64
45. Elektrivälja mõiste 66
46. Elektrilaengu jagatavus 67
47. Joffe ja Millikani katse. Elektron 68
48. Rutherfordi katse. Planetaarne aatomimudel . . 70
49. Aatomi ehitus 73
50. Kehade elektriseerumise olemus 74
51. Elektrijuhid ja isolaatorid 76

Voolutugevus, pinge ja takistus

52. Elektrivool 78
53. Vooluallikad 79
54. Galvaanielemendid ja akumulaatorid . . . 80
55. Vooluring ja selle osad 82
56. Elektrivool metallides 84
57. Elektrivool elektrolüütides 85
58. Elektrivoolu toimed 86
59. Elektrivoolu suund 88
60. Elektrihulk ja voolutugevus 89
61. Voolutugevuse ja elektrihulga ühikud . . . 91
62. Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine . . . 93
63. Pinge 94
64. Pingeühikud 96
65. Voltmeeter. Pinge mõõtmine 98
66. Voolutugevuse sõltuvus pingest 99
67. Juhtide takistused 101
68. Millest on tingitud juhi takistus 102
69. Takistusühikud 103
70. Ohmi seadus vooluringi osa kohta 104
71. Juhi takistuse arvutamine. Eritakistus . . . 107
72. Valem juhi eritakistuse arvutamiseks 109
73. Näiteid juhi takistuse, voolutugevuse ja pinge arvutamisest 110
74. Reostaadid 112
75. Juhtide järjestikühendus 114
76. Juhtide paralleelühendus 117
77. Takistuse mõõtmine oommeetriga 120

Elektrivoolu töö ja võimsus

78. Elektrivoolu töö 121
79. Elektrivoolu võimsus 123
80. Elektrivoolu töö avaldamine võimsuse kaudu . 125
81. Elektrivoolu töö ja võimsuse arvutamise näited 126
82. Juhtide soojenemine elektrivoolust 127
83. Hõõglamp 129
84. Elektriscojendusriistad 130
85. Lühis. Kaitsmed 131

Elektromagnetilised nähtused

86. Magnetväli 133
87. Sirgvoolu magnetväli. Magnetvälja jõujooned . 134

88. Voolu suund ja tema magnetvälja jõujoonte suund 135
89. Ringvoolu magnetväli 136
90. Vooluga pooli magnetväli 137
91. Elektromagnetid 139
92. Elektritelegraaf 140
93. Elektromagnetiline relee 142
94. Püsivmagnetid 143
95. Magnetite vastastikune mõju 144
96. Püsivmagneti magnetväli 144
97. Maa magnetväli 145
98. Telefon 147
99. Vooluga juhile magnetväljas mõjuv jõud . . 149
100. Vooluga raami pöörlemine magnetväljas . . 150
101. Alalisvoolumootor 152
102. Elektrimootorite kasutamine 154
103. Elektromagnetiline induktsioon 155
104. Induktsioonivoolu suund. Parema käe reegel . . 158
105. Elektrivoolugeneraator 158
106. Nõukogude Liidu elektrifitseerimine 160
107. Radioaktiivsus 163
108. Radioaktiivse kiirguse liigid 164
109. Aatomienergia 165
Laboratoorsed tööd 167
Harjutuste vastused 173
Kordamisülesanded 174
Kordamisülesannete vastused 178
Aineregister 180

Александр Васильевич Пёрышкин, Надежда Александровна Родина. ФИЗИКА ДЛЯ 8-го КЛАССА. На эстонском языке. Перевел с русского Э. Рандма. Художественное оформление А. Сядэ. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja M. Soosaar. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja M. Tammes. Korrektor M. Pohlak.
Laduda antud 19. VI 1970. Trükkida antud 13. VIII 1970. Kohila paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 11,5. Arvestuspoognaid 11,07. Trükiarv 15 000. Tellimuse nr. 3919. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2. Hind 22 kop.

22 коп.

A
30874
4195634

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00419563 4