FÜÜSIKA

TÖÖLISNOORTE KOOLIDELE

VII–VIII KL.

FÜÜSIKA

A-26795

A. TŠENOBÕTOV, J. SAVJOLOVA,
L. SKRELIN

FÜÜSIKA

TÖÖLISNOORTE KOOLIDELE

VII—VIII KLASS

KIRJASTUS «EESTI RAAMAT»
TALLINN 1965

Originaali tiitel:

А. М. Ченобытов, Е. В. Савелова,
Л. И. Скрелин
ФИЗИКА ДЛЯ VII—VIII КЛАССОВ
ВЕЧЕРНЕЙ (СМЕННОЙ) ШКОЛЫ.
Издательство «Просвещение».
Москва. 1964.

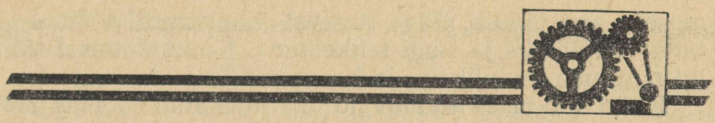
Peatükid VIII, XIX ja XXII on kirjutanud V. Lissovski.

Tõlkinud R. Siirak.

Kaane kujundanud R. Pangsepp.

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt.

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU



I PEATÜKK.

ALGTEADMISI FÜÜSIKALISTEST NÄHTUSTEST JA SUURUSTEST.

§ 1. FÜÜSIKA AINE.

Te olete vaadelnud äikest rohkem kui ühe korra. Aga kas te olete sel ajal mõelnud, miks moodustuvad äikesepilved, mis uhavad maapinna üle ägedate vihmahoogudega? Miks lööb välku ning mispärast saadab silmipimestavat välgusähvatust võimas kõuemürin?

Ja kas te teate, miks hiiglaslik ookeanilaev ujub veepinnal, nael aga upub? Miks kukub ülesvisatud kivi maapinnale tagasi, Maa kunstlikud kaaslased tiirlevad aga palju kuid ümber Maa?

Kas teie suudate selgitada, kuidas levib inimkõne ja muusika raadio kaasabil tuhandete kilomeetrite kaugusele?

Selleks et vastata neile ja paljudele teistele küsimustele, on vaja tunda füüsikat.

Füüsika on üks nendest teadustest, mis uurivad loodust. Kreeka keeles tähendab sõna *physis* loodust.

Kõiki meid ümbritsevaid esemeid — maju, taimi, merd, planeete, kaugeid tähti, tööriistu, koduses majapidamises kasutatavaid esemeid jne. — nimetatakse füüsikas *füüsikalisteks kehadeks* ehk lihtsalt *kehadeks.* Kehad koosnevad *ainest.* Teras, tsement, vesi, alumiinium, puit, plastmassid, õhk — kõik need on mitmesugused ained.

Aine esineb looduses harilikult kolmes erinevas olekus — tahkes, vedelas või siis gaasilises. Olenevalt keha olekust on tegemist kas tahke keha, vedeliku või gaasiga.

Tahketel kehadel on kindel kuju ja jääv ruumala. *Vedelikel* on küll jääv ruumala, kuid puudub kindel kuju. Vedelikel on nende anumate kuju, milles nad asuvad. *Gaasidel* pole ei kindlat kuju ega ka ruumala. Kõik gaasid paisuvad ning täidavad täielikult ruumi, kuhu nad on paigutatud.

Tingimustest sõltuvalt võib iga aine olla mitmesugustes olekutes. Nii näiteks muutub vesi kuumutamisel auruks, jahtumise tule-

musena aga jäätub. Väga tugeval jahutamisel võivad gaasid muutuda vedelikeks ja isegi tahkestuda. Kuumutamisel võivad metallid muutuda vedelikeks ja ka gaasideks.

Kõiki looduses toimuvaid muutusi nimetatakse *loodusnähtusteks.*

Füüsika uurib lihtsamaid loodusnähtusi ja nimelt:

mehhaanilisi nähtusi, mis on seotud kehade või nende osade ümberpaiknemisega teiste kehade suhtes (rongi liikumine, raketi lend, mitmesuguste esemete stantsimine vastavate presside abil — need on mehhaaniliste nähtuste kõige tavalisemad näited; välgulöögiga kaasnev kõuemürin, muusika — need on aga spetsiaalsed mehhaanilised nähtused, mida nimetatakse häälenähtusteks);

soojusnähtusi, mis on seotud kehade soojenemise või jahutamisega (terase sulatamine martäänahjus, automootori töötamine, keevitamine — kõik need on soojusnähtused);

elektrilisi ja magnetilisi nähtusi, mis on seotud elektrivooluga juhtides (elektrivalgustus, elektrimootorid ja nende töötamine, telefoniside — need on teile tuttavad elektri- ja magnetilised nähtused);

valgusnähtusi, mis on seotud valguse levimisega ja tajumisega inimese poolt (kas vaatlete tööjoonist või töödeldavat eset, jälgite filmi või vaatlete vikerkaart — kõikide nende protsesside juures puutute te kokku valgusnähtustega);

aatomite sisemuses toimuvaid nähtusi, mis seisnevad kõigi ainete väikseimates koostisosades toimuvates muutustes (sellistel nähtustel põhinevad jäälõhkuja «Lenin» ja aatomielektrijaamade energiaallikad).

Loetletud loodusnähtusi nimetatakse *füüsikalisteks nähtusteks.*

Füüsika kui teaduse ülesandeks on *uurida* füüsikalisi nähtusi, see tähendab kindlaks teha nende nähtuste toimumise seaduspärasused; *välja selgitada,* miks antud nähtus toimub just nii, aga mitte teisiti; *näidata* füüsikaliste nähtuste ja seaduste praktilise kasutamise teid.

Füüsikaliste nähtuste tundmaõppimise põhilisteks moodusteks on vaatlus ja katse.

Vaatlus kujutab endast nähtuse tundmaõppimist looduslikes tingimustes. *Katse* on nähtuse tundmaõppimine kunstlikult loodud tingimustes. Katsete korraldamine võimaldab teadlastel aktiivselt vahele segada nähtustele, muuta nende toimumiseks vajalikke tingimusi ning sel teel välja selgitada põhjusi, mis ühe või teise nähtuse esile kutsuvad.

Nähtuste katseline tundmaõppimine lubab teadlastel püstitada selgitavaid oletusi (*hüpoteese*) nähtustevaheliste seoste olemuse kohta ning ennustada uusi, seni tundmatuid nähtusi. Selliste teaduslike hüpoteeside õigsust kontrollitakse arvukate uute katsete ja vaatlustega. Kui selline kontroll kinnitab püstitatud hüpoteesi, siis on see tegelikkusele vastav. Tegelikkusele vastavat hüpoteesi

nimetatakse *füüsikaliseks teooriaks*. Teooria selgitab juba suurt hulka lähedasi nähtusi.

Füüsika on kaasaegse tehnika alus. Tänapäeva tööstuses kasutatakse ulatuslikult mitmesuguseid füüsikalisi nähtusi ja nende seaduspärasusi. Füüsika saavutustel baseerub töömahukate protsesside mehhaniseerimine ja tootmise automatiseerimine. Uusimaid avastusi elektri ja aatomifüüsika valdkonnas rakendatakse kiiresti tehnikas ning otse meie silma all toimub tootmise ja inimeste töö muutumise protsess.

Selleks et mõista seda, kuidas on ehitatud ning töötavad mitmesugused masinad, selleks et teadlikult juhtida kaasaja tehnilisi seadmeid, on vaja tunda füüsika seadusi.

§ 2. MÕÕTMISE OSAST FÜÜSIKAS JA TEHNIKAS.

Teaduses, tehnikas ja igapäevases töös on inimestel vaja läbi viia mitmesuguseid mõõtmisi. Ilma mõõtmiseta ei saa valmistada mitte ühtegi tööpinki ega masinat, ei saa ehitada sildu ega hooneid. Taevakehade liikumise tundmaõppimisel on tarvis mõõta tähtede kaugusi, mõõtmeid ning liikumiskiirusi. Mingisuguse detaili valmistamisel tuleb mõõta selle suurust. Terase sulatamisel tuleb mõõta martäänahju paigutatava metalli ja teiste materjalide kogust, temperatuuri kõrgahjus jne.

Füüsikaliste nähtuste tundmaõppimisel on vaja mõõta *füüsikaliste suuruste* väärtusi. Teile tuttavateks füüsikalisteks suurusteks on pikkus, pindala, ruumala, aeg, liikumise kiirus, jõud, temperatuur.

Mõõta füüsikalist suurust tähendab võrrelda seda teise sama tüüpi suurusega, mis on võetud ühikuks. Võrdlemise tulemus väljendatakse arvuna.

On täiesti selge, et võrrelda saab ainult ühte tüüpi suurusi — pikkust pikkusega, aega ajaga jne.

Iga füüsikalise suuruse mõõtmiseks on valitud oma mõõtühik. Nii näiteks mõõdetakse füüsikas aega sekunditega, pikkust meetritega jne. Mõõtühikud on paljudel juhtudel valitud meelevaldselt, kuid seejuures mitte juhuslikult. Valitud mõõtühik peab olema praktikas hõlpsasti kasutatav ning vajaduse korral kergesti taastatav.

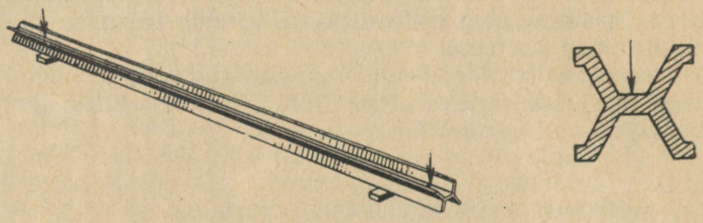
§ 3. PIKKUSE MÕÕTMINE.

Mõõta eseme pikkust tähendab võrrelda seda mingi lõigu pikkusega, mis on võetud ühikuks.

1. jaanuarist 1963. aastast on NSV Liidus kehtestatud rahvusvaheline mõõtühikute süsteem, mida lühendatult nimetatakse

SI-süsteemiks (*System International*)[1]. Kõikide füüsikaliste ja tehniliste mõõtmiste juures tuleb eelistada selle süsteemi mõõtühikuid. Pikkuse mõõtühikuks on *SI*-süsteemis võetud meeter[2].

Meeter on rahvusvahelisele meetri prototüübile[3] tõmmatud kahe kriipsu vaheline kaugus (joon. 1)[4].



Joon. 1. Rahvusvaheline meetri prototüüp. Nooled näitavad kriipsukestele, mis märgivad meetri algust ja lõppu. Paremal on kujutatud prototüübi ristlõige.

Mõõta näiteks staadioni jooksuraja pikkust, tähendab kindlaks teha, mitu korda mahub meeter jooksuraja pikkusesse.

Füüsikas kasutatakse mõõtühikute nimetuste märkimiseks lühendeid. Meetri märkimiseks kasutatavaks lühendiks on täht m.

Milliseid pikkusühikuid rakendatakse praktikas veel? Täiendavate ühikute märkimiseks kasutatakse kindlaid eesliiteid: *kilo-*, *hekto-*, *senti-*, *milli-* jne., mis lisatakse põhiühikule. Nende eesliidete tähendused on kõikide ühikute juures ühesugused ja nimelt järgmised:

mega (M) — miljon;
kilo (k) — tuhat;
hekto (h) — sada;
deka (da) — kümme;
detsi (d) — kümnendik;
senti (c) — sajandik;
milli (m) — tuhandik;
mikro (μ) — miljondik.

Kõige lihtsamaks pikkuse mõõteriistaks on sentimeetri- ja millimeetrijaotustega varustatud joonlaud.

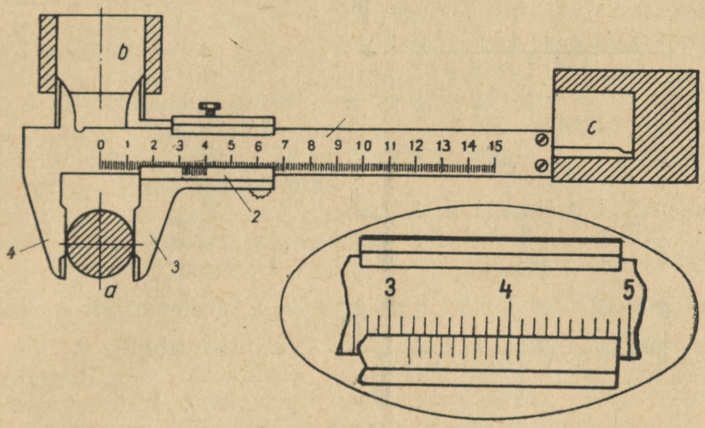
---

[1] Vt. ГОСТ 9867-61 «Rahvusvaheline mõõtühikute süsteem».

[2] Kreekakeelsest sõnast *metron*, mis tõlkes tähendab mõõt.

[3] Prototüüp kujutab endast Prantsuse Rahvuslikus Arhiivis hoitava algmeetriga kõige paremini ühtivat meetri etalooni. Meetri etaloonid ja seega ka meetri prototüüp on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist. Meetri prototüüpi hoitakse Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos Sèvres'is (Pariisi lähedal). NSV Liidus on kaks algmeetri järgi valmistatud etalooni — nr. 11 ja nr. 28. Ühte nendest hoitakse Leningradis ning see on meetri etalooniks meie maal.

[4] *SI*-süsteemis defineeritakse meetrit valguse lainepikkuse kaudu.



Joon. 2. Mitmesugused moodused pikkuse mõõtmiseks nihkkaliibriga: *a* — eseme väliste mõõtmete mõõtmine; *b* — ava diameetri mõõtmine; *c* — ava sügavuse mõõtmine.

Mõõteriistale kantud jaotused moodustavad selle mõõteriista *skaala*. Enne kui asuda mingi mõõteriistaga mõõtma, tuleb kindlaks teha mõõteriista skaala ühe jaotuse väärtus. Jaotuse väärtus näitab, milline seos valitseb vastava füüsikalise suuruse mõõtühiku ja mõõteriista skaala ühe jaotuse vahel. Millimeetrijaotustega joonlaua jaotuse väärtus on näiteks 1 mm.

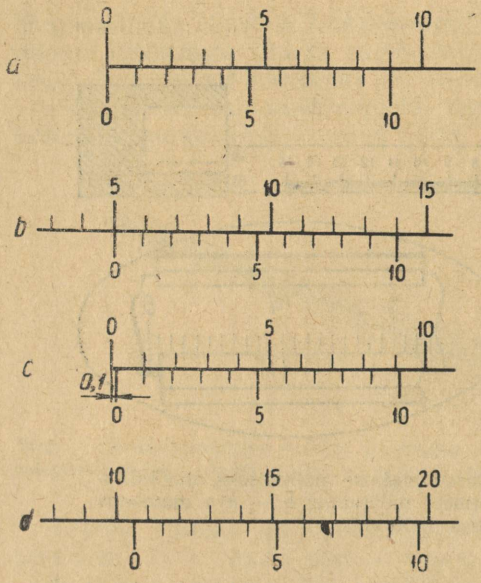
Pikkuste täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse *nihkkaliibrit* (joon. 2). Nihkkaliiber koosneb millimeetrijaotustega joonlauast *1* ja liikuvast raamist *2*, mis võib libiseda piki joonlauda. Raamil asub täiendav skaala — *noonius*, mille abil saab määrata millimeetri kümnendikke.[1]

Nooniuse skaala pikkus on 9 mm, see pikkus on jagatud kümneks võrdseks osaks. Nooniuse iga jaotuse pikkus on seega 0,9 mm, s. t. iga jaotus on joonlaual olevatest jaotustest 0,1 mm lühem.

Kui nihkkaliibri nokad *3* ja *4* on tihedalt teineteise vastu surutud, siis langeb nooniuse nullkriips kokku joonlaual oleva skaala nullkriipsuga (joon. 3, *a*), nooniuse ülejäänud kriipsud (viimane kriips välja arvatud) ei lange aga kokku mitte ühegi joonlaual oleva kriipsuga.

Kui nooniuse nullkriips ühtib täpselt joonlaual oleva mingi kriipsuga (joon. 3, *b*), siis on nihkkaliibri nokkade vaheline kaugus täisarv millimeetreid (täpsusega 0,1 mm). Joonisel 3, *b* kujutatud juhul on nokkadevaheline kaugus 5,0 mm.

[1] On olemas nihkkaliibreid, millega saab mõõta täpsusega kuni 0,05 mm ja isegi 0,02 mm.



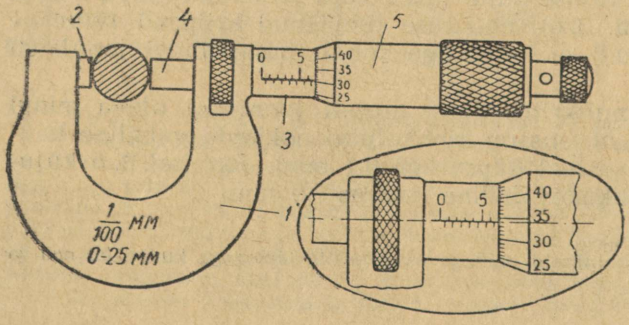
Joon. 3. Nihkkaliibri näidu lugemine nooniuse abil.

Kui raami nihutada selliselt, et nooniuse kriips *1* ühtib joonlaua kriipsuga *1* (joon. 3, *c*), siis on nokkade vahel pilu laiusega 0,1 mm. Nooniuse kriipsu 2 ühtimisel joonlaua kriipsuga 2 on nokkade vahe 0,2 mm; kriipsude 3 ühtimisel on vahe 0,3 mm jne.

Järelikult saab millimeetri kümnendikke määrata nooniuse kriipsu järgi, mis langeb kokku joonlaua mingi kriipsuga. Nihkkaliibri näit joonisel 3, *d* on 10,6 mm.

Esemete pikkuse (või jämeduse) mõõtmiseks täpsusega 0,01 mm kasutatakse kruvikaliibrit.

Kruvikaliiber (joon. 4) koosneb U-kujulisest terasklambrist *1*, mille ühe otsa külge on liikumatult kinnitatud teraspulk *2*, teise



Joon. 4. Mõõtmine kruvikaliibriga.

otsa külge aga silinder *3*. Silindri sees liigub mööda kruvisoont kruvi *4*. Silindri peal liigub vabalt õhukeseseinaline trummel *5*, mis on kinnitatud kruvi *4* otsa külge. Pööramisel pöörleb trummel koos kruviga ümber oma telje, mis ühtib silindri teljega.

Silindrile on kantud pidev joon ning selle juurde 0,5 mm jaotustega skaala. Trumli ühe täispöörde juures nihkub kruvi ots skaala ühe jaotuse võrra. Silindril oleva skaala abil saab eseme pikkust mõõta täpsusega 0,5 mm.

Trumli ots on piki oma ümbermõõtu jagatud viiekümneks võrdseks osaks. Trumli pööramisel ühe jaotuse võrra (seda tehakse silindrile tõmmatud pideva joone suhtes) liigub kruvi ots $\frac{1}{50}$ poolest millimeetrist, s. o. 0,01 mm võrra. Millimeetri sajandikke näitab silindri kriipsu kohale jääva trumli jaotuse järjekorranumber.

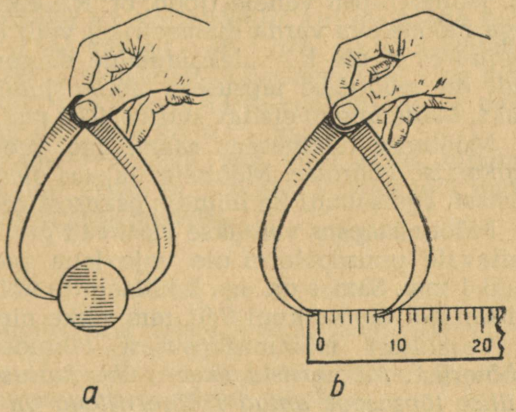
Loeme joonisel 4 toodud kruvikaliibri näidu. Silindril oleva skaala järgi teeme kindlaks, et trumli ots on nullasendist 6,5 mm kaugusel. Joon silindril ühtib trumli 34. jaotuskriipsuga. Järelikult on kruvikaliibri näit 6,50 + 0,34 = 6,84 mm.

§ 4. MÕÕTMISE TÄPSUS.

Pikkust (või mõnda teist füüsikalist suurust) võib mõõta suurema või väiksema täpsusega.

Olgu meil vaja mõõta terasvarda diameeter. Olenevalt mõõtmiseks kasutatavast mõõteriistast saame erineva täpsusega mõõtmistulemused.

Kui kasutada välistastrit ja millimeeterjaotustega joonlauda (joon. 5), siis saame terasvarda diameetri ühemillimeetrise täp-



Joon. 5. Välistastri harudevaheline kaugus on ligikaudu 7 mm.

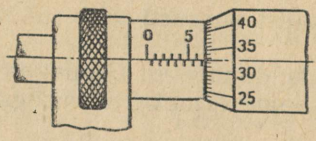
susega; kruvikaliibri kasutamisel saame aga sama diameetri täpsusega 0,01 mm.

Kuidas mõista väljendit «pikkus on mõõdetud täpsusega kuni 1 mm» ehk «täpsusega kuni 0,01 mm»?

Jäägu välistastri harud terasvarda diameetri mõõtmisel teineteisest veidi vähem kui 7 mm kaugusele, kuid kaugemale kui 6 mm (joon. 5). Antud juhul on tastri otste vaheline kaugus üle poole millimeetri pikem kui 6 mm. Seepärast võib varda diameetri lugeda ligikaudu võrdseks 7 millimeetriga. Seejuures tehtav viga ei ületa 0,5 mm.

Võib juhtuda aga ka nii, et välistastri otste vaheline kaugus on suurem kui 7 mm, kuid 7,5 millimeetrini ei küüni. Ka sel juhul loetakse varda ligikaudseks läbimõõduks 7 mm.

Järelikult, kui varda diameeter on mõõdetud täpsusega kuni 1 mm, siis on kindlakstehtud väärtus 7 mm ligikaudne. Varda diameetri tõeline väärtus asub vahemikus 6,5 mm kuni 7,5 mm. Teiste sõnadega — *mõõtmise täpsus määrab ära piirid, mille vahele jääb mõõdetava pikkuse tõeline väärtus.* Meie näites on see piiride vahe 1 mm.



Joon. 6. Kruvikaliibri näit on ligikaudu 6,82 mm.

Terasvarda läbimõõdu mõõtmisel kruvikaliibriga on liikumatul silindril olev horisontaalne kriips jäänud trumlil olevate 32. ja 33. jaotuskriipsu vahele (joon. 6). Kruvikaliibri näiduks (s. o. sellega mõõdetava varda diameetriks) võib ligikaudu võtta 6,82 mm, seejuures ei ole kõrvalekaldumine suurem kui 0,005 mm. Järelikult on mõõtmise täpsuseks antud juhul, s. o. piiride vahemikuks, kuhu langeb otsitav suurus, 0,01 mm.

Mõõtmise tulemusena saame me seega mõõdetava suuruse *ligikaudse väärtuse.* Mõõtmise täpsus oleneb kasutatavast mõõteriistast, aga samuti ka inimese oskusest seda mõõteriista kasutada.

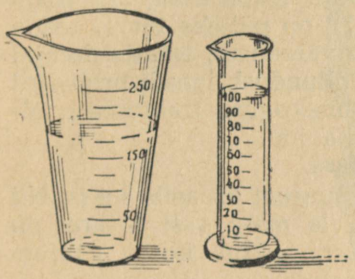
Mõõtmistäpsus valitakse vastavalt praktilisele vajadusele. Tara ehitavale puusepale ei ole vaja laua paksust mõõta täpsusega kuni 1 mm. Samas on aga kuullaagrite või siis kruvikaliibrite valmistamisel täpsus kuni 0,01 mm väike ning hoopis lubamatu.

Vajalikust mõõtmistäpsusest lähtudes valitakse kasutatav mõõteriist. *Mõõteriista skaala ühe jaotuse väärtus näitab meile, millise täpsusega antud mõõteriistaga on võimalik mõõta.*

§ 5. RUUMALA MÕÕTMINE.

SI-süsteemis on ruumala mõõtühikuks sellise kuubi ruumala, mille külje pikkus on 1 m. Seda ühikut nimetatakse *kuupmeetriks* (lühendatult m^3).

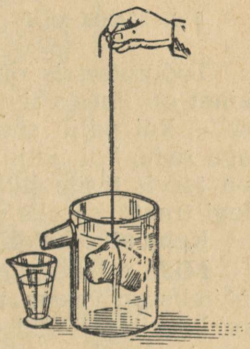
Milliseid ruumalaühikuid me praktikas veel kasutame? Igapäevases elus mõõdetakse vedelike ruumala liitrites (l). Liiter on ligikaudu võrdne 1 dm^3-ga. Mõnikord mõõdetakse vedelike ruumala milliliitrites (ml). Arvutage milliliitrite arv kuupmeetris.



Joon. 7. Kooniline ja silindriline mensuur.



Joon. 8. Pürett.



Joon. 9. Tahke keha ruumala mõõtmine ülevooluanuma ja mensuuriga.

Vedelike ruumala saab mõõta mõõteklaaside, mensuuride või bürettidega.

Mensuure (joon. 7) ja *bürette* (joon. 8) kasutatakse laboratooriumides. Mensuuride ja bürettide seintele on kantud skaalad vedelike ruumala kindlakstegemiseks.

Mensuuri abil saab mõõta ka korrapäratu kujuga tahke keha ruumala. Mensuuri valatakse mingit vedelikku ning märgitakse selle nivoo. Seejärel lastakse mõõdetav keha mensuuri ning määratakse vedeliku uus nivoo. Mensuuris oleva vedeliku nivoo muutuse järgi on kerge määrata tahke keha ruumala.

Kui tahke keha ei mahu mensuuri, siis võib selle ruumala määrata ülevooluanuma abil (joon. 9). Mõõtke sellisel teel mingi keha ruumala ning selgitage mõõtmisviisi.

Harjutus 1.

1. Kuidas saab mastaapjoonlaua abil mõõta peenikese traadi diameetrit või õhukese paberilehe paksust?
2. Lugege joonisel 2 toodud nooniuse näit. Milline on mõõtmise täpsus? Millisesse vahemikku langeb mõõdetava pikkuse tõeline väärtus?

3. Mõõtke nihkkaliibriga mingi risttahuka mõõtmed ning arvutage siis selle ruumala.

4. Mõõtke kruvikaliibriga traadi ja pliiatsi jämedus.

5. Milliseid mõõteriistu kasutate teie oma töös? Millise täpsusega on võimalik nendega mõõta?

6. Määrake kindlaks demonstratsioonilaual olevate mensuuride skaala jaotuste väärtused. Millise mensuuriga saab mõõta kõige suurema täpsusega? Mõõtke mensuuriga teeklaasi ja supilusikasse mahtuva vee ruumala. Kui suured on joonisel 7 kujutatud mensuuride skaala jaotuste väärtused?

7. Kuidas saab mensuuriga mõõta ühe haavli või ühe vedelikutilga ruumala?

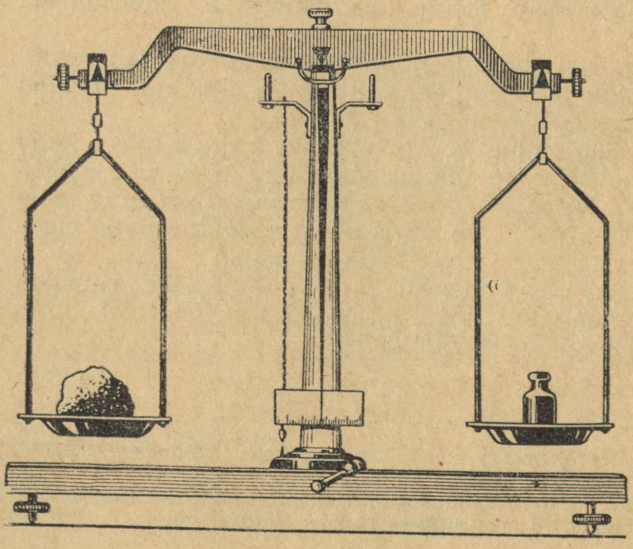
§ 6. MASSI MÕISTE.

Tööprotsessis on inimestel sageli vaja teada seda, kui palju ainet on ühes või teises kehas. Kaevuril on näiteks tarvis teada seda, kui palju sütt ta kaevandas oma vahetuses, terasesulatajal aga seda, kui palju ta sulatas terast. Põllundusbrigaadi brigadiril on tarvis teada külviks vajalikku seemnekogust, traktoristil jällegi traktori jaoks vajalikku kütusehulka jne.

Keha aine hulga mõõduks on selle mass.

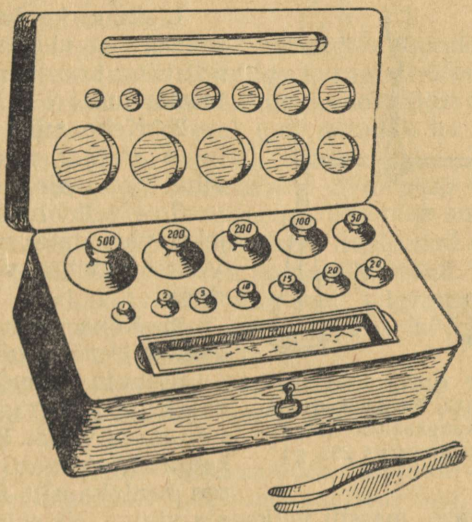
Mida rohkem on kehas ainet, seda suurem on selle mass. Nii näiteks on vasara mass suurem kui nõela mass, sest vasaras on rohkem terast kui nõelas. Laeva mass on palju kordi suurem mootorpaadi massist.

Keha mass ei muutu, kui keha soojendatakse, kokku surutakse, kõrgele mäele viiakse või sügavasse šahti kukutatakse, sest seejuures jääb aine hulk kehas muutumatuks.

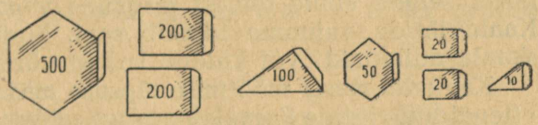


Joon. 10. Kangkaalud.

Mõõta keha massi tähendab võrrelda seda teise massiga, mis on võetud ühikuks. *SI*-süsteemis on massi ühikuks *kilogramm* (kg). Kilogramm on kilogrammi rahvusvahelise prototüübi mass. See prototüüp kujutab endast plaatina ja iriidiumi sulamist silindrit. Prototüübi mass on ligikaudu võrdne 1 dm^3 vee massiga 4° C juures.



Joon. 11. Kaaluvihtide komplekt. Joonise allosas on kujutatud grammist väiksemad vihid (neid hoitakse klaasialuses süvendis).



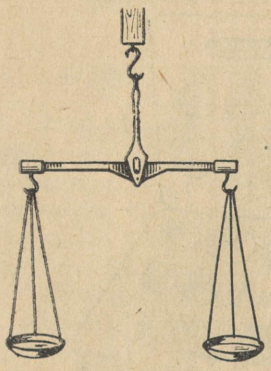
Praktikas kasutatakse veel järgmisi massi mõõtühikuid:
1 tonn (t) = 1000 kg;
1 gramm (g) = 0,001 kg;
1 milligramm (mg) = 0,000001 kg.

Keha massi mõõtmiseks kasutatakse *kangkaale* (joon. 10) koos vihtide komplektiga. Kui kaalukaussidele asetada kaks ühesuguse massiga keha (näiteks kaks ühesugust kaaluvihti), siis jäävad kaalud tasakaalu. Sellel põhinebki mitmesuguste kehade massi mõõtmine. Kaalude tasakaalu korral on mõõdetava keha mass võrdne keha tasakaalustamiseks kasutatud vihtide kogumassiga.

Kangkaalude juures kasutatavasse kaaluvihtide komplekti (joon. 11) kuulub 12 vihti järgmiselt: 500 g, 200 g, 200 g, 100 g,

50 g, 20 g, 20 g, 10 g, 5 g, 2 g, 2 g ja 1 g. Ülalnimetatute kõrval kuuluvad komplekti veel grammist väiksemad alumiiniumlehtedest valmistatud vihid massiga 500 mg, 200 mg, 200 mg, 100 mg, 50 mg, 20 mg, 20 mg ja 10 mg.

Koolides kasutatakse praktilistel töödel tunduvalt lihtsamaid kangkaale (joon. 12).



Joon. 12. Koolis kasutatavad kangkaalud. (Maksimaalne koormus 200 g.)

Kaalude kasutamisel tuleb täita järgmisi reegleid:

1. Enne kaalumist tuleb kaalud seada selliselt, et nende alus asuks horisontaalselt ning koormamata kaalukausid oleksid tasakaalus.
2. Keha, mille massi tahetakse määrata, tuleb asetada vasakule kaalukausile ning vihid paremale kaalukausile.
3. Kaaluvihid asugu kas vihtide komplekti vastavates pesades või kaalukausil. Väikseid vihte võetagu ainult pintsettidega.
4. Keha mass ei tohi olla suurem kui kaaludel märgitud maksimaalne koormus.

Keha massi mõõtmisel tuleb kaaluvihte valida järjekorras, alates seejuures kõige suuremast vihist. Kui kaalukausile asetatud kaaluviht osutub liiga suureks, siis tuleb see kaalukausilt ära võtta ning asendada järgmise, massilt väiksema vihiga. Nii toimitakse seni, kuni kaaluvihi mass osutub mõõdetava keha massist väiksemaks. Nüüd lisatakse sellele vihile temast järgmine väiksema massiga viht jne. Kaaluvihtide valimine toimub seni, kuni kaalude osuti jõuab skaala nullpunkti või kaldub sellest võrdsetele kaugustele.

Kaaludel massi mõõtmise täpsuse määrab nende kaalude jaoks ettenähtud vihtide komplekti kõige väiksem viht.

Joonistel 10 ja 12 kujutatud kaalud võimaldavad mõõta massi täpsusega 0,01 g. Laboratoorsetel töödel mõõdetakse massi tavaliselt täpsusega kuni 1 g, harvemini täpsusega kuni 0,1 g.

Korrake mõõtmistäpsuse mõistet (§ 4) ning vastake küsimusele — mis tähendab mõõta massi täpsusega kuni 1 g? täpsusega kuni 0,01 g?

§ 7. JÕU MÕISTE.

Looduses, tööstuses ja igapäevases elus näeme pidevalt kehade vastastikust mõju. Elektrivedur veab rongi, tornkraana tõstab ehitusmaterjale, langev vasar muudab hõõguva detaili kuju.

Neil juhtudel öeldakse tavaliselt: «üks keha mõjub teisele kehale mingi jõuga», või veel lihtsamalt: «kehale mõjub jõud».

Mida siis mõeldakse sõna «jõud» all?

Lühidalt võiks öelda, et jõud — see on ühe keha mõju teisele kehale. Kuid jõu selline definitsioon ei ole täpne.

Kõigepealt võib jõud ühtedel juhtudel olla suur, teistel aga väike. Jõud on seega füüsikaline suurus, mida võib mõõta. Teiseks — ei ole selge, millega lõpeb ühe keha mõju teisele, milline on kehade vastastikuse mõju resultaat.

Tutvume vastavate näidetega. Vastutuul vähendab lennuki kiirust, pärituul aga suurendab seda. Horisondiga nurga all ülesvisatud kivi liigub mööda kõverjoont (Maa külgetõmbe mõjul muutub kivi liikumissuund pidevalt). Kõveral teel muudab ka rong rööbaste mõjul oma liikumissuunda.

Järelikult muutub kehade poolt teineteisele avaldatud mõju tulemusena nende liikumine (kiiruse suurus ja liikumise suund).

Teinekord põhjustab kehade poolt teineteisele avaldatud mõju kehade deformeerumise [1]. Nii näiteks võib painutada traati, venitada vedru, suruda õhku pumbakolvi alla ning sealt jalgratta õhukummi. Valtsimismasina valtside mõjul muudetakse hõõguvad terasplokid taladeks, lattideks või lehtedeks.

Seega **jõud on suurus, mis iseloomustab kehade mõju teineteisele, mille tulemusena keha muudab oma liikumist või siis deformeerub.**

Olenevalt sellest, kuidas toimub mitmesuguste jõudude avaldumine, jagatakse jõud rühmadeks: löögijõud, takistusjõud, veojõud jne. Seejuures võib alati näidata keha, mis mõjub teisele kehale ning annab löögi, põhjustab hõõrdumise liikumisel jne.

Looduses ei eksisteeri selliseid jõude, mis ei oleks seotud kehade vastastikuse mõjuga.

§ 8. RASKUSJÕUD. ÜLEMAAILMSE GRAVITATSIOONIJÕU MÕISTE

1. Jõudu, mille mõjul keha tõmmatakse maa poole, nimetatakse *raskusjõuks* ehk keha *kaaluks.*

Raskusjõud mõjub kõigile kehadele. Erinevaid kehi tõmmatakse seejuures maapinna poole erineva jõuga (nende kaalud on erinevad). Keha kaal oleneb kehas sisalduva aine hulgast (see tähendab — keha massist). Raudteerööpa kaal on mutri kaalust nii mitu korda suurem, kui mitu korda on rööpa mass suurem mutri massist. Järelikult, *mida suurem on keha mass, seda suurem on tema kaal.*

---

[1] Ladinakeelsest sõnast *deformatio* — moonutamine. Deformatsioon — kehade kuju või ruumala muutumine.

Selgitage, millisel nähtusel põhineb keha massi mõõtmine kangkaaludel!

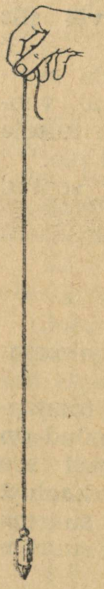
Raskusjõu mõjul muudavad kehad oma liikumise kiirust. Kui lasta mingi keha käest lahti, siis kukub see maapinnale. Seejuures suureneb keha kiirus langemisel pidevalt. Kui visata kivi üles, siis raskusjõu mõjul kivi kiirus pidevalt väheneb, kivi saavutab oma tõusu kõrgeima punkti ning hakkab siis langema tagasi maa poole.

Raskusjõud võib põhjustada ka kehade deformeerumise. Raskusjõu mõjul vajuvad juhtmed looka, painduvad nisukõrred jne. Kui maapinna suhtes liikumatu keha siduda nööri otsa või tõsta mingile alusele, siis tekib raskusjõu mõjul nööris pinge või rõhumine alusele.

Raskusjõu mõjumise sihti nimetatakse *vertikaalsihiks*. Mööda seda sihti asub püstloe niit (joon. 13).

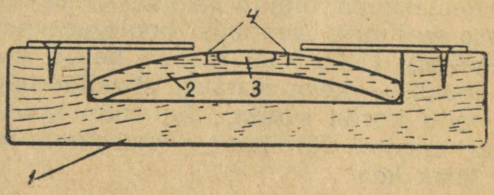
Vertikaalsihiga ristuvat sihti nimetatakse *horisontaalsihiks*. Mitmesuguste pindade horisontaalsuse kontrollimiseks kasutatakse tööstuses ja ehitustel vesiloodi. Vesiloe ehitus on skemaatiliselt toodud joonisel 14.

Kus te olete näinud püstloe ja vesiloe kasutamist?



Joon. 13. Püstlood.

Joon. 14. Vesiloe skeem. *1* — puitalus; *2* — klaastoruke piiritusega; *3* — õhumull; *4* — piirmärgid.



2. Külgetõmme ei esine mitte ainult maapinna ja selle kohal asuvate esemete vahel. Inglise teadlane Isaac Newton avas-

tas seaduse, mille järgi **kõik kehad looduses tõmbuvad üksteise poole.** Iga keha (tahke, vedel või gaasiline), olenemata tema mõõtmetest, massist ja ainest, tõmbab teisi kehi enda poole, kuid samal ajal tõmbavad need ka teda. Neid tõmbejõude nimetatakse *gravitatsioonijõududeks.*

Mida suuremad on vastastikku mõjuvate kehade massid, seda suuremad on gravitatsioonijõud. Selline hiiglaslik keha nagu Maa tõmbab enda poole lähedal asuvaid kehi ning hoiab neid oma pinnal. Maa gravitatsioonijõud sunnib Kuud, kunstlikke kaaslasi ja kosmoselaevu liikuma ümber Maa mööda kinnisi kõveraid (orbiite). Selline nähtamatu side on ka Maa ja Päikese vahel, mis muudabki Maa Päikese kaaslaseks.

Kujutluse planeetidevaheliste gravitatsioonijõudude suurusest annab järgmine näide. 1 cm diameetriga terastross talub 4,5 tonni raskust koormust. Maa ja Kuu vahelise gravitatsioonijõu asendamiseks peaks nende kehade vahele paigutama terastrossi, mille läbimõõt on 650 km!

Gravitatsioonijõud väheneb kauguse suurenedes kiiresti. Kui näiteks kaugus suureneb 10 korda, siis gravitatsioonijõud väheneb 100 korda.

Miks me ei märka meid ümbritsevate kehade vahel esinevaid tõmbejõude? Ilmneb, et väikeste kehade korral on gravitatsioonijõud väga väikene ning hõõrdumise olemasolu korral see kehi liikuma ei pane. Nii näiteks mõjub kahe teineteisest 200 m kaugusel asuva ookeanilaeva vahel nii väike gravitatsioonijõud, et sellest ei piisa isegi peene niidi katkitõmbamiseks.

3. Ühe ja sama keha kaal on erinevates maakohtades erinev.

Kõrge mäe tipul kaalub keha veidi vähem kui mäe jalamil. See näitab, et keha kaugenemisel Maa keskpunktist tema raskusjõud väheneb.

Samal põhjusel on ka keha kaal geograafiliste pooluste läheduses suurem kui ekvaatoril, sest Maa on poolustelt nagu veidi kokku surutud. See erinevus kaalus on aga väike. Poolusel kaalub keha 0,5% rohkem kui ekvaatoril.

§ 9. JÕU MÕÕTMINE.

Meetermõõdustiku süsteemis on jõuühikuks võetud jõud, millega Maa tõmbab enda poole kilogrammi prototüüpi merepinnal 45. laiuskraadil. Seda ühikut nimetatakse *jõukilogrammiks* (kG, ka kgf).

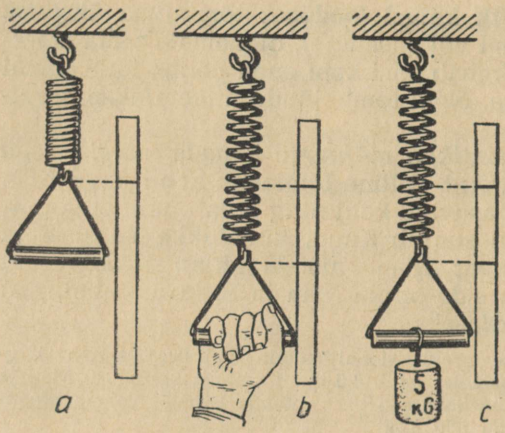
Selgitage, miks on jõuühiku definitsioonis märgitud geograafiline laius ja merepinna kõrgus.

Milliseid jõuühikuid kasutatakse veel praktikas?

SI-süsteemis on jõu mõõtühikuks võetud njuuton[1] (N)

$$1\ N = 0{,}102\ kG \text{ ehk}$$
$$1\ N \approx 0{,}1\ kG.$$

[1] Ühiku nimetus on kasutusele võetud suure inglise füüsiku Isaac Newtoni auks. Millel põhineb just sellise ühiku valik, seda selgitame edaspidi.



Joon. 15. Lihaste jõu võrdlemine vihi raskusjõuga.

Mõõta jõudu tähendab võrrelda seda jõudu teise jõuga, mis on võetud ühikuks.

Kõige lihtsam on võrrelda jõude nende mõju järgi vedrule (joon. 15, *a*). Venitame käega spiraalvedru ning märgime siis vedru alumise otsa asendi (joon. 15, *b*). Selleks et määrata jõudu, millega käsi mõjus vedrule, venitame selle samasse asendisse tuntud kaaluga vihtide abil (joon. 15, *c*). Olgu selleks vajaliku vihi kaal 5 kG. Järelikult mõjus ka käsi vedrule jõuga 5 kG, sest ainult võrdsed jõud avaldavad võrdset mõju.

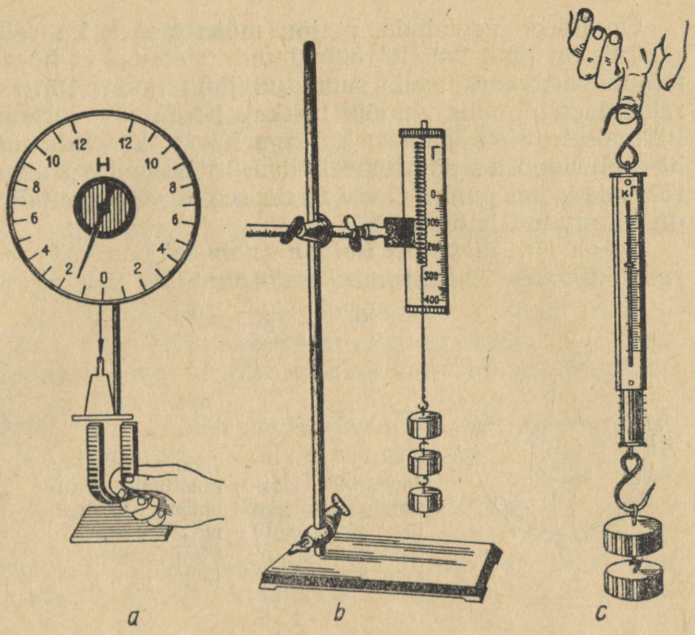
Kinnitame vedru ülemise otsa statiivi külge ning hakkame vedru alumise otsa külge riputama tuntud kaaluga vihte. Vedru alumise otsa asukoha märgime seejuures iga kord vedru kõrvale kinnitatud liistule. Katse näitab, et *vedru pikenemine* (pikkuse juurdekasv) *on võrdeline venitava jõuga.* Nii mitu korda kui suureneb koormus, pikeneb ka vedru.

Eelkirjeldatul põhineb *dünamomeetri* — jõu mõõteriista ehitus. Olenevalt kasutusalast kasutatakse mitmesuguse konstruktsiooniga dünamomeetreid (joon. 16).

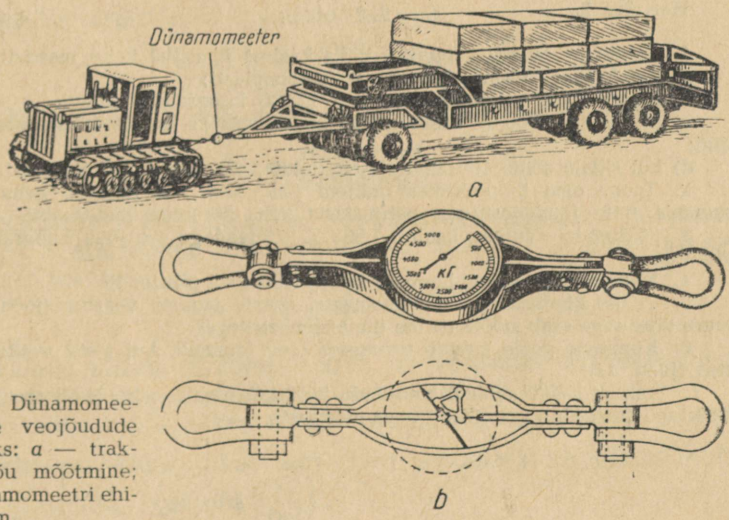
Joonisel 17 on kujutatud suurte jõudude mõõtmiseks kasutatav dünamomeeter. Selgitage selle dünamomeetri töötamise printsiipi.

§ 10. JÕUDUDE GRAAFILINE KUJUTAMINE.

Mõjugu lendavale lennukile tuul jõuga 200 kG. Millist mõju avaldab tuul lennuki liikumisele? Me ei saa sellele küsimusele kindlat vastust anda. See jõud võib lennukiirust suurendada, vähendada või siis lennuki valitud suunast kõrvale kanda. Järelikult oleneb jõu mõju kehale mitte ainult jõu suurusest, vaid ka jõu mõjumise suunast.



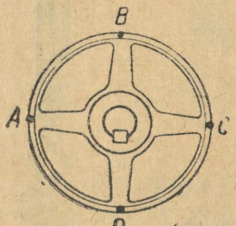
Joon. 16. *a* — kooli demonstratsioondünamomeeter mõõdab magneti külgetõmbejõudu; skaala on gradueeritud njuutonites; *b* ja *c* — laboratoorsetel töödel kasutatavad dünamomeetrid.



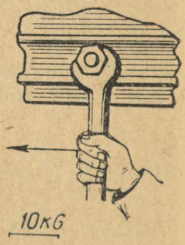
Joon. 17. Dünamomeeter suurte veojõudude mõõtmiseks: *a* — traktori veojõu mõõtmine; *b* — dünamomeetri ehituse skeem.

On kerge veenduda, et jõu mõju oleneb ka sellest, millises punktis on jõud kehale rakendatud. Oletame, et hooratta piirdele mõjub vertikaalselt alla suunatud jõud (joon. 18). Kui see jõud rakendada punktis *A*, siis hakkab hooratas pöörlema kellaosuti liikumisele vastassuunas; kui aga jõud rakendada punktis *B*, siis hakkab hooratas pöörlema kellaosuti liikumise suunas. Kui jõud rakendada kas punkti *C* või *D*, siis see ainult painutab võlli, millele on kinnitatud hooratas.

Seega *jõu täielikuks iseloomustamiseks on vaja teada jõu suurust, mõjumise suunda ja rakenduspunkti.*



Joon. 18. Hooratta rakendatud jõu mõju oleneb jõu rakenduspunktist.



Joon. 19. Jõu graafiline kujutamine. Inimene mõjub võtme käepidemele jõuga 10 kG.

Jõudu võib kujutada sirglõiguna, mille ühes otsas on nool (joon. 19). Lõigu pikkus kujutab valitud mastaabis jõu suurust, nool näitab jõu mõjumise suunda, lõigu alguspunkt aga jõu rakenduspunkti.

Harjutus 2.

1. Selgitage, millal räägitakse keha kaalust ja millal keha massist:
a) tõstekraana tõstab 1,5-tonnist betoonplaati;
b) pressi aluse valamiseks kulutati 12 000 kilogrammi malmi;
c) sõiduauto «Volga» kulutab 100 km sõitmiseks umbes 10 kilogrammi bensiini;
d) kui sillale sõitis 10-tonnine isekallutaja, siis silla lauad paindusid.
2. Tooge oma tööpraktikast näiteid jõududest, mis muutsid keha kuju või ruumala, ning jõududest, mis põhjustasid keha liikumise muutumise.
3. Sõiduauto «Volga» kaalub 1,885 T. Väljendage see jõud kilogrammides ja njuutonites.
4. Milleks kasutatakse hoonete seinte ladumisel püstloodi?
5. Tehke kindlaks iga dünamomeetri skaala jaotuse väärtus (joon. 16). Kui suure täpsusega saab mõõta nende dünamomeetritega?
6. Kummale poole kaldub torukeses olev õhumull, kui tõsta vesiloe vasakut otsa (joon. 14)?
7. Traktor K-700 avaldab veojõudu 7000 kG, elektrivedur H-62 aga 25 000 kG. Kujutage need jõud graafiliselt ühes mastaabis.

Sageli ei mõju jõud mitte keha ühele punktile, vaid mingile pinnale. Vasaraga löömisel jaguneb hõõguvale detailile mõjuv jõud väikesele pindalale. Traktor rõhub pinnast kogu oma raskusega tervel oma toetuspinnal. Suurtükist laskmisel rõhuvad püssirohu põlemisel tekkivad gaasid mürsu põhjale ning suruvad selle suurtükitorust välja. Toodud näidetes mõjus jõud keha pinnaga risti.

Keha pinnaga risti mõjuvat jõudu nimetatakse rõhumisjõuks.

Rõhumisjõuks võivad olla väga mitmesugused jõud (raskusjõud, lihaste jõud, vedru või kokkusurutud gaasi elastsusjõud jne.). Rõhumisjõu mõju tulemuseks võib olla nii keha liikumise muutumine kui ka deformatsioon.

Keha deformatsioon oleneb mitte ainult rõhumisjõu suurusest, vaid ka selle pinna suurusest, millele rõhumisjõud mõjub.

Suuskadel võib inimene vabalt liikuda mööda kohevat lund, ilma suuskadeta vajub ta aga sügavale lumme. Kui vajutada peopesaga vineeritahvlile, siis see paindub. Kui sama jõuga suruda nõela vastu vineeri, siis võib vineeri läbi torgata. Järelikult, mida väiksemale pindalale mõjub rõhumisjõud, seda rohkem deformeerub keha.

Pinnale mõjuva jõu iseloomustamiseks kasutatakse *rõhu* mõistet.

Rõhuks nimetatakse jõudu, mis mõjub risti pindalaühiku-suuruse pinnaga.

Olgu suusataja kaal 66 kG, suuskade toetuspindala aga 2200 cm². Selleks et leida rõhku lumele, tuleb arvutada jõud, mis mõjub risti toetuspinna ühe pindalaühikuga:

$$\text{rõhk} = \frac{66\ \text{kG}}{2200\ \text{cm}^2} = \frac{3\ \text{kG}}{100\ \text{cm}^2} = 0{,}03\ \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}.$$

Rõhu leidmiseks tuleb rõhumisjõud jagada toetuspindalaga:

$$\text{rõhk} = \frac{\text{rõhumisjõud}}{\text{toetuspindala}}.$$

Kui märkida rõhk tähega p, rõhumisjõud tähega F ja pindala tähega S, siis saame rõhu arvutamise eeskirja (valemi) kirjutada järgmiselt:

$$p = \frac{F}{S}.$$

See valem näitab, et *rõhu suurus on võrdeline rõhumisjõuga ning pöördvõrdeline pindalaga, millele jõud mõjub.*

SI-süsteemis mõõdetakse rõhku njuutonites ruutmeetri kohta $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$. Tehnikas kasutatakse seni rõhu mõõtühikuna ulatuslikult *tehnilist atmosfääri* $\left(\text{at ehk } \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}\right)$.

1 atmosfääri suuruse rõhu juures mõjub toetuspinna igale ruutsentimeetrile jõud 1 kG. Tõestage, et 1 at = 100 000 $\frac{N}{m^2}$ = $10^5 \frac{N}{m^2}$.

§ 12. TAHKETELE KEHADELE AVALDATAVA RÕHU EDASIANDMINE.

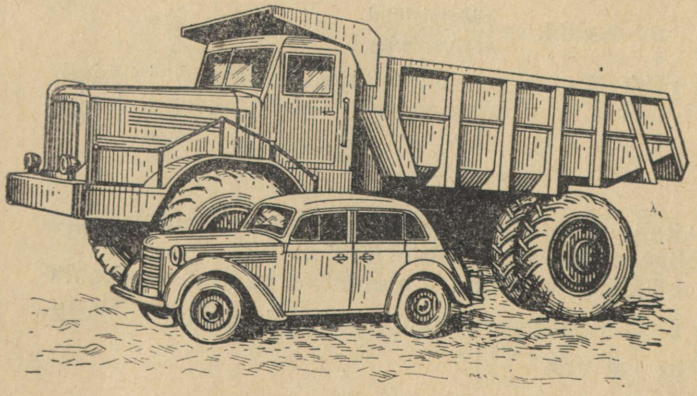
Tahke keha annab temale avaldatava rõhu edasi jõu mõjumise suunas. Seejuures rõhumisjõu suurus ei muutu. Kui näiteks inimene rõhub labidale jõuga 15 kG, siis labidas mõjub ka pinnasele jõuga 15 kG.

Seejuures on aga labida poolt maapinnale avaldatav rõhk palju kordi suurem kui inimese poolt labidale avaldatav rõhk. Miks?

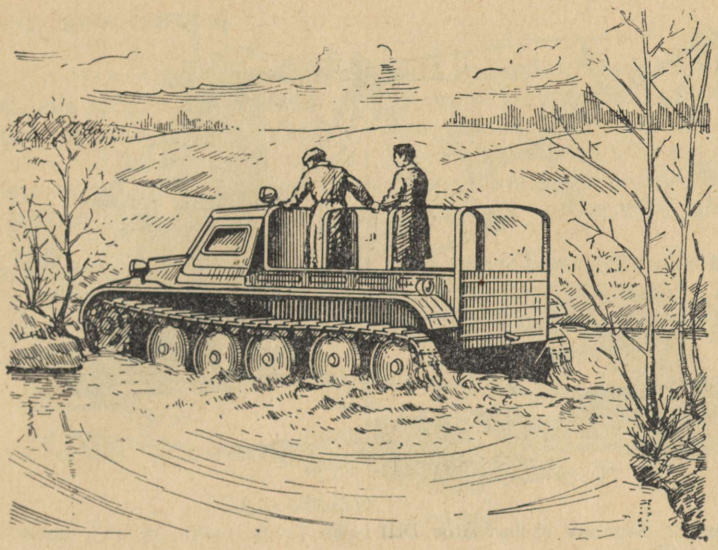
Kõik lõikeinstrumendid (puurid, lõiketerad, freeside hambad, saehambad, kombaini või niidumasina noad jt.) tehakse terava lõikeservaga. Selgitage, mispärast.

Maanteele avaldatava rõhu vähendamiseks tehakse autobusside ja veoautode rataste kummid tunduvalt laiemad kui sõiduautodel (joon. 20). Roomiktraktor liigub suurele kaalule vaatamata kergelt üle küntud põllu seepärast, et tema toetuspind maapinnal on suur. Isegi pehme soo ei ole roomikautole mingiks takistuseks (joon. 21).

Mitmesuguseid rõhke	$\frac{N}{m^2}$	$\frac{kG}{cm^2}$
Inimese rõhk toetuspinnale käimisel . . .	$0{,}4 \cdot 10^5$	0,4
Roomiktraktor pinnasele	$0{,}4 — 0{,}6 \cdot 10^5$	0,4—0,6
Veoauto maanteele	$3{,}9 — 4{,}6 \cdot 10^5$	3,9—4,6
Vagunirattad rööpale . . . . umbes	$3000 \cdot 10^5$	3000
Treitera terasdetailile . . . . . kuni	$25\,000 \cdot 10^5$	25 000



Joon. 20. Isekallutaja MA3-525 rattakummid on tunduvalt laiemad kui sõiduauto kummid.



Joon. 21. Roomikauto läbib kergesti ka soist maastikku.

Näide 1. Traktor ДТ-54 kaalub 5,4 T. Mõlema roomiku toetuspindala on kokku 140 dm^2. Leida traktori rõhk maapinnale $\frac{N}{m^2}$-tes ja $\frac{kG}{cm^2}$-tes.

Ülesandes toodud andmed kirjutame lühidalt üles, kasutades selleks tähelisi sümboleid.

Traktori kaal kujutab endast rõhumisjõudu.

Antud:

$F = 5{,}4\ T = 5400\ kG = 54\,000\ N;$
$S = 140\ dm^2 = 14\,000\ cm^2 = 1{,}4\ m^2.$

Leida p.

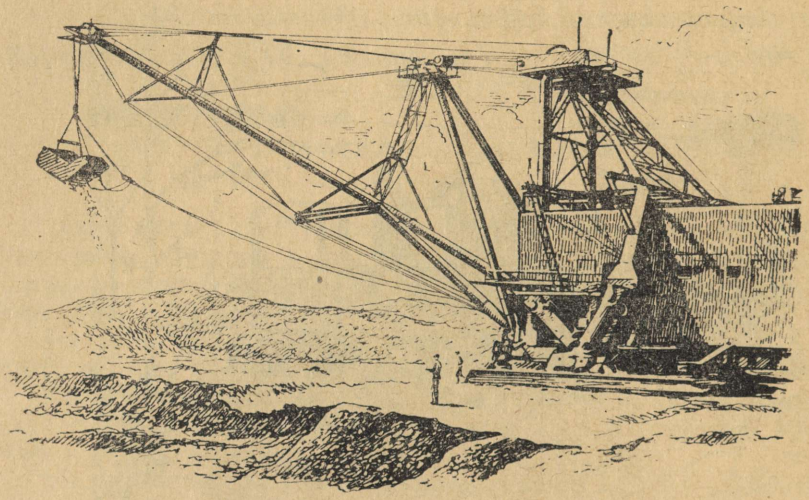
Lahendus:

$$p = \frac{F}{S};$$

$$p = \frac{5400\ kG}{1{,}4\ m^2} = \frac{54\,000\ N}{1{,}4\ m^2} \approx$$

$$\approx 39\,000\ \frac{N}{m^2} \approx 0{,}39\ \frac{kG}{cm^2}.$$

Näide 2. Töötamisel toetub sammuv ekskavaator terasest plaadile, mis lebab maapinnal (joon. 22). Arvutada ekskavaatori kaal, kui rõhk maapinnale on 0,73 $\frac{kG}{cm^2}$ ning plaadi toetuspindala on 157 m^2.



Joon. 22. Sammuv ekskavaator ЭШ-14/65 (kopa maht 14 m^3, noole pikkus 65 m).

Antud:

$p = 0{,}73 \frac{kG}{cm^2}$;

$S = 157\ m^2 = 1\,570\,000\ cm^2$.

Leida F.

Lahendus:

$p = \frac{F}{S}$, siit $F = pS$;

$F = 0{,}73 \frac{kG}{cm^2} \cdot 1\,570\,000\ cm^2 \approx$

$\approx 1\,146\,000\ kG \approx 1200\ T$.

Harjutus 3.

1. Miks lõikab terav nuga paremini kui nüri?
2. Miks tehakse põllumajandusmasinate rattad laiade pöidadega?
3. Millisel eesmärgil pannakse äestamisel äkkele mõnikord kivi peale?
4. Miks pannakse krohvitud pinnast naela väljatõmbamisel seina ja tangide vahele puuklots?
5. Roomiktraktor avaldab maapinnale niisama suurt rõhku kui inimene käimisel. Miks rõhub traktor roomiku alla jäänud tellise puruks, tellisel seisev inimene seda aga ei suuda?
6. Neljateljeline vagun kaalub 22 tonni ning võtab peale 60 T raskuse koorma. Leida täislaaditud vaguni rõhk rööbastele, kui iga ratta ja rööpa kokkupuutepind on 4 cm^2.
7. Leida traktori ДТ-75 kaal, kui rõhk maapinnale on 0,44 $\frac{kG}{cm^2}$ ning roomikute toetuspind vastu maad (kokku) on 127,7 dm^2.

Kui mõõta erinevatest ainetest, kuid ruumalalt võrdsete kehade massi, siis selgub, et kehade massid on erinevad. Rauatüki mass osutub väiksemaks kui niisama suure pliitüki mass. Kuid rauatüki mass on suurem kui niisama suure alumiiniumitüki mass.

Selleks et iseloomustada ühesuguse ruumalaga, kuid erinevatest ainetest kehade masside erinevust, kasutatakse *aine tiheduse* mõistet.

Aine tihedust mõõdetakse selle aine ühe ruumalaühiku massiga.

Olgu 9400 kg-se massiga terasetüki ruumala 1,2 m^3. Terase tiheduse leidmiseks tuleb arvutada ühes kuupmeetris sisalduva terase mass:

$$\frac{9400\ kg}{1{,}2\ m^3} = \frac{94\,000\ kg}{12\ m^3} \approx 7800\ \frac{kg}{m^3}.$$

Aine tiheduse leidmiseks tuleb keha mass jagada tema ruumalaga:

$$\textbf{aine tihedus} = \frac{\textbf{mass}}{\textbf{ruumala}}.$$

SI-süsteemis mõõdetakse tihedust $\frac{kg}{m^3}$. Paljudes käsiraamatutes kasutatakse tiheduse mõõtühikuna $\frac{g}{cm^3}$.

Mõnede ainete tihedused $\left(\frac{kg}{m^3}\right.$ ja $\left.\frac{g}{cm^3}\right)$

Tahked kehad

Alumiinium	2700	2,7
Betoon	1800—2400	1,8—2,4
Puit (mänd)	400—700	0,4—0,7
Jää	900	0,9
Vask	8900	8,9
Plaatina	21 500	21,5
Kork	240	0,24
Teras	7700—7900	7,7—7,9
Plii	11 300	11,3
Klaas	2500	2,5

Vedelikud

Bensiin	700	0,7
Puhas vesi	1000	1,0
Petrooleum	800	0,8
Elavhõbe	13 600	13,6

Kui tähistada massi tähega m, ruumala tähega V ja tiheduse tähega D, siis võib aine tiheduse valemi üles kirjutada järgmiselt:

$$D = \frac{m}{V}.$$

Näide. Määrata 850 m^3 bensiini mass bensiinihoidlas.

Tabelist saame bensiini tiheduse — 700 $\frac{kg}{m^3}$.

Antud:

$V = 850\ m^3$;

$D = 700\ \frac{kg}{m^3}$.

Leida m.

Lahendus:

Valemist $D = \frac{m}{V}$ leiame massi

$m = DV$

$m = 700\ \frac{kg}{m^3} \cdot 850\ m^3 = 595\,000\ kg.$

§ 14. LABORATOORNE TÖÖ NR. 1.

Tahke keha ja vedeliku tiheduse määramine.

Tööriistad: kaalud koos vihtide komplektiga, nihkkaliiber või mõõtejoonlaud, mensuur jaotuse väärtusega 1 ml, metallklots, kolb või teeklaas.

Töö käik.

1. Määrake metallklotsi mass täpsusega 1 g.
2. Mõõtke klotsi pikkus, laius ja kõrgus kas nihkkaliibri või joonlauaga ning arvutage klotsi ruumala.
3. Arvutage klotsi tihedus.
4. Kaaluge tühi kolb, täitke see siis vaskvitrioli vesilahusega ning määrake vedeliku mass.
5. Mõõtnud mensuuriga vedeliku ruumala, arvutage vedeliku tihedus.

Mõõtmis- ja arvutamistulemused kirjutage järgmisse tabelisse:

Uuritav keha	Mõõtmis- ja arvutamistulemused					
	mass kg	pikkus m	laius m	kõrgus m	ruumala m^3	tihedus $\frac{kg}{m^3}$
Metallklots						
Vaskvitrioli lahus						

§ 15. ERIKAAL.

Tammide, hoonete ja teiste seadmete ehitamisel ning püstitamisel on tarvis teada, millist rõhku hakkavad püstitatavad objektid avaldama nende alla jäävale pinnasele. Selleks on enne ehitamist vaja teada, kui palju kaalub tammi, hoonesse või mujale paigutatav betoon. Mõnikord on vaja leida sellise eseme kaal, mida ei ole võimalik kaaluda, sest ese on kas liiga suur või kusagile liikumatult kinnitatud. Loetletud praktiliste küsimuste lahendamiseks on vaja teada aine *erikaalu*.

Aine erikaalu mõõdab selle aine ühe ruumalaühiku kaal.

Aine erikaal määratakse katseliselt. Mõelge, kuidas saab praktiliselt määrata mutri aine — terase — erikaalu.

Kui märkida keha kaalu tähega P, ruumala tähega V ja erikaalu tähega d, siis saame erikaalu valemi:

$$d = \frac{P}{V}.$$

SI-süsteemis on erikaalu mõõtühikuks $\frac{N}{m^3}$. Nii näiteks on vee erikaal 10 000 $\frac{N}{m^3} = 10^4 \frac{N}{m^3}$; alumiiniumi erikaal 27 000 $\frac{N}{m^3} = 2{,}7 \cdot 10^4 \frac{N}{m^3}$. Paljudes käsiraamatutes on erikaalud antud $\frac{kG}{dm^3}$ või $\frac{g}{cm^3}$. Sellistes käsiraamatutes toodud erikaalud on seega 10 000 korda väiksemad kui *SI*-süsteemis.

Mõnede ainete erikaalud $\left(\frac{N}{m^3}\right)$.

Tahked kehad

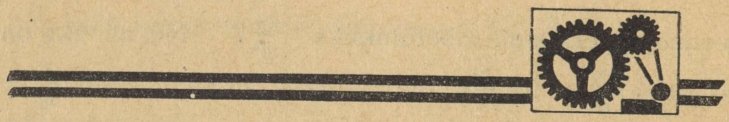
Alumiinium	$2{,}7 \cdot 10^4$	Vask	$8{,}9 \cdot 10^4$
Raud	$7{,}8 \cdot 10^4$	Kork	$0{,}24 \cdot 10^4$
Jää	$0{,}9 \cdot 10^4$	Teras	$7{,}8 \cdot 10^4$

Vedelikud

Bensiin	$0{,}70 \cdot 10^4$	Elavhõbe	$13{,}6 \cdot 10^4$
Vesi	$1{,}0 \cdot 10^4$	Piiritus	$0{,}79 \cdot 10^4$
Petrooleum	$0{,}8 \cdot 10^4$	Eeter	$0{,}71 \cdot 10^4$

Harjutus 4.

1. Mille poolest erinevad teineteisest mõisted «tihedus» ja «erikaal»?
2. Määrake täpsusega 0,1 massikilogrammi prototüübi valmistamiseks kasutatud sulami tihedus, kui prototüübi ruumala on 46,407 cm^3.
3. Arvutage Bratski hüdroelektrijaama tammi ehitamiseks kulutatud betooni mass, kui tammi ruumala on 7 260 000 m^3 ja betooni tihedus 2100 $\frac{kg}{m^3}$.
4. Sõiduauto «Moskvitš» mootor kulutab 100 km sõitmisel 7 kg bensiini. Kui pika maa saab selle autoga sõita kütusevaru täiendamata, kui kütusepaagi ruumala on 35 l?
5. Betoonplaadi mass on 1680 kg ning tihedus 2100 $\frac{kg}{m^3}$. Määrake plaadi ruumala.
6. Kas te suudate üles tõsta pangetäie elavhõbedat (pange ruumala on 10 l)? Aga kuupmeetri korki?
7. Malmist valatud ese kaalub 8,5 kG. Eseme ruumala on 1500 cm^3. Kas ese on seest täis või õõnes?



ALGTEADMISI MEHHAANIKAST.

II PEATÜKK.

MEHHAANILINE LIIKUMINE JA JÕUD.

§ 16. MEHHAANILISE LIIKUMISE MÕISTE.

Mehhaaniliseks liikumiseks nimetatakse mingi keha asendi muutumist teiste kehade suhtes, mis on tinglikult loetud liikumatuteks. Kõige sagedamini võetakse liikumatuks kehaks maapind. Maapinnaga liikumatult seotud esemed (mäed, metsad, majad jne.) liiguvad aga koos Maaga maailmaruumis. Maa pöörleb ümber oma telje ning pöörleb samal ajal ka ümber Päikese. Päike koos Maaga liigub aga tähtede suhtes.

Seega *kõik kehad looduses liiguvad. Igasugune paigalseis on suhteline.*

Ühe ja sama keha liikumine erinevate kehade suhtes näib erinevana. Nii näiteks on liikuva rongi vagunis istuv reisija vaguni seinte suhtes paigal, kuid raudteetammi suhtes liikuv. Reisija käest mahakukkunud ese kukub vaguni seinte suhtes vertikaalset sirget mööda, maapinna suhtes aga kõverjoont mööda.

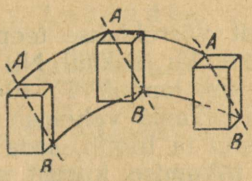
Järelikult, **igasugune liikumine ja paigalolek on suhteline.**

Keha liikumise kirjeldamiseks on tarvis teada, kuidas liiguvad keha mitmesugused punktid. Joont, mida mööda liigub keha mingi punkt, nimetatakse selle punkti liikumise *trajektooriks.* Trajektoori kujust olenevalt on liikumine kas *sirgjooneline* või *kõverjooneline.*

Liikumise ajal keha või selle punkti pool läbikäidud vahemikku nimetatakse *läbikäidud teeks.*

§ 17. KEHADE KULGEV JA PÖÖRLEV LIIKUMINE.

Kõige lihtsamaks tahke keha mehhaanilise liikumise vormiks on *kulgev liikumine.* Kulgeval liikumisel kirjeldavad keha kõik punktid ruumis *ühesugused trajektoorid* ning läbivad ühe ja sama ajavahemiku jooksul *ühepikkused teed.* Kulgev liikumine võib olla sirgjooneline (näiteks freespingi tera liikumine, höövli liikumine) või kõverjooneline (näiteks jalgrattapedaalide liikumine).



Joon. 23. Klotsi kulgev liikumine. Sirge *AB* jääb ruumis iseendaga paralleelseks.

Kulgeval liikumisel jääb keha mistahes kahte punkti ühendav sirge liikumise ajal iseendaga paralleelseks (joon. 23).

Tahke keha teiseks laialt levinud liikumise vormiks on *pöörlemine.* Pöörlemisel liiguvad keha kõik punktid mööda ringjooni. Nende ringjoonte keskpunktid asuvad kõik ühel sirgel — keha *pöörlemisteljel.* Pöörlevad rihmarattad, lihvimiskettad, freesid, ketassaed, õmblusmasina hoorattad jt. Ühe ja sama ajavahemiku jooksul läbivad pöörleva keha erinevad punktid erinevad teepikkused. Mida kaugemal on punktid pöörlemisteljest, seda pikema maa nad läbivad.

Kulgev ja pöörlev liikumine on tahke keha liikumise põhivormid. Keha mistahes keerulisem liikumine kujutab endast kulgevate ja pöörlevate liikumiste kombinatsioone. Jälgige seda puuri või krüvi liikumisel.

§ 18. ÜHTLANE LIIKUMINE JA MUUTUV LIIKUMINE.

Kulgev liikumine võib olla *ühtlane* ja *mitteühtlane* (muutuv). **Ühtlaseks nimetatakse sellist liikumist, kus keha mistahes võrdsetes ajavahemikes läbib võrdsed teepikkused.**

Lennaku lennuk iga minutiga 12 km. Kas tähendab see, et lennuki liikumine on ühtlane? Ei. Lennuk võib esimese 0,5 minutiga lennata 7 km, teise 0,5 minutiga aga 5 km. Ühtlaselt lendab lennuk sel juhul, kui ta *mistahes* võrdsetes ajavahemikes läbib võrdsed teepikkused, see tähendab — lennu iga sekundiga lendab ta 200 m, iga 0,1 sekundiga 20 m, iga 0,01 sekundiga 2 m jne.

Rangelt ühtlast liikumist on raske leida. Ligikaudselt ühtlasteks võib lugeda masinate veorihmade, transportöörilindi liikumist, samuti rongi liikumist lühikesel sirgjoonelisel teelõigul jne. Enamikul juhtudel on tegemist mitteühtlaste (muutuvate) liikumistega.

Mitteühtlaseks liikumiseks nimetatakse sellist liikumist, kus keha võrdsetes ajavahemikes ei läbi võrdseid teepikkusi. Selliselt liigub jaamast väljuv rong, enne ristteed kiirust vähendav auto jne.

§ 19. ÜHTLASE LIIKUMISE KIIRUS.

Igaüks teab, et lennuk TU-104 liigub kiiremini kui kiirrong, kosmoselaev omakorda aga kiiremini kui lennuk. Mille järgi hinnatakse nende kehade kiirusi?

Harilikult võrreldakse teepikkusi, mis kehad läbivad ühesuguse ajavahemiku jooksul. Nii näiteks läbib kosmoselaev 1 sekundiga üle 8 km, lennuk TY-104 umbes 280 m ja kiirrong umbes 35 m. Mida pikema vahemaa läbib keha ühe ajaühiku jooksul, seda kiiremini ta liigub, seda suurem on keha liikumise kiirus.

Ühtlase liikumise kiirust mõõdetakse keha poolt ajaühikus läbitud tee pikkusega.

SI-süsteemis on kiiruse ühikuks sellise ühtlase liikumise kiirus, mille juures keha 1 sekundis läbib 1 m. Mitmesuguste transpordivahendite kiirust mõõdetakse kilomeetrites tunnis $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$. Metallide lõikamiskiirust treipinkidel mõõdetakse harilikult meetrites minutis $\left(\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)$.

Kui autobuss sõidab 25 sekundiga 400 m, siis on sõiduki kiirus:

$$\frac{400\ \text{m}}{25\ \text{s}} = 16\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Kui tähistada keha liikumise kiirus tähega v, läbitud tee tähega s ning liikumiseks kulunud aeg tähega t, siis võime kiiruse arvutamise valemi kirjutada järgmiselt:

$$v = \frac{s}{t}.$$

Näide 1. Mootorrattur sõitis 20 minutiga 24 km. Arvutada tema kiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ja $\frac{\text{km}}{\text{h}}$-des.

Antud:

$t = 20\ \text{min} = 1200\ \text{s};$
$s = 24\ \text{km} = 24\,000\ \text{m}.$

Leida v.

Lahendus:

$$v = \frac{s}{t};$$

$$v = \frac{24\,000\ \text{m}}{1200\ \text{s}} = 20\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Selleks et väljendada antud kiirust $\frac{\text{km}}{\text{h}}$-des, tuleb teepikkust mõõta kilomeetrites, aega aga tundides:

$$v = 20\frac{\text{m}}{\text{s}} = 20\frac{0{,}001\ \text{km}}{\frac{1}{3600}\ \text{h}} = 20 \cdot \frac{3600\ \text{km}}{1000\ \text{h}} = 72\frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Näide 2. Kaubarong liikus 30 sekundit ühtlaselt kiirusega $54\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Väljendada rongi kiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$-tes ja leida rongi poolt selle aja jooksul läbitud tee.

Antud:

$t = 30$ s;

$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Leida s.

Lahendus:

$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 54 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{540 \text{ m}}{36 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Valemist $v = \frac{s}{t}$ leiame $s = vt$;

$s = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 30 \text{ s} = 450 \text{ m}$.

Valemit $s = vt$ nimetatakse *ühtlase liikumise võrrandiks.*

Ühtlasel liikumisel on läbitud tee pikkus võrdeline liikumise ajaga.

Mõned looduses ja tehnikas esinevad kiirused $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Traktor ДТ-75	kuni	3
Kombain СК-4	„	5
Lehtterase valtsimise kiirus	„	20
Terase lõikamise kiirus	„	35
Auto «Volga»	„	36
Elektrivedur Н-40	„	44
Lennuk ИЛ-18	„	180
Reaktiivlennukid	„	740
Kosmoselaev	ligikaudu	8 000
Maa ümber Päikese	„	30 000

Kasutades tabelis antud kiirusi, koostage ülesandeid, kus on vaja leida läbitud tee pikkus või liikumise aeg.

Transpordimasinate kiirust mõõdetakse spetsiaalse mõõteriista — *spidomeetri* abil.

§ 20. ÜHTLASE SIRGJOONELISE LIIKUMISE TINGIMUS.

Keha liikumise kiirus või suund muutub kehale mõjuva jõu tulemusena (§ 7). Kas võib keha, millele mõjuvad jõud, liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt?

Jälgime autobussi liikumist sirgel horisontaalsel teelõigul. Mootori poolt arendatav veojõud põhjustab autobussi kiiruse suurenemise. Rataste hõõrdumine vastu teed, hõõrdumine laagrites ning vastuvoolava õhujoa takistus aga vähendavad autobussi kiirust. Liikumiskiiruse suurenemisel õhuvoolu takistus suureneb. Teatud kiiruse juures saab takistavate jõudude summa (takistav jõud) võrdseks mootori veojõuga. Kuna takistav jõud ja veojõud on suunatud piki ühte sirget üks ühele, teine teisele poole, siis nad *tasakaalustavad* teineteist. Sellest momendist alates liigub autobuss *ühtlaselt* mööda sirgjoont.

Lennuk lendab ühtlaselt ja sirgjooneliselt siis, kui mootorite veojõud on võrdne õhutakistusega.

Järelikult, **ühtlane sirgjooneline liikumine toimub siis, kui liikumist põhjustav jõud tasakaalustab keha liikumist takistava jõu.** Teiste sõnadega — *keha liigub ühtlaselt, kui temale mõjuvad jõud tasakaalustavad üksteist.*

§ 21. MITTEÜHTLASE LIIKUMISE KIIRUS ANTUD PUNKTIS JA KESKMINE KIIRUS.

Kui jälgida autobussi spidomeetrit sõidul ühest peatusest teise, siis näeme, et autobuss sõidab muutuva kiirusega. Liikuma hakates sõidab autobuss kiirenevalt (kiirus kogu aeg suureneb). Seejärel sõidab buss mõnda aega enam-vähem ühtlaselt. Peatusele lähenedes hakkab buss liikuma aeglustuvalt (kiirus kogu aeg väheneb).

Kiirust, mis on kehal antud ajamomendil või antud trajektoori punktis, nimetatakse kiiruseks antud punktis (ka hetkeliseks kiiruseks).

Spidomeeter mõõdabki kiirust antud punktis.

Sageli räägitakse, et lennuk TU-104 lendas Taškendist Moskvasse *keskmise kiirusega* 900 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Keskmise kiiruse mõiste põhineb võimalusel asendada mitteühtlane liikumine ühtlase liikumisega. Nii näiteks läbib kiirrong Moskva ja Leningradi vahelise 660 km pikkuse vahemaa 6 tunniga. Rongi liikumine on mitteühtlane, mõnel teelõigul rongi kiirus suureneb, mõnel väheneb. Bologoje jaamas rong aga peatub. Seejuures võib esitada küsimuse — missuguse ühtlase kiirusega peaks rong sõitma, et läbida need 660 km 6 tunniga?

Sellise ühtlase kiiruse leiame, kui jagame teepikkuse ajaga:

$$v = \frac{660 \text{ km}}{6 \text{ h}} = 110 \ \frac{\text{km}}{\text{h}} .$$

Arvutatud kiirus on rongi mitteühtlase liikumise keskmiseks kiiruseks.

Järelikult **mitteühtlase liikumise keskmine kiirus on võrdne sellise ettekujutatava ühtlase liikumise kiirusega, mille juures läbitakse mitteühtlasel liikumisel läbitud teepikkusega võrdne tee sama ajaga mis mitteühtlasel liikumiselgi:**

$$v_k = \frac{s}{t} .$$

Näide. Auto sõitis esimesed 6 km 5 minutiga, ülejäänud 18 km aga 10 minutiga. Millise keskmise kiirusega sõitis auto esimesel ja teisel teelõigul ning kogu teel?

Antud:

$s_1 = 6$ km $= 6000$ m;

$t_1 = 5$ min $= 300$ s;

$s_2 = 18$ km $= 18\,000$ m;

$t_2 = 10$ min $= 600$ s.

Leida v_{k_1}, v_{k_2} ja v_k.

Lahendus:

$$v_k = \frac{s}{t}.$$

Esimesel teelõigul:

$$v_{k_1} = \frac{s_1}{t_1} = \frac{6000 \text{ m}}{300 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Teisel teelõigul:

$$v_{k_2} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{18\,000 \text{ m}}{600 \text{ s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Kogu teepikkus:

$$s = 6 \text{ km} + 18 \text{ km} = 24 \text{ km}.$$

Kogu tee läbimiseks kulutatud aeg:

$$t = 300 \text{ s} + 600 \text{ s} = 900 \text{ s}.$$

Keskmine kiirus kogu teel:

$$v_k = \frac{24\,000 \text{ m}}{900 \text{ s}} = \frac{240 \text{ m}}{9 \text{ s}} \approx 27 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Seega võib liikumise keskmine kiirus olla erinevatel teelõikudel erinev.

§ 22. PÖÖRLEVA LIIKUMISE KIIRUS.

Pöörlemisel liiguvad keha kõik punktid mööda ringjooni (§ 17). Kiirust, millega pöörleva keha mingi punkt liigub mööda ringjoont, nimetatakse selle punkti *joonkiiruseks. Mida kaugemal asub keha punkt pöörlemisteljest, seda suurem on selle punkti joonkiirus.*

Pöörleva keha mingi punkti joonkiiruse teadmine ei võimalda veel iseloomustada keha kui terviku pöörlemist (miks?). Keha pöörlemise kiiruse üle otsustatakse keha poolt ajaühikus tehtud pöörete arvu järgi.

Füüsikas mõõdetakse pöörlemiskiirust pöörete arvuga sekundis, tehnikas aga pöörete arvuga minutis.

Mõned tehnikas esinevad pöörlemiskiirused

$\left(\frac{\text{p}}{\text{min}}\right)$

Iseliikuva kombaini C-4M trummel	1000
Traktori ДТ-54 väntvõll	1300

Elektrimootori võll	730—2900
Puur-, frees- ja treipinkide spindlid	kuni 2000
Auruturbiini võll	3000
Ketrusmasina värten	18 000

Mitmesuguste võllide pöörlemiskiiruste mõõtmiseks kasutatakse *tahhomeetrit.*

Avaldame pöörlemise joonkiiruse ajaühikus tehtava pöörete arvu ja ringjoone raadiuse kaudu.

Märgime joonkiiruse tähega v, pöörete arvu sekundis tähega n ning tähega r selle ringjoone raadiuse, millel liigub meie poolt valitud punkt.

Kui lugeda pöörlemist ühtlaseks, siis võib joonkiiruse arvutamiseks kasutada valemit $v = \frac{s}{t}$.

Ühe pöörde jooksul läbib vaadeldav punkt tee, mis on võrdne selle ringjoone pikkusega, millel punkt liigub: $s = 2\pi r$; üheks pöördeks kuluv aeg ehk pöörlemisperiood $T = \frac{1}{n}$. Järelikult

$$v = \frac{2\pi r}{\frac{1}{n}}; \qquad v = 2\pi r n \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right).$$

Kui pöörlemiskiirust mõõdetakse pöörete arvuga minutis, punkti pöörlemistrajektooriks oleva ringjoone diameetrit D millimeetrites, siis saab joonkiiruse valem järgmise kuju:

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right).$$

Tuletage see valem iseseisvalt!

N ä i d e. Arvutada auruturbiini tööratta piirdel asuva punkti joonkiirus. Tööratta diameeter on 940 mm, pöörlemiskiirus $3000 \frac{\text{p}}{\text{min}}$.

A n t u d:

$D = 940$ mm;

$n = 3000 \frac{\text{p}}{\text{min}}$.

Leida v.

L a h e n d u s:

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000};$$

$$v = \frac{3{,}14 \cdot 940 \cdot 3000}{60 \cdot 1000} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 148 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Harjutus 5.

1. Vaadelge mingi tööpingi (või masina) töötamist. Tehke kindlaks, millised pingi osad liiguvad kulgevalt ning millised pöörlevad. Milliste tunnuste järgi te liikumisi eristate?

2. Mootorlaev arendab kiirust 41,6 $\frac{km}{h}$, sõiduauto «Tšaika» aga 160 $\frac{km}{h}$. Väljendage need kiirused $\frac{m}{s}$-tes.

3. Kirjutage paragrahvis 19 toodud tabelist välja auto, lennuki ning kosmoselaeva kiirused ning väljendage need $\frac{km}{h}$-des.

4. Langevarjur langeb ühtlaselt kiirusega 5 $\frac{m}{s}$. Kui pika ajaga langeb ta 1 km võrra?

5. Kiiruisutaja J. Grišin püstitas 1963. a. maailmarekordi 500 m uisutamises, läbides distantsi 39,5 sekundiga. Leidke uisutaja keskmine kiirus ning väljendage see $\frac{km}{h}$-des.

6. Traktorist kündis 3 tundi kiirusega 7,4 $\frac{km}{h}$ ning siis 2 tundi kiirusega 3,6 $\frac{km}{h}$. Kui pika tee sõitis traktor kündmisel ning milline oli seejuures traktori keskmine kiirus?

7. Treipingil treitakse 360 mm diameetriga rihmaratast. Padrun, millesse on kinnitatud treitav ratas, pöörleb kiirusega 240 $\frac{p}{min}$. Määrake terase lõikamise kiirus.

8. Viljapeksumasina MC-1100 trumli diameeter on 53 cm. Trumli piirdel olevate punktide joonkiirus on 32 $\frac{m}{s}$. Mitu pööret teeb see trummel minutis?

9. Arvutage Bratski hüdroelektrijaama turbiini tööratta piirdel olevate punktide joonkiirused, kui tööratta diameeter on 5,5 m ning pöörlemiskiirus 125 $\frac{p}{min}$.

§ 23. INERTS.

Igapäevastest kogemustest on kõigile teada, et mitte ükski paigalolev keha ei hakka ilma teiste kehade mõjuta liikuma.

Samuti on teada, et kehad *jätkavad liikumist* antud suunas ka pärast seda, kui lakkas neile kiiruse andnud jõu mõju. Nii libiseb mäest allajõudnud suusataja veel mõnda aega mööda horisontaalset pinda, auto veereb pärast mootori väljalülitamist veel teatud aja esialgses suunas. Nii suusataja kui ka auto kiirus vähenevad hõõrdumise ja õhutakistuse mõjul. Mida väiksem on liikumist pidurdav jõud, seda kauem kehad liiguvad. Kui pidurdavat jõudu üldse ei oleks, siis liiguksid kord liikuma hakanud kehad kuitahes kaua. Kui kehale ei mõju jõude (§ 7), siis ei ole ka põhjust, mille mõjul peaks muutuma liikumise suund, ning keha jätkab sirgjoonelist liikumist.

Mehhaaniliste nähtuste tundmaõppimine võimaldab teha järelduse, et *mistahes keha säilitab paigaloleku või ühtlase sirgjoonelise liikumise, kui talle ei mõju mingid teised kehad.* Esimesena tuli sellele järeldusele itaalia õpetlane Galileo Galilei (1564—1642). Hiljem viis Newton selle Galilei avastuse teadusesse *liikumise esimese seaduse* nime all:

Iga keha seisab paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt senikaua, kuni temale mõjuvad jõud seda olekut ei muuda.

Kehade omadust seista paigal või liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt nimetatakse *inertsiks*[1]. Inerts on omane kõikidele kehadele, see on üks kõige üldisematest kehade omadustest looduses. Kehade inerts avaldub kahel viisil.

Kui kehale ei mõju jõude või kui kehale mõjuvad jõud tasakaalustavad üksteist (§ 20), siis avaldub inerts selles, et kehad kas seisavad paigal või liiguvad ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Sel juhul avaldub inerts ühteviisi kõikidel kehadel.

Kui kehale mõjub üks või mitu tasakaalustamata jõudu, siis avaldub keha inerts selles, et liikumise kiirus või suund ei muutu mitte silmapilkselt, vaid *järk-järgult*. Ei ole võimalik silmapilkselt peatada liikuvat rongi või autot. Täpselt samuti pole võimalik silmapilkselt anda autole või rongile vajalikku kiirust. Isegi tulistamisel ei suuda määratu suured gaaside rõhumisjõud anda kuulile silmapilkselt ettenähtud kiirust. Liikumisel vintrauas kasvab kuuli kiirus järk-järgult, vaatamata sellele, et rauas liikumise ajavahemikku tuleb siin mõõta sekundi sajandikega. Sellistel juhtudel avaldub inerts erinevate kehade juures erinevalt.

Liikugu maanteel ühesuguste kiirustega tühi ja koormaga veoauto. Mõjugu neile pidurdamisel ühesugused jõud. Kumb auto peatub seejuures varem? Katse näitab, et pidurdamisel liigub koormaga auto kauem kui koormata. Ilmselt väheneb koormaga auto kiirus pidurdamisel aeglasemalt. Järelikult on suurema massiga auto *inertsem*.

Seega, **mida suurem on keha mass, seda aeglasemalt muutub mõjuva jõu tulemusena tema kiirus, seda inertsem on keha.**

Kehade inertsi kasutatakse nii koduses majapidamises kui ka tootmises.

Autobussi järsul pidurdamisel kalduvad reisijad liikumise suunas (miks?). Auto järsul pöördumisel paremale kalduvad reisijad auto vasaku seina poole. Nähtus seletub sellega, et reisijad jätkavad liikumist mööda sirgjoont, auto aga liigub mööda kõverat.

Tehnikas arvestatakse alati kehade inertsi; mõnikord võib inerts osutuda kasulikuks, teinekord aga kahjulikuks.

Diiselveduri juht lülitab mootori välja juba sadu meetreid enne jaama, sest ta teab, et rong võib mõnda aega liikuda ka ilma veduri tõmbejõuta.

Kogemusteta autojuhid, asudes pukseerima teist masinat, «võtavad paigalt» liiga äkki. Selle tulemusena võib masinaid ühendav terastross katkeda. Trossi katkemise põhjustab asjaolu, et pukseeritav masin ei suuda inertsi tõttu arendada küllalt suurt kiirust ajal, mil trossile mõjub juba suur veojõud. Seda arvestades on tõstekraanadel trossi ja konksu vahele paigutatud vedru. Vedru

[1] Ladinakeelsest sõnast *inertia* — tegevusetus, liikumatus.

tagab tõstetavale koormale mõjuva jõu järkjärgulise kasvamise ning hoiab seega ära trossi katkemise.

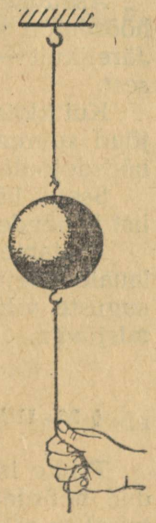
Liikuva keha kiiruse järsk muutus põrkamisel vastu takistust (või teist liikuvat keha) põhjustab küllalt suurte jõudude tekkimise. Kehade inertsi kasutatakse vasara, kirve ja teiste tööriistadega töötamisel.

Põllumajanduses kasutatakse viljaterade inertsi nende eraldamiseks põhust ja aganatest. Viljapeksumasina trumlist väljunud mass satub põhupuistajatele ja sõeltele, mis võnguvad edasi-tagasi. Seejuures lendavad massiivsemad terad kõrvale ning eralduvad niiviisi põhust.

Edasi-tagasi liikuvate masinaosade inerts põhjustab masina vundamendi ja masina sõlmede lagunemist.

Harjutus 6.

1. Miks võib jooksu pealt hüpata kaugemale kui paigalt?
2. Miks eemaldub kloppimisel ja raputamisel riietelt tolm?
3. Miks vähendab autojuht enne pöördeid kiirust?
4. Massiivne keha on riputatud peenikese nööri otsa. Koormuse alla on kinnitatud samasugune nöör (joon. 24). Kui tõmmata aeglaselt alumisest niidist, siis katkeb ülemine niit. Äkilise tõmbe korral katkeb aga alumine niit. Miks?
5. Höövliraua väljavõtmiseks lüüakse höövlile puuhaamriga. Miks seda tehakse? Millisele höövli osale seejuures lüüakse?



Joon. 24. Harjutus 6 ülesande 4 juurde.

§ 24. HÕÕRDEJÕUD.

Ühe keha liikumisel mööda teise keha pinda tekib *hõõrdejõud*, mis on keha liikumissuunaga vastupidine. Hõõrdejõu tekkimise üheks peamiseks põhjuseks on hõõrduvate pindade konarlisus. Ükskõik kui hoolikalt me kehade pindu ka ei lihviks, ikka jäävad sinna ebatasasused ja nukikesed. Üksteise taha haakudes takistavad nad ühe keha liikumist mööda teise keha pinda.

Hõõrdejõuks nimetatakse sellist jõudu, mis takistab ühe keha liikumist mööda teise keha pinda.

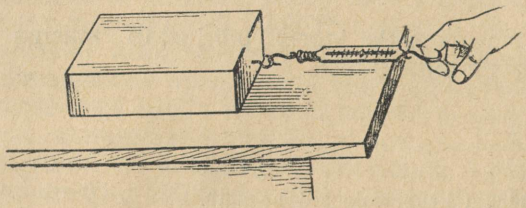
Esineb mitut liiki hõõrdumist.

Ühe keha libisemisel teist keha mööda tekib *libisemishõõrdumine*. Kui keha ei libise, vaid veereb teist keha mööda, siis tekib *veerehõõrdumine*. Hõõrdejõud on veeremisel kümneid kordi väiksem kui libisemisel.

Hõõrdejõud mõjub ka liikumatutele kehadele. Proovige kätega, ilma tangide abita naela lauast välja tõmmata! Vaevalt et see teil õnnestub. Naela hoiab lauas kinni hõõrdejõud. Seda hõõrdejõudu

nimetatakse *paigaloleku hõõrdejõuks*. Paigaloleku hõõrdejõud on alati suurem kui hõõrdejõud libisemisel.

Libisemisel tekkiva hõõrdejõu mõõtmiseks asetame puuklotsi selle suurema tahuga pikale siledale horisontaalselt asetatud lauale ning veame siis klotsi dünamomeetri abil ühtlaselt mööda lauda (joon. 25). Klotsile mõjuvad seejuures horisontaalselt üheaegselt kaks jõudu — veojõud (inimese lihaste jõud) ja hõõrdejõud. Ühtlasel liikumisel on need jõud võrdsed (§ 20). Järelikult, mõõtes veojõudu ühtlasel liikumisel, määrame samaaegselt ka hõõrdejõu suuruse.



Joon. 25. Hõõrdejõu mõõtmine libisemisel.

Asetame nüüd klotsi väiksemale tahule ning mõõdame uuesti hõõrdejõu suuruse. Saame sama tulemuse mis eelmises katses. Järelikult — *hõõrdejõud ei olene kokkupuutuvate pindade suurusest.*

Kui klotsi vedada krobelisel tahul mööda lauda, siis on hõõrdejõud suurem. Klotsi vedamisel mööda siledat terasplaati saame hõõrdejõule teistsuguse väärtuse.

Seega hõõrdejõu suurus oleneb hõõrduvate pindade materjalist ja nende sileduse astmest.

Asetame klotsile vihi, suurendades sellega klotsi rõhumist lauale. Seejuures suureneb ka hõõrdejõud. Korrates katset mitmesuguste vihtidega, veendume, et **hõõrdejõud on võrdeline rõhumisjõuga.**

§ 25. LIUGEHÕÕRDUMISE TEGUR.

Tehke iseseisvalt liugehõõrdejõu mõõtmisi ning võrrelge saadud hõõrdejõude rõhumisjõududega. Kehade horisontaalsel liikumisel on rõhumisjõud võrdne keha kaaluga.

Laboratoorne töö nr. 2.
Liugehõõrdumise teguri määramine.

Tööriistad: siledapinnaline laud, puuklots, kolm ühesuguse raskusega vihti, dünamomeeter.

Töö käik.

1. Määrake klotsi kaal.

2. Määrake liugehõõrdejõud algul ühe, siis kahe ja kolme vihi asetamisega klotsile.

3. Mõõtmistulemused kirjutage järgmisse tabelisse.

Katse nr.	Klotsi kaal	Rõhumisjõud (klotsi ja vihtide kaal) F_r	Hõõrdejõud F_h	Hõõrdejõu ja rõhumisjõu suhe $\frac{F_h}{F_r}$	Suhte keskmine väärtus k

4. Arvutage iga katse jaoks hõõrdejõu ja rõhumisjõu suhe k ning selle keskmine väärtus.

Järeldus: *antud pindade korral on hõõrdejõu ja rõhumisjõu suhe konstantne.* Suhe ei muutu rõhumisjõu muutumisel. Seda suhet nimetatakse *liugehõõrdumise teguriks.*

Liugehõõrdumise tegur on nimeta arv. See arv näitab, millise osa moodustab hõõrdejõud rõhumisjõust. Liugehõõrdumise tegur oleneb hõõrduvate pindade materjalist ja nende töötlemise kvaliteedist.

Kui tähistada hõõrdejõudu tähega F_h, rõhumisjõudu tähega F_r ja hõõrdetegurit tähega k, siis

$$k = \frac{F_h}{F_r}.$$

Mitmesuguste materjalide liugehõõrdumise tegureid (kuivade pindade korral)

Teras mööda jääd (uisud)	0,015
Teras mööda terast	0,17
Teras mööda malmi	0,13
Puit mööda puitu	0,33
Nahkrihm mööda malmi	0,3—0,5
Kumm mööda asfalti	0,44—0,68

Hõõrdeteguri ja rõhumisjõu teadmine võimaldab arvutada hõõrdejõu:

$$F_h = kF_r.$$

§ 26. HÕÕRDUMISE TÄHTSUS TEHNIKAS JA IGAPÄEVASES ELUS.

Hõõrdumine võib olla nii kasulik kui ka kahjulik. Neil juhtudel, kus hõõrdumine on kasulik, tuleb seda suurendada, kahjulikku hõõrdumist on tarvis aga vähendada.

Käimisel tõukame me ennast maast eemale. Seda võimaldab hõõrdumine saapatalla ja maa vahel. Hõõrdumise tõttu saavad

liikuda rongid, autod ja teised transpordivahendid. Mootorvedurite veorattad[1] tõukuvad rööbastelt, autode veorattad aga maanteelt.

Paigaloleku hõõrdumisel põhineb rihmülekannete ja ühendusmuhvide kasutamine tööpinkide, autode ja teiste masinate juures. Raskuste edasitoimetamine transportööri abil põhineb samuti paigaloleku hõõrdumisel.

Kui ei oleks hõõrdumist, siis poleks võimalik valmistada ei kedrust ega riiet, õmmelda rõivaid ega jalatseid. Kõik kangad laguneksid üksikuteks lõngadeks, lõngad omakorda aga väikesteks karvakesteks. Kui puuduks hõõrdumine, siis ei jääks ükski nael puitu püsima, poldid, mutrid ja puidukruvid pöörleksid lahti, mitmesugused masinad ja seadmed logiseksid lahti ning laguneksid juhuslike tõugete tulemusena.

Hõõrdejõudu saab suurendada kahel viisil — hõõrdeteguri suurendamisega ja rõhumisjõu suurendamisega.

Hõõrdumise suurendamiseks tehakse autokummide välispind mustriline. Hõõrdumise suurendamiseks kohalt liikumisel või mäkke tõusmisel riputatakse veduri rataste ette rööbastele liiva. Siduriketaste ja teiste ühendusketaste valmistamiseks kasutatakse spetsiaalseid suure hõõrdeteguriga materjale.

Mootorvedurid ja elektrivedurid kaaluvad palju. See võimaldab avaldada veorataste abil suurt rõhumisjõudu rööbastele ning sellega suurendada hõõrdejõudu. Samal eesmärgil pingutatakse veorihmu jõumasinate ja tööpinkide vahel.

Masinate ja mehhanismide liikuvates osades on hõõrdumine kahjulik, sest see põhjustab võllide, laagrite ja teiste osade enneaegset kulumist. Peale selle peab mootor arendama hõõrdumise ületamiseks täiendavat jõudu, mis on aga seotud kütuse või elektrienergia täiendava kuluga.

Hõõrdumist vähendatakse põhiliselt kolmel viisil: määrimisega, väikese hõõrdeguritega materjalide valimisega ja liugehõõrdumise asendamise teel veerehõõrdumisega.

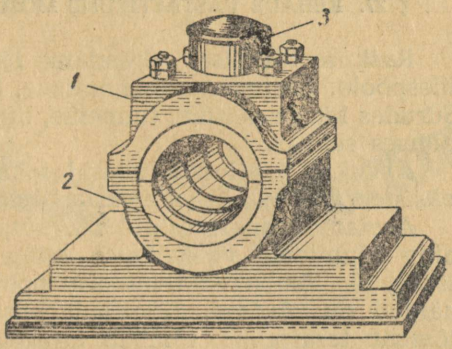
Määrimisel täidab õli- või tavotikiht hõõrduvate pindade vahelise ruumi ning hoiab pindu sellega teineteisest eemal. Selle tulemusena asendub tahke keha pindade vaheline hõõrdumine määrdekihtidevahelise hõõrdumisega. See vähendab hõõrdegurit 8—10 korda.

Liugelaagrites (joon. 26) kasutatakse spetsiaalsetest sulamitest, nn. babiitidest[2], plastmassidest või spetsiaalsetest pronksisulamitest valmistatud laagriliudu. Liugehõõrdumise tegur babiitlaagrites (määrimisega) on 0,005, plastmasslaagrites 0,003 kuni 0,01.

---

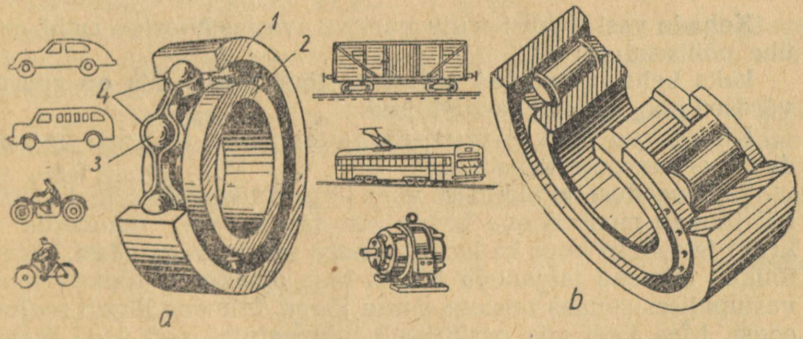
[1] Mootorvedurite, autode ja teiste transpordivahendite veorattad on ühendatud mootoriga, mis paneb need pöörlema.

[2] Babiit — plii, inglistina, antimoni ja vase sulam. Olenevalt laagri omadustest kasutatakse erinevate suhetega sulameid — babiite.



Joon. 26. Liugelaager. *1* — malmkorpus; 2 — babiidist laagriliud; *3* — määrdekann.

Liugehõõrdumine asendatakse veerehõõrdumisega kuul- või rull-laagrite abil. Joonisel 27, *a* on kujutatud lihtsaima kuullaagri ehitus. Kuullaager koosneb välimisest (*1*) ja sisemisest (2) rõngast, mille vahele on asetatud kuulid (3). Rõngad ja kuulid valmistatakse spetsiaalsetest karastatud terasesortidest. Separaator *4* eraldab kuule üksteisest ning vähendab sellega hõõrdumist ning laagri kulumist.



Joon. 27. *a* — üherealine radiaalne kuullaager; *b* — silindriline rull-laager.

Laagri välimine rõngas kinnitatakse liikumatult masina kere külge, sisemine rõngas asetatakse aga võllile. Võlli pöörlemisel veereb sisemine rõngas kuulidel, kuulid omakorda aga välisel rõngal. Kuullaagreid kasutatakse laiaulatuslikult mitmesugustes masinates ja mootorites.

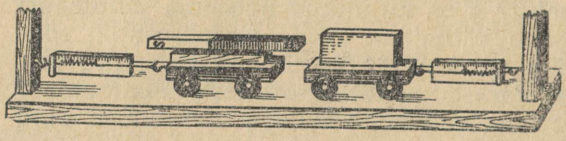
10 tonnist suuremate koormuste jaoks ettenähtud laagrites kasutatakse kuulide asemel silindrilisi rullikesi (joon. 27, *b*). Rull-laagreid kasutatakse valtsimispinkides, võimsates kaevandustõstukites, raudteevagunites, trammides, elektrimootorites ja mujal.

§ 27. KEHADE VASTASTIKUNE MÕJU.

Raskuse tõstmisel rakendame lihaste jõudu, mis on suunatud ülespoole. Seejuures me tunneme, kuidas raskus surub kätt alla. Surudes käega peitlile, tunneme, kuidas peitel rõhub käele vastupidises suunas.

Arvukad vaatlused lubasid teha järgmise järelduse: *looduses eksisteerib ainult kehade* **vastastikune** *mõju.*

Asetame vankrikestele magnetpulga ja teraspulga (joon. 28) ning kinnitame vankrikeste külge dünamomeetrid. Magnet ja teraspulk tõmbuvad teineteise poole, kusjuures dünamomeetrite näidud on võrdsed. Järelikult niisama suure jõuga kui magnet tõmbab teraspulka, tõmbab teraspulk ka magnetit.



Joon. 28. Magnet ja teraspulk tõmbavad teineteist võrdse jõuga.

Kehade vastastikust mõju uurides avastas Newton mehhaanika ühe põhiseaduse:

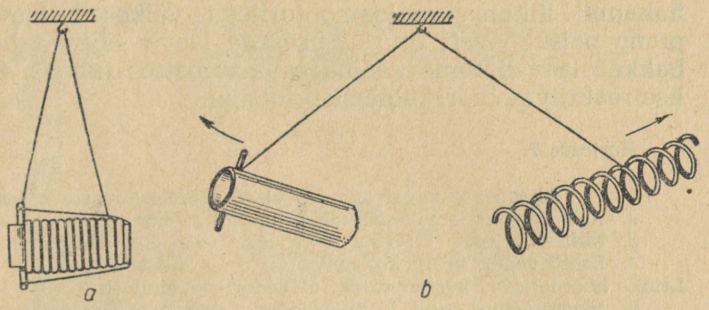
kaks keha mõjutavad teineteist jõududega, mis on suuruselt võrdsed ning suunalt vastupidised.

Kirjeldatud jõud ei tasakaalusta teineteist, sest nad on rakendatud erinevatele kehadele.

Selle seaduse avaldumist võib jälgida tõepoolest igal sammul. Nii tõukab mootorlaeva kruvi vett tagasi, vesi omakorda aga kruvi ja sellega koos ka laeva niisama suure jõuga edasi. Käimisel tõukab inimene jalgadega Maad. Maa omakorda tõukab inimest vastupidises suunas niisama suure jõuga. Inimene liigub seejuures edasi, Maa jääb aga praktiliselt liikumatuks, sest Maa mass on inimese massiga võrreldes määratu suur. Täpselt samuti seletub auto ja teiste transpordivahendite liikumine.

Kosmoselaevad, Maa kunstlikud kaaslased, ballistilised raketid ja reaktiivlennukid pannakse liikuma reaktiivmootorite abil, mis töötavad kehade vastastikuse mõju seaduse alusel.

Reaktiivliikumise printsiibi mõistmiseks teeme järgmise katse. Võtame 15 cm pikkuse spiraalvedru ning asetame selle alumiiniumtorukesele, mille ühes otsas asub väike tihvt. Surume vedru kokku ning kinnitame siis niidi abil toru külge. Toru ja vedru otsa külge kinnitame peenikesed traadikesed, mille abil neid saab üles riputada (joon. 29, *a*). Kui nüüd niit läbi põletada, siis lendavad vedru ja toruke vastupidistes suundades (joon. *29, b*). Sirge-



Joon. 29. Vedru ja torukese vastastikune mõju.

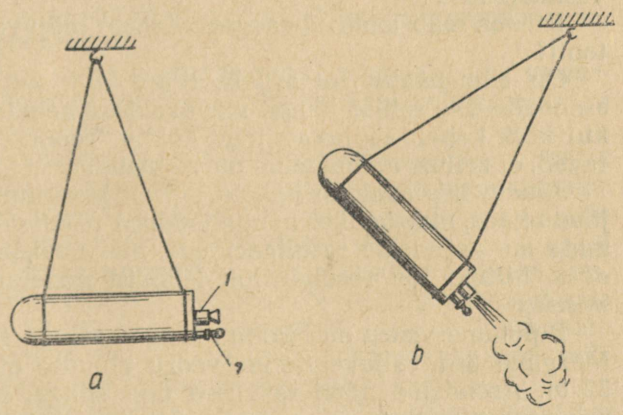
nedes tõukab vedru torukest mingi jõuga, toruke aga tõukab vedru niisama suure jõuga vastupidises suunas.

Teeme veel ühe katse. Võtame kerge metallballooni ning surume sellesse pumba abil õhku (2—3 at). Ballooni väljalasketoru on seejuures tihedalt suletud kummikorgiga. Korgile surub kangike, mille ots on niidi abil kinni seotud. Selliselt ettevalmistatud ballooni riputame statiivile (joon. 30, *a*). Pärast kangikese kinnitusniidi läbipõletamist kaldub balloon tasakaaluasendist mingi nurga võrra kõrvale (joon. 30, *b*).

Kokkusurutud õhk mõjub (analoogiliselt vedruga) mingi jõuga balloonile ning paneb selle liikuma. Samal ajal mõjub balloon muidugi õhule vastupidises suunas.

Nendel nähtustel põhineb reaktiivmootori ehitus. Kütuse põlemisel tekkivad gaasid tõukavad mootori korpust ning panevad selle liikuma.

Viimastel aastatel on meie maa veevaestel madalatel jõgedel



Joon. 30. Gaasijoa reaktsioon. *1* — õhu väljalasketoru; 2 — nippel pumba kinnitamiseks.

hakanud liikuma veejoamootoritega väikesed laevad. Võimas pump paiskab vett suure kiirusega laeva ahtri taha. Seejuures hakkab laev liikuma veejoaga vastupidises suunas. Selgitage sellise reaktiivmootori töötamisprintsiipi.

Harjutus 7.

1. Miks pannakse talvel mõnikord veoautode tagumiste rataste ümber ketid?
2. Kas laagrite ja veorihmade määrimiseks kasutatakse ühesuguseid aineid?
3. Milleks lüüakse kirvevarre kirvepoolsesse otsa metall- või puukiil?
4. Elektrivedur veab horisontaalsel teel ühtlaselt 2400 T raskust rongi. Leidke hõõrdetegur, kui on teada, et veduri veojõud on 7200 kG.
5. Mootorveduri ratta ja piduriklotsi vaheline hõõrdejõud on 280 kG. Klotsi surutakse ratta vastu jõuga 2000 kG. Leidke hõõrdetegur piduriklotsi hõõrdumisel vastu ratast.
6. Universaaltreipingi supordi kaal on 80 kG. Kui suur hõõrdejõud tekib supordi liikumisel, kui liugehõõrdumise tegur on 0,15?
7. Kui suurt jõudu on vaja puitjalastega saani vedamiseks mööda järvejääd, kui saan kaalub 600 kG ning hõõrdetegur on 0,035?
8. Miks tunneb laskur tulistamisel tõuget vastu õlga?

III PEATÜKK.

JÕUDUDE LIITMINE. KEHADE TASAKAAL.

§ 28. MÖÖDA ÜHTE SIRGET MÕJUVATE JÕUDUDE LIITMINE.

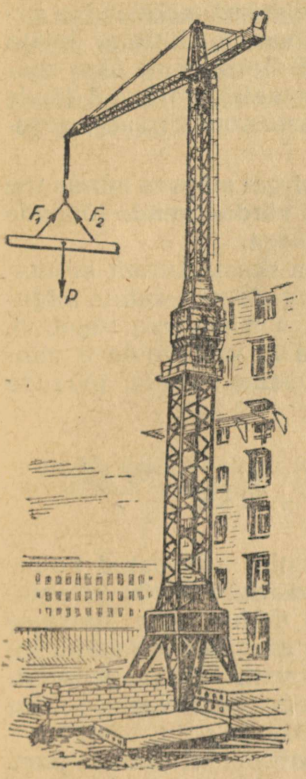
Tehnikas ja igapäevases elus kohtame kõige sagedamini selliseid olukordi, kus kehale mõjub korraga mitte üks, vaid mitu jõudu. Nende jõudude mõjul võivad kehad kas liikuda või seista paigal. Nii näiteks mõjub laskuvale langevarjurile raskusjõud ja vastuvoolava õhujoa takistus. Tornkraana abil tõstetavale ehitusdetailile (joon. 31) mõjub mitu jõudu: F_1 ja F_2 trossi poole ning raskusjõud P.

Kuidas saab leida üheaegselt kehale mõjuva mitme jõu resultanti?

On silmanähtav, et selleks tuleb kõik kehale mõjuvad jõud asendada ühe sellise jõuga, mis avaldaks kehale samasugust mõju kui kõik kehale mõjuvad jõud kokku. Teooria ja praktika kinnitavad, et selline asendamine on võimalik.

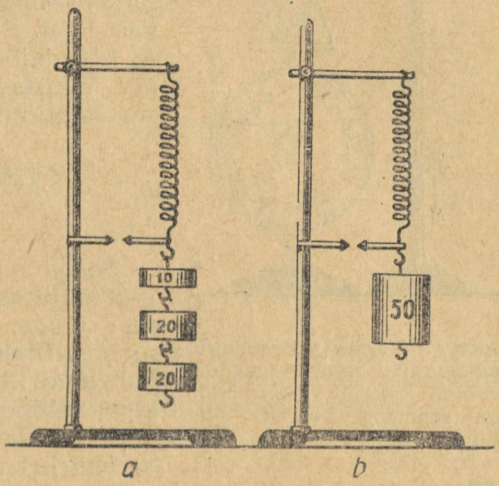
Jõudu, mis avaldab kehale täpselt samasugust mõju kui mitu jõudu koos, nimetatakse nende jõudude *resultantjõuks*. Neid jõude, mida me asendame resultantjõuga, nimetatakse *komponentjõududeks*. Mitme jõu resultantjõu leidmist nimetatakse *jõudude liitmiseks*.

Riputame vedru otsa kolm raskust kaaluga 10 N, 20 N ja 20 N. Märgime ära väljavenitatud vedru alumise otsa asukoha (joon. 32, *a*). Asendame nüüd raskused ühe vihiga, mis venitab vedru märgitud pikkuseni (joon. 32, *b*). Selline viht kaalub 50 N.



Joon. 31. Kraanaga tõstetavale raskusele mõjub mitu jõudu: jõud F_1, F_2 ja P.

Joon. 32. Üks 50 N suurune raskus venitab vedru niisama pikaks kui kolm raskust suurustega 10 N, 20 N ja 20 N.

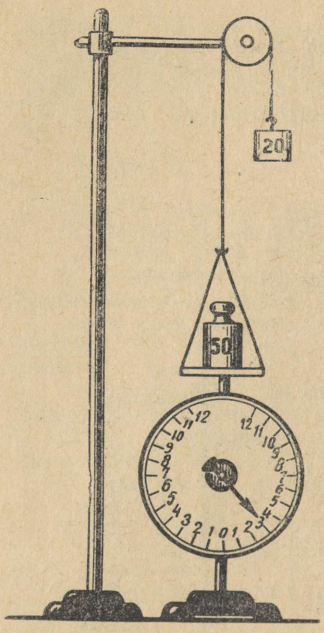


Kui kehale mõjub üheaegselt mitu mööda ühte sirget rakendatud jõudu, siis nende resultant on võrdne jõudude summaga ning suunatud sama sirget mööda.

On kerge näidata, et *kahe ühel ja samal sirgel mõjuva vastassuunalise jõu resultant on võrdne nende jõudude vahega ning on suunatud suurema jõu sihis.*

Asetame dünamomeetri lauakesele vihi raskusega 50 N. Seome lauakese külge nööri, viime selle üle liikumatu ploki ning riputame nööri otsa vihi raskusega 20 N (joon. 33). Nii on lauakesele ja selle kaudu ka dünamomeetri vedrule rakendatud kaks vastassuunalist ja mööda ühte vertikaali suunatud jõudu: allapoole 50 N ja ülespoole 20 N. Dünamomeetri osuti näitab 30 N (dünamomeetri skaala jaotuse väärtus on 10 N). See on lauakesele mõjuvate jõudude resultantjõud. Tähendab osuti samasuguse kõrvalekaldumise põhjustab üks vertikaalselt alla mõjuv 30 N suurune jõud.

Mõelge, milline jõud tuleks rakendada niidile, et resultantjõud oleks null.



Joon. 33. Kahe vastassuunas mõjuva jõu resultantjõud on võrdne jõudude vahega ning on suunatud suurema jõu sihis.

Mõlemad järeldused mööda ühte sirget mõjuvate jõudude liitmise kohta võib ühendada. Selleks loeme ühes suunas (näiteks paremale) mõjuvaid jõude positiivseteks, vastassuunalisi aga negatiivseteks.

Mööda ühte sirget mõjuva mitme jõu resultantjõud on võrdne nende jõudude algebralise summaga.

Joonisel 34 on skemaatiliselt kujutatud horisontaalselt sõitvale autole mõjuvad jõud. F_1 on siin mootori veojõud, F_2 hõõrdejõud ja F_3 vastuvoolava õhujoa takistus. Leiame nende jõudude resultantjõu:

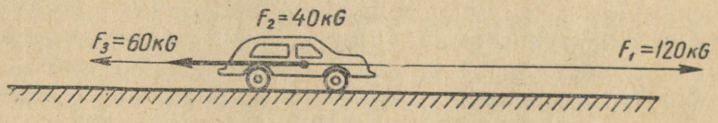
$$R = +120 \text{ kG} - 40 \text{ kG} - 60 \text{ kG} = \\ = +20 \text{ kG}.$$

Seega on autole rakendatud kolme jõu mõju samaväärne ühe 20 kG suuruse jõuga, mis mõjub auto liikumise suunas. Ülalmärgitud jõudude mõjul liigub auto kiirenevalt. Mõelge ja selgitage, milline peaks olema vastuse mõte siis, kui $R = -20$ kG.

Kui keha lebab mingil pinnal (joon. 35, *a*) või ripub liikumatult niidi otsas (joon. 35, *b*), siis öeldakse, et keha on *tasakaalus*.

Sel juhul tasakaalustavad kehale mõjuvad jõud üksteist. Nii näiteks mõjuvad ülesriputatud kerale raskusjõud P ja sellega suuruselt võrdne toe reaktsioon[1] Q. Mõlemad jõud mõjuvad mööda ühte vertikaali, kuid vastupidises suunas. Nende jõudude resultantjõud on null.

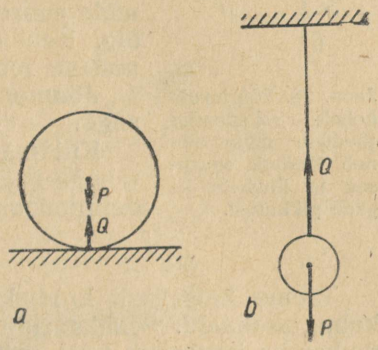
Alati, **kui kehale mõjuvate jõudude resultantjõud on null, on keha tasakaalus.**



Joon. 34. Horisontaalsel teel sõitvale autole mõjuvad jõud.

[1] Prantsuskeelsest sõnast *reaktion* — vastumõju. Kõige sagedamini o.. toe reaktsiooniks deformatsioonil tekkiv elastsusjõud. Deformatsiooni põhjustab toele mõjuv keha.

Keha tasakaaluolek ei tähenda veel, et keha on paigal. On teada, et üksteist vastastikku tasakaalustavate jõudude mõjul liigub keha ühtlaselt (§ 20). Järelikult on ka selline liikumine tasakaaluolekuks, sest kehale mõjuvate jõudude resultantjõud on ka sel juhul null.



Joon. 35. Keha kaal P on tasakaalustatud toe reaktsiooniga Q.

§ 29. JÕUMOMENT. PÖÖRLEMISTELJEGA KEHA TASAKAAL.

Enamike masinate juures on tegemist pöörlemisega. Võrreldes kulgeva liikumisega on pöörleval liikumisel terve rida eeliseid. Pealegi tagab pöörlev liikumine tööprotsessi pidevuse.

Kuidas tuleb rakendada jõud, et need põhjustaksid keha pöörlemise? Kui jõud mõjub rihmaratta (joon. 18) piirdele näiteks raadiuse sihis, siis jääb ratas liikumatuks. Ratas jääb paigale ka siis, kui jõud mõjub paralleelselt ratta pöörlemisteljega.

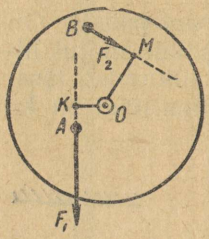
Järelikult *jõud, mille mõjusirge*[1] *läbib keha pöörlemistelge või on sellega paralleelne, ei pane keha pöörlema.*

Proovige ust kinni panna, lükates ust sõrmega erinevatelt kaugustelt pöörlemisteljest (ukse hingi läbivast vertikaaljoonest). Te veendute, et mida kaugemal pöörlemisteljest jõudu rakendada, seda väiksemat jõupingutust on tarvis ukse sulgemiseks. Kui mutri keeramine poldile on raske, siis viiakse jõu rakenduspunkt mutrivõtme vahendusel mutri pöörlemisteljest kaugemale. Kirjeldatud näidetest järeldub, et jõu mõju pöörlevale kehale oleneb mitte ainult jõu suurusest, vaid ka jõu kaugusest pöörlemisteljest.

Keha pöörlemisteljest jõu mõjusirgele tõmmatud ristlõigu pikkust nimetatakse *jõu õlaks.*

Teeme kindlaks horisontaalse pöörlemisteljega kettale mõjuvate jõudude F_1 ja F_2 õlad (joon. 36). Selleks joonistame punktiirjoontega välja jõudude F_1 ja F_2 mõjusirged ning seejärel

[1] Mõjusirge — sirge, mille sihis mõjub rakendatud jõud.



Joon. 36. Pöörlevale kehale rakendatud jõudude mõju oleneb jõudude suurusest ja jõudude õlgade pikkusest.

punktist O nendele mõjusirgetele ristsirged OK ja OM. Lõik $OK = l_1$ on jõu F_1 õlg, lõik $OM = l_2$ aga jõu F_2 õlg.

Jõu õlg on seega kõige lühem vahemaa jõu mõjusirge ja pöörlemistelje vahel.

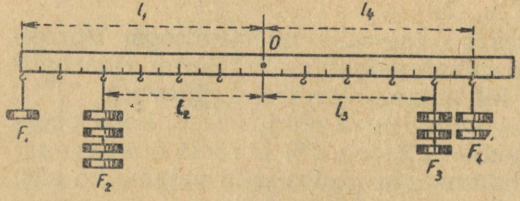
Jõu mõju pöörlevale kehale on seda suurem, mida suurem on jõud ja mida pikem selle jõu õlg. Kehale rakendatud jõu kogumõju iseloomustab *jõumoment.*

Jõumoment mõõtub jõu ja selle õla korrutisega.

Kui märkida jõumomenti tähega M, jõudu tähega F ja jõu õlga tähega l, siis võib eelmise definitsiooni kirjutada järgmiselt:

$$M = Fl.$$

Teeme katseliselt kindlaks, millal jääb pöörlemistelge omav keha tasakaalu. Selleks riputame kangile, mis võib pöörelda ümber horisontaalse telje, mitmesuguseid raskusi (joon. 37). Olgu iga raskuse kaal 10 N.



Joon. 37. Kang on temale rakendatud jõumomentide mõjul tasakaalus.

Kang jääb tasakaalu temale rakendatud nelja järgmise jõu mõjul[1]: $F_1 = 10$ N õlaga $l_1 = 0{,}6$ m, $F_2 = 40$ N õlaga $l_2 = 0{,}4$ m, $F_3 = 30$ N õlaga $l_3 = 0{,}4$ m, $F_4 = 20$ N õlaga $l_4 = 0{,}5$ m. Arvutame jõumomendid:

$$M_1 = 10\ \text{N} \cdot 0{,}6\ \text{m} = 6\ \text{Nm};$$
$$M_2 = 40\ \text{N} \cdot 0{,}4\ \text{m} = 16\ \text{Nm};$$
$$M_3 = 30\ \text{N} \cdot 0{,}4\ \text{m} = 12\ \text{Nm};$$
$$M_4 = 20\ \text{N} \cdot 0{,}5\ \text{m} = 10\ \text{Nm}.$$

Kangi kellaosuti suunas pööravate jõumomentide summa

$$M_3 + M_4 = 12\ \text{Nm} + 10\ \text{Nm} = 22\ \text{Nm}.$$

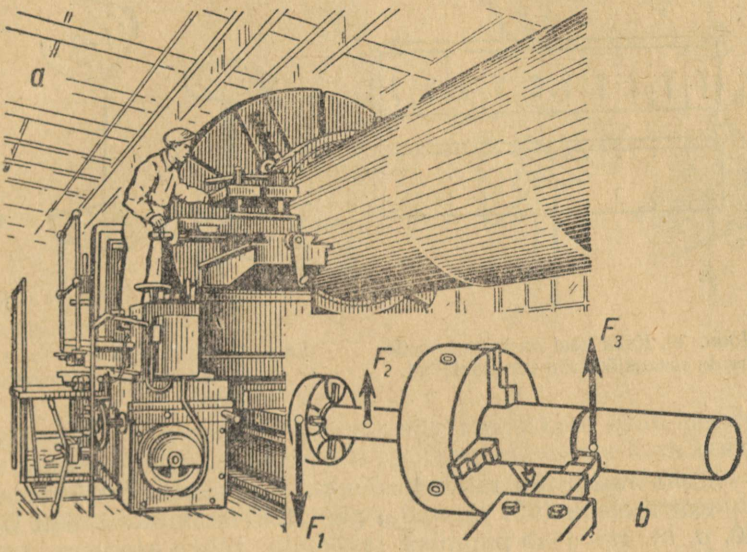
Kangi kellaosuti liikumisele vastupidises suunas pööravate jõumomentide summa

$$M_1 + M_2 = 6\ \text{Nm} + 16\ \text{Nm} = 22\ \text{Nm}.$$

[1] Viiendat jõudu — pöörlemistelje reaktsiooni — pole vaja arvestada, sest selle jõumoment on null.

Järelikult on **pöörlemisteljega keha tasakaalus, kui seda kellaosuti liikumise suunas pööravate jõumomentide summa on võrdne keha kellaosuti liikumisele vastupidises suunas pööravate jõumomentide summaga.**

Seda seaduspärasust nimetatakse mõnikord *momentide lauseks*. Seaduspärasus kehtib ka siis, kui keha pöörleb ühtlaselt.

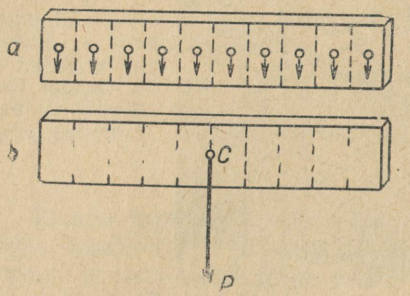


Joon. 38. Treipingi spindel pöörleb ühtlaselt temale mõjuvate tasakaalustatud jõumomentide tõttu.

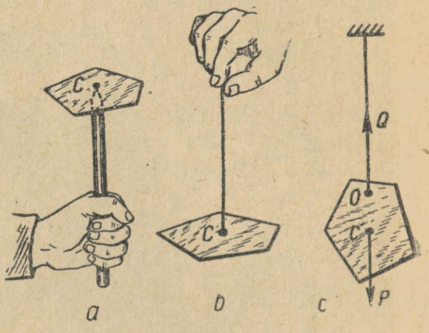
Vaatleme treipingi spindli ühtlast pöörlemist võlli treimisel (joon. 38, *a*). Elektrimootor mõjub spindlile jõuga F_1 (joon. 38, *b*), mille moment põhjustab pöörlemiskiiruse suurenemise. Pidurdavat mõju avaldab laagrites tekkiva hõõrdumisjõu F_2 moment ja lõiketera poolt töödeldavale võllile avaldatava jõu F_3 moment. Kuna treimisel spindli kiirus ei muutu, siis järelikult on kiiruse suurenemist põhjustav jõumoment võrdne pidurdavate jõumomentide summaga.

Seega *pöörleb keha ühtlaselt siis, kui kehale mõjuvad jõumomendid on vastastikku tasakaalustatud.*

Igale kehale mõjub vertikaalselt alla raskusjõud. Raskusjõud mõjub mitte ainult kehale tervikuna, vaid ka keha igale osale (joon. 39, *a*). Keha kaal *P* on seega keha koostisosade raskusjõudude resultant (joon. 39, *b*).



Joon. 39. Keha kaal on keha koostisosade raskusjõudude resultantjõud.



Joon. 40. Keha kaal *P* ja toe reaktsioon *Q* on tasakaalu korral suunatud mööda ühte sirget.

Keha raskusjõu rakenduspunkti nimetatakse *raskuskeskmeks*. Kui toetada (või riputada) papitükki raskuskeskmest *C* (joon. 40, *a*, *b*), siis jääb papitükk tasakaalu. Tehke kindlaks papitükile mõjuvad jõud ning selgitage, miks jääb papitükk tasakaalu.

Kui riputada papitükk üles vabalt valitud punktist *O* (joon. 40, *c*), siis saabub tasakaal sel juhul, kui punkt *O* jõuab ühele vertikaalsirgele raskuskeskmega *C*. Sel juhul mõjuvad papitükile kaks võrdset ja vastassuunalist jõudu — vertikaalselt alla suunatud raskusjõud *P* ning vertikaalselt üles suunatud toe reaktsioon *Q*.

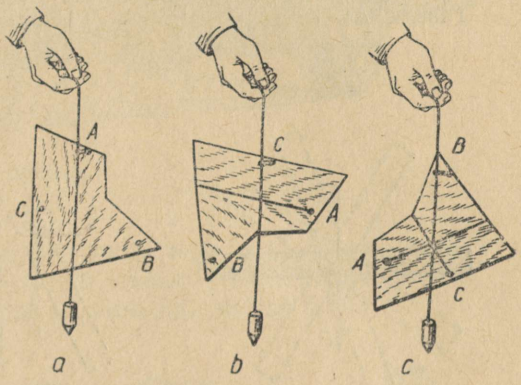
Järelikult **ühest punktist toetatud kehade tasakaalu korral asuvad toetuspunkt ja raskuskese ühel ja samal vertikaalsirgel.**

Nimetatud seaduspärasus võimaldab määrata mistahes kujuga plaatide raskuskeset.

Riputame mistahes kujuga vineeritüki punktist *A* naela otsa (joon. 41, *a*). Pärast seda kui vineeritükk on jäänud tasakaalu, tõmbame toetuspunktist vineeritükile vertikaalsirge. Sellel vertikaalil asub vineeritüki raskuskese. Nüüd riputame vineeritüki üles punktist *B* ning joonistame jällegi välja seda punkti läbiva vertikaalsirge. Vineeritüki raskuskese peab asetsema ka sellel vertikaalil. Järelikult peab raskuskese asuma nende sirgete lõikepunktis (joon. 41, *c*). Miks?

Lõigake papist vabalt valitud kujuga tükk ning määrake kirjeldatud viisil selle papitüki raskuskese.

Veenduge, et ristküliku raskuskese asub ristküliku diagonaalide lõikepunktis, kolmnurga raskuskese aga selle mediaanide lõikepunktis ning ringi raskuskese ringi keskpunktis.



Joon. 41. Plaadikujulise keha raskuskeskme määramine.

Homogeensete sümmeetriliste kehade raskuskese asub nende kehade sümmeetriakeskpunktis. Nii on kera raskuskese kera keskpunktis, risttahuka raskuskese aga diagonaalide keskpunktis. Raskuskese võib asuda ka kehast väljas, näiteks rõngal või kolmnurgal.

Tahke keha asukoha muutumisel ei muutu raskuskeskme asend kehaosade suhtes. Keha kuju muutumisel muutub aga ka raskuskeskme asukoht.

§ 31. TASAKAALU LIIGID. PÜSIVUS.

Vaatleme toetuspunktiga, pöörlemisteljega või toetuspinnaga kehade tasakaalu mitmesuguseid juhte.

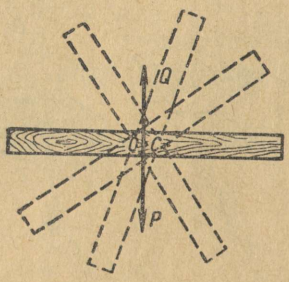
Riputame joonlaua üles selliselt, et toetuspunkt O langeks kokku joonlaua raskuskeskmega C (joon. 42). Sel juhul on joonlaud tasakaalus mistahes asendis, sest joonlaua raskus P ja toereaktsioon Q on rakendatud ühte punkti. Suuruselt on need jõud võrdsed, kuid suunalt vastupidised. Nende jõudude resultant on seega null. Joonlaua mistahes asendi korral jääb siin raskuskese maapinnast alati ühele ja samale kõrgusele.

Tasakaalu, mille juures keha raskuskese jääb keha mistahes asendite juures ühele ja samale kõrgusele, nimetatakse ükskõikseks (ehk indiferentseks) tasakaaluks.

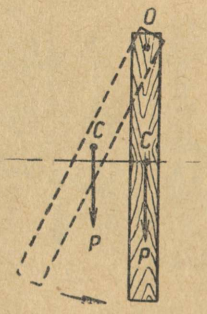
TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Ükskõikses tasakaalus on horisontaalsel pinnal asuv kuulike ja võllidele kinnitatud rihmarattad.

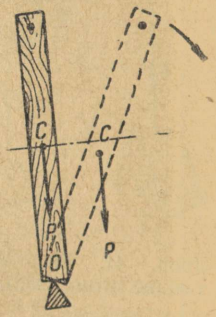
Riputame nüüd joonlaua üles punktist, mis asub raskuskeskmest kõrgemal (joon. 43). Selline joonlaud on püsivas tasakaalus. Joonlaua kõrvalekallutamisel sellest asendist toob raskusjõu P moment telje O suhtes joonlaua esialgsesse tasakaalu tagasi. Tasakaaluasendis on raskusjõu moment null (miks?). Joonlaua raskuskese on tasakaaluasendi korral kõige madalamal.



Joon. 42. Ükskõikne tasakaal.



Joon. 43. Püsiv tasakaal.



Joon. 44. Mittepüsiv tasakaal.

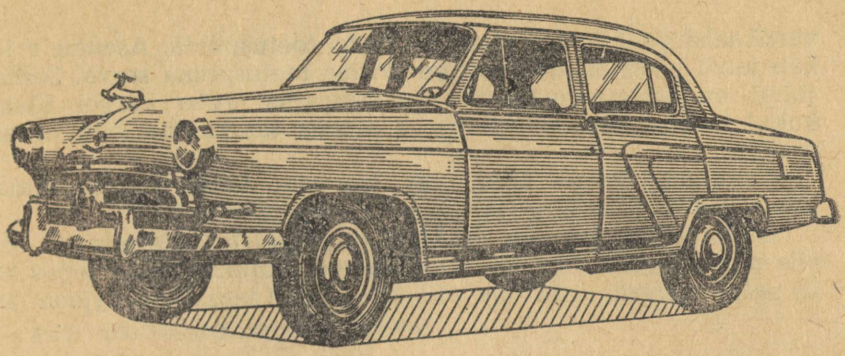
Tasakaalu, mille puhul keha raskuskese võtab võimalikest asenditest kõige madalama asendi, nimetatakse püsivaks (stabiilseks) tasakaaluks. Püsivas tasakaalus on süvendisse veerenud kuulike, sest igasugune katse kuulikest sellest asendist välja viia on seotud kuulikese raskuskeskme tõstmisega.

Keha võib tasakaalu seada ka selliselt, et raskuskese jääb toetuspunktist kõrgemale (joon. 44). Selline tasakaal ei ole püsiv, sest juba keha kõige väiksemal tasakaaluasendist kõrvalekallutamisel suurendab raskusjõu moment seda kõrvalekallet veelgi ning selle tulemusena läheb keha uude, eelmisest püsivamasse tasakaaluasendisse. Raskuskeskme kõrgus seejuures väheneb.

Keha tasakaal on mittepüsiv, kui tasakaaluasendist väljaviimisel keha raskuskeskme kõrgus väheneb. Künkakesel seisev kuulikene on sellises mittepüsivas tasakaalus.

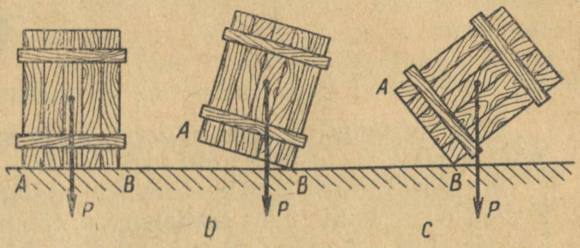
Sagedasti toetuvad kehad mingile pinnale (kast, sammuv ekskavaator) või mitmele punktile korraga (inimene, auto, kombain). Sel juhul öeldakse, et tegemist on toetuspinda omavate kehadega, kusjuures toetuspinnaks on hulknurk, mille tippudeks on toetuspunktid. Joonisel 45 on auto toetuspind viirutatud.

Enamikul juhtudel on toetuspinnaga kehad püsivas tasakaalus. Joonisel 46, *a* on toodud püsivas tasakaalus olev kast. Kui kallutada kasti mingi väikese nurga võrra (joon. 46, *b*), siis viib



Joon. 45. Auto toetuspind (viirutatud ala).

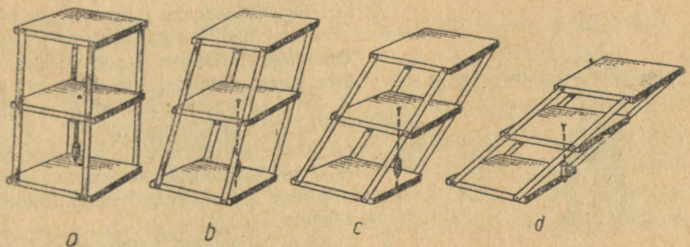
raskusjõu *P* moment (toetuspinnal asuva telje suhtes) kasti endisesse asendisse tagasi. Alles küllalt suure kallutamise korral (joon. 46, *c*) kukub kast raskusjõu momendi mõjul ümber.



Joon. 46. Raskusjõu moment viib kasti alati mingisse püsiva tasakaalu asendisse.

Millistel tingimustel on toetuspinda omav keha püsivas tasakaalus?

Kallutame järk-järgult sõrestikprismat (joon. 47) ning jälgime seejuures prisma raskuskeskmesse kinnitatud püstloodi. Asenditest *a* ja *b* on prisma püsivas tasakaalus, püstloodi poolt määratav

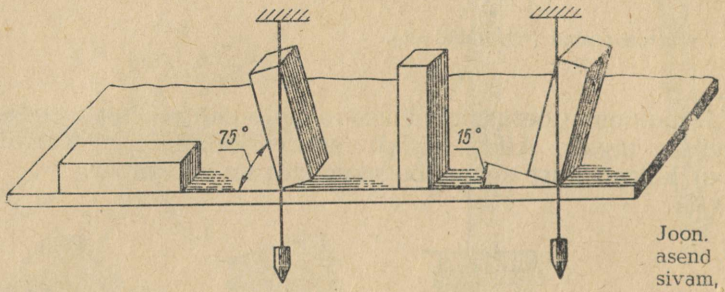


Joon. 47. Kallutatav prisma kukub ümber, kui raskuskeskmest tõmmatud vertikaal ei lõika prisma toetuspinda.

vertikaalsirge lõikab seejuures prisma toetuspinda. Asendis *c* lõikab loodi poolt määratav sirge prisma toetuspinna serva. Sellisel juhul on prisma mittepüsivas tasakaalus. Juba kergel tõukel kukub prisma ümber. Asendis *d* prisma tasakaalus olla ei saa (miks?).

Keha on püsivas tasakaalus, kui selle keha raskuskeskmest tõmmatud vertikaalsirge lõikab keha toetuspinda.

Isiklikest kogemustest on kõigil teada, et kehade püsivus võib olla mitmesugune. Nii näiteks on kõige suuremal tahul lebav tellis palju püsivam kui kõige väiksemal tahul lebav tellis (joon. 48).



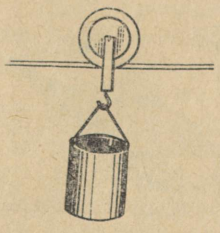
Joon. 48. Tellise asend on kõige püsivam, kui ta toetub suurele tahule.

Keha püsivus on seda suurem, mida suurem on keha toetuspind ja mida madalamal asub raskuskese.

Püsivuse suurendamise eesmärgil asetatakse autode juures raskemad osad võimalikult madalamale, tööpingid ja teised masinad kinnitatakse massiivsetele alustele, kõrgepingeliinide mastid tehakse laiade alustega. Püsivuse suurendamise eesmärgil seab ka inimene oma jalad teineteisest kaugemale.

Harjutus 8.

1. Joonisel 24 kujutatud malmkuul kaalub 15 kG. Kuuli tõmmatakse nöörist allapoole jõuga 10 kG. Kui suur jõud mõjub kummalegi nöörile? Kui suur on konksu poolt avaldatav vastumõju?



Joon. 49. Harjutus 8 ülesande 4 juurde.

2. Millises asendis on jalgratta pedaalidele mõjuv jõumoment suurim? Millises punktis on jõumoment null?

3. Treipingi lõiketera (joon. 38, *a*) mõjub töödeldavale võllile jõuga 4600 N. Kui suur on selle jõu moment, kui võlli diameeter on 1200 mm? Leidke mootori poolt spindlile mõjuva jõu moment, kui on teada, et spindli laagrites tekkiva hõõrdumisjõu moment on 240 Nm.

4. Miks veereb koormaga plokk mööda tiaati (joon. 49), koormata plokk kukub aga ümber? Selgitage, kuidas tuleb ehitada köisteed.

5. Miks ei lähe jahid ümber isegi tugeva tuulega, vaid ainult kalduvad?

6. Miks ei lubata laevalaele paigutada raskeid koormaid?

IV PEATÜKK.

TÖÖ. VÕIMSUS. LIHTMEHHANISMID.

§ 32. MEHHAANILISE TÖÖ MÕISTE.

Mehhaanilise töö mõiste on oma sisult erinev inimese igapäevase töö mõistest. Mehhaanilise töö mõistega tutvumiseks jälgime teile tuttavate masinate ning mootorite ülesandeid.

Inimese lihaste abil tehtav töö asendatakse üha ulatuslikumalt masinate tööga. Masinad teevad nõutavad operatsioonid kiiremini ja paremini, kergendavad inimeste tööd ning ületavad inimeste tööviljakuse mitmekordselt.

Iga masin teeb mingit kindlat tööoperatsiooni, mis on seotud kas materjalide ümbertöötlemisega või siis nende transportimisega. Viljapeksumasin eraldab terad ja õled üksteisest, press stantsib detaile, kaevanduse elektrivedur veab lahtimurtud söe tõstukini jne.

Töötavad masinaosad ületavad oma liikumisel pidevalt mingit *takistust*. See takistus ei ole seotud ainult kahjuliku hõõrdumisega. Ükskõik millise masina töö on alati seotud takistuse ületamisega. Nii ületab lõiketera lõigatava materjali takistust, õmblusmasina nõel jälle riidest läbilöömisega seotud takistust jne.

Masina mootori ülesandeks on hoida masina osi liikumises, selleks peab mootor ületama takistusjõudude pidurdavat mõju. Traktorimootor kindlustab adra edasiliikumise, ületades seejuures pinnase takistust; tõstekraana mootor tõstab koormat, ületades seejuures mõjuvat raskusjõudu.

Teha mehhaanilist tööd tähendab täita jõuallikale ettenähtud ülesannet.

Jõuallika poolt tehtava töö protsessis toimub *kehade* (masinaosade või tööriistade) *liikumine* rakendatava *jõu mõjul.*

Kui rakendatud jõudude mõjul keha oma asukohta ei muuda, siis mehhaanilist tööd ei tehta. Kui näiteks tõstekraana konksule kinnitatud koormus ripub liikumatult (joon. 31), siis ei tee kraana mootor mehhaanilist tööd. Täpselt samuti ei tehta mehhaanilist tööd siis, kui keha liigub inertsi mõjul, ilma kehade vastastikuse mõjuta. Sel juhul puuduvad kehale mõjuvad jõud (või need jõud tasakaalustavad üksteist).

Edaspidi mehhaanilist tööd käsitledes nimetame seda lühidalt tööks.

Tehtava töö suurus oleneb liikumapaneva jõu suurusest ning selle jõu mõjul keha poolt läbitud tee pikkusest.

Mida suurem on treipingi mootori poolt avaldatav veojõud, seda paksemat laastu võib lõigata lõiketera detaili töötlemisel ning seda rohkem detaile suudetakse valmistada vahetuses. Mida suurem on traktorimootori veojõud, seda rohkem hõlmu võib olla traktori taha haagitaval adral ning seda rohkem põldu saab künda ühe tööpäevaga.

Mida pikema vahemaa läbib traktori poolt veetav niidumasin, seda rohkem niidetakse heina.

Tehtud tööd mõõdetakse rakendatud jõu ning selle jõu mõjumise suunas läbitud tee pikkuse korrutisega.

Kui märkida jõud tähega F, läbitud tee tähega s ning tehtud töö suurus tähega A, siis võib töö arvutamiseks kirjutada järgmise valemi:

$$A = Fs.$$

SI-süsteemis on töö mõõtühikuks džaul (J)[1]. *Džaul* on 1 njuutoni suuruse jõu poolt 1 meetri pikkusel teel tehtud töö:

$$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{Nm}.$$

Tehnikas mõõdetakse tehtud tööd sageli kilogramm-meetrites (kGm). *Kilogramm-meeter* on 1 kilogrammi suuruse jõu poolt 1 meetri pikkusel teel tehtud töö.

Tõestage, et 1 kGm = 9,8 J ja 1 J = 0,102 kGm.

Vaatleme mõnd sellist näidet, kus keha liigub ühtlaselt (liikumapanev jõud on võrdne takistusjõuga) ning jõu mõjumise suund ühtib keha liikumise suunaga.

Näide 1. Niidumasina KC-10 mootor ületab töötamisel 850 kG suurust takistust. Kui suure töö teeb niidumasina mootor 12 km pikkusel teel?

Antud:

$F = 850\ \text{kG} \approx 8500\ \text{N};$
$s = 12\ \text{km} = 12\,000\ \text{m}.$

Leida A.

Lahendus:

$A = Fs;$

$A = 8500\ \text{N} \cdot 12\,000\ \text{m} =$
$= 102\,000\,000\ \text{J} \approx 10^8\ \text{J}.$

Näide 2. Kui palju tööd tegi tornkraana mootor 2 tonni raskuse raudbetoonpaneeli tõstmisel 15 m kõrgusele?

[1] Nimetus on antud tuntud inglise füüsiku James Joule'i auks.

Antud:

$F = 2\ \mathrm{T} = 2000\ \mathrm{kG}$;

$s = 15\ \mathrm{m}$.

Leida A.

Lahendus:

$A = Fs$;

$A = 2000\ \mathrm{kG} \cdot 15\ \mathrm{m} =$

$= 30\,000\ \mathrm{kGm}$.

§ 34. VÕIMSUS. VÕIMSUSE MÕÕTÜHIKUD.

Ühe ja sama töö võivad erinevad mootorid teha erineva ajaga. Nii näiteks võib hobuse ja ühehõlmalise adraga künda hektarisuuruse põllutüki 10—12 tunniga. Traktor K-700 koos kaheksahõlmalise adraga teeb aga sama töö ära 30 minutiga. Ekskavaatoriga võib hoone vundamendisüvendi valmis kaevata ühe päevaga. Labidaga teeks mullatööline sama töö umbes ühe aasta jooksul.

Töötegemise kiirust iseloomustatakse *võimsuse* abil.

Võimsust mõõdetakse ühes sekundis tehtud tööga.

SI-süsteemis mõõdetakse võimsust vattides[1]. *Vatt* on masina võimsus, mis ühes sekundis teeb 1 džauli tööd:

$$1\ \mathrm{W} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{s}} = 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}.$$

Suuremateks võimsuse ühikuteks on hektovatt (hW) ja kilovatt (kW). Mõnikord mõõdetakse tehnikas võimsust kilogrammmeetrites sekundis ($1\frac{\mathrm{kGm}}{\mathrm{s}}$, s. o. võimsus, mille puhul tehakse 1 sekundis 1 kGm tööd) ja hobujõududes (hj):

$$1\ \mathrm{hj} = 75\frac{\mathrm{kGm}}{\mathrm{s}};\quad 1\ \mathrm{hj} = 736\ \mathrm{W} = 0{,}736\ \mathrm{kW}.$$

Arvutame õmbleja võimsuse töötamisel jalaga õmblusmasinal, kui ta 5 minutiga teeb 18 000 J tööd.

Selleks on vaja leida õmbleja poolt ühe sekundiga tehtud töö. Õmbleja võimsus on $\frac{18\,000\ \mathrm{J}}{300\ \mathrm{s}} = 60\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = 60\ \mathrm{W}$.

Kui märkida võimsus tähega N, töö tähega A ja töö tegemiseks kulunud aeg tähega t, siis võib võimsuse arvutamiseks kirjutada järgmise valemi:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Asendades võimsuse valemis töö A tema väärtusega $F \cdot s$, saame $N = \frac{F \cdot s}{t}$. Kuna ühtlasel liikumisel keha kiirus $v = \frac{s}{t}$, siis

[1] Nimetus on antud inglise leiduri James Watti auks.

$N = Fv.$

Järelikult — mida kiiremini liigub rong, seda suurem peab olema veduri poolt arendatav võimsus. Mida suurem on metalli lõikamise kiirus, seda suurem peab olema tööpingile monteeritud mootori võimsus.

Kasutatava mootori võimsuse määrab seega takistusjõud, mida peavad masinaosad töötamisel ületama, ning masinaosade liikumise kiirus.

Mõnede mootorite võimsusi (kWh)

Iseliikuv kombain CK-3	48
Sõiduauto «Volga»	55
Traktor K-700	üle 160
Diiselvedur TЭ-3	2950
Elektrivedur H-62	4200
Lennuk TУ-104	üle 44 200
Krasnojarski hüdroelektrijaama turbiin	508 000
Kosmoselaeva «Vostok» mootorid	üle 15 000 000

Harjutus 9.

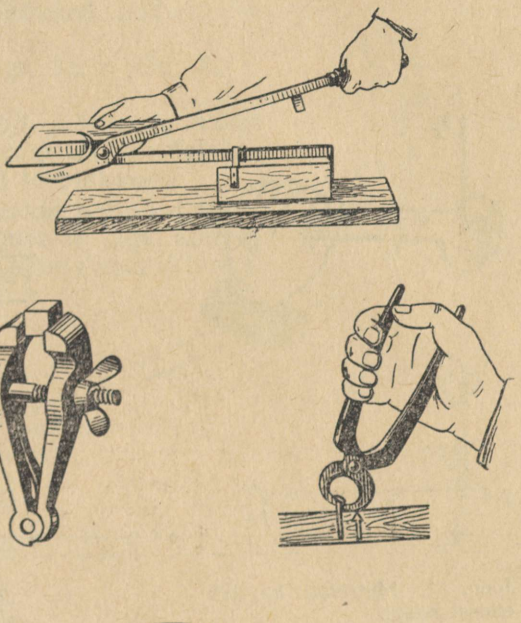
1. Selgitage, millal tehakse rohkem tööd: kas koorma tõstmisel üles või niisama pikal nihutamisel mööda horisontaalset põrandat?
2. Selgitage välja nende mootorite võimsused, mida kasutatakse teie töökohas.
3. Kui suure töö teeb höövelpingi mootor tera ühe käiguga (180 mm), kui töödeldava materjali takistus on 240 kG?
4. Kui kõrgele tõstis kuhjategija 0,6 tonni raskuse heinahunniku, kui masin tegi seejuures 24 000 J tööd?
5. Kui suurt võimsust arendab diiselvedur TЭ-3 kiiruse 72 $\frac{km}{h}$ ja 13 500 kG suuruse veojõu korral?
6. Liftiga tõsteti 3000 N raskune koorem 12 m kõrgusele 30 sekundiga. Leidke liftimootori võimsus.
7. Lennuki ИЛ-18 mootorite koguvõimsus on 16 000 hj. Leidke mootorite veojõud, kui lennukiirus on 650 $\frac{km}{h}$.
8. Treipingi mootor annab spindlile võimsuse 3,6 kW. Millist suurimat lõikekiirust saab kasutada juhul, kui treitera ületab 90 kG suurust takistust?

§ 35. KANGID JA NENDE KASUTAMINE TEHNIKAS NING IGAPÄEVASES ELUS.

Masin koosneb *töötavatest osadest*, mis võtavad vahetult osa tehnoloogilisest protsessist, ja *ülekandemehhanismidest*. Nii on treipingi töötavateks osadeks spindel, mis paneb töödeldava eseme pöörlema, ning suport, mis kindlustab treitera liikumise.

Ülekandemehhanismid annavad liikumise ja jõu mootorilt masina töötavatele osadele. Seejuures need mehhanismid muundavad liikumist, tagades sellega masina töötavate osade vajaliku liikumise. Ülekandemehhanismideks on kang, plokk, pöör, kaldpind (mis võib esineda nii kiiluna kui ka kruvina), rihm- ja hammasülekanded jne.

Kõige lihtsamaks ülekandemehhanismiks on kang. Paljud tööriistad, näiteks käärid, kruustangid, pihid, tangid jne. (joon. 50), kujutavad endast k a n g e.



Joon. 50. Kangi rakendamine tööriistades.

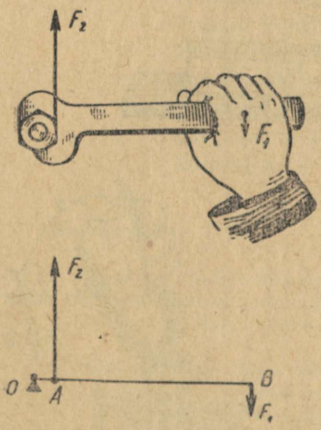
Kangiks nimetatakse kõva keha, mis võib mingi telje ümber pöörelda. Kangi kasutatakse jõu ülekandmiseks jõuallikalt masina töötavatele osadele.

Üht tüüpi kangidel asub pöörlemistelg kangi ühes otsas ning jõud asuvad ühel ja samal pool pöörlemistelge (joon. 51). Teist tüüpi kangidel asub pöörlemistelg kangile mõjuvate jõudude rakenduspunktide vahel (joon. 52).

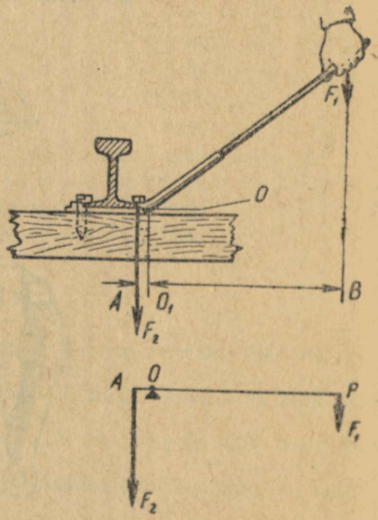
Mutrivõtmele (joon. 51) mõjub töölise poolt rakendatav jõud F_1 ja hõõrdumisjõud F_2, mis takistab mutri kinnikeeramist. Joo-

nise allosas on toodud kasutatava kangi skeem. Lõik $OA = l_2$ on jõu F_2 õlg, lõik $OB = l_1$ aga jõu F_1 õlg.

Raudtee remontimisel kasutatakse rööbaste kinnitusnaelte väljakangutamiseks spetsiaalseid kange (joon. 52). Tööline mõjub kangi otsale jõuga F_1, nael samal ajal aga kangi teisele otsale jõuga F_2. Kangi pöörlemisteljeks on punkt O, s. o. punkt, millega kang toetub rööpa alusplaadile (plaat, mis asetatakse rööpa ja liipri vahele). Lõik $O_1B = l_1$ on jõu F_1 õlg, lõik $O_1A = l_2$ aga jõu F_2 õlg.



Joon. 51. Mutrivõti kujutab endast kangi.



Joon. 52. Naela väljakangutamisel mõjuvate jõudude momendid.

Kangi ühtlasel pöörlemisel on kangi kellaosuti liikumise suunas pöörava jõu moment võrdne kangi vastassuunas pöörava jõu momendiga:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Toodud võrdusest võib kirjutada järgmise suhte:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Kui kang on tasakaalus, siis on sellele rakendatud jõud pöördvõrdelised jõudude õlgadega.

Järelikult, nii mitu korda kui üks õlg on teisest suurem, nii-

sama palju kordi peab sellele õlale rakendatud jõud olema teisest jõust väiksem. Seega võime kangi abil *võita jõus.*

Kangiga naela kangutav tööline võidab jõus nii mitu korda, kui mitu korda on õlg l_1 suurem õlast l_2.

Kas on võimalik kangi abil võita ka töös?

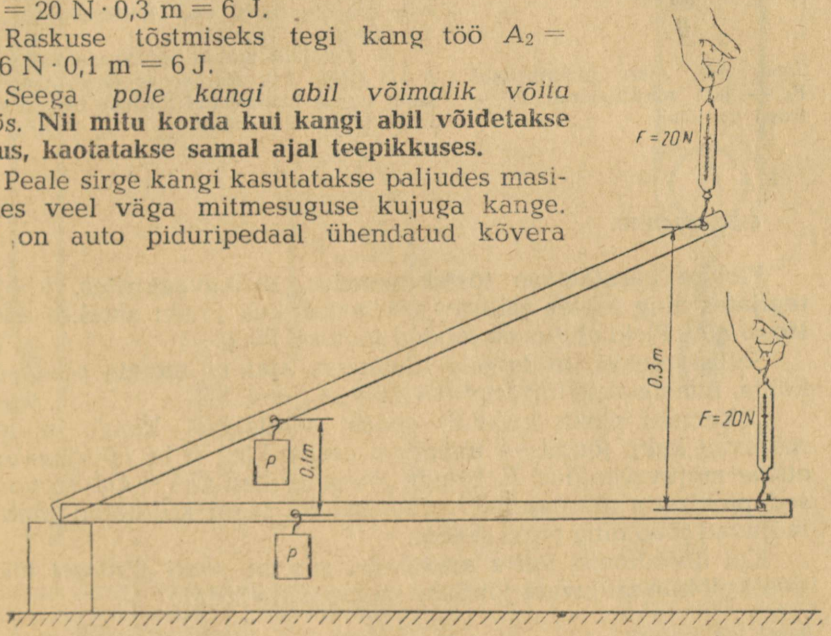
Sellele küsimusele vastamiseks teeme katse. Tõstame sellise kangi abil, mille üks õlg on teisest 3 korda pikem, 60 njuutoni suuruse raskuse 0,1 m kõrgusele. Mõõdame pikkuse, mille võrra tõusis inimese käsi, mis rakendas kangile tõstmiseks vajaliku 20 N suuruse jõu. Ilmneb, et see on 0,3 m (joon. 53).

Inimese poolt kangi tõstmisel tehtud töö $A_1 = 20\ \text{N} \cdot 0{,}3\ \text{m} = 6\ \text{J}$.

Raskuse tõstmiseks tegi kang töö $A_2 = 6\ \text{N} \cdot 0{,}1\ \text{m} = 6\ \text{J}$.

Seega *pole kangi abil võimalik võita töös.* **Nii mitu korda kui kangi abil võidetakse jõus, kaotatakse samal ajal teepikkuses.**

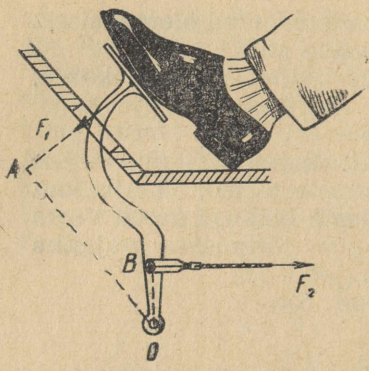
Peale sirge kangi kasutatakse paljudes masinates veel väga mitmesuguse kujuga kange. Nii on auto piduripedaal ühendatud kõvera



Joon. 53. Kangi kasutamisel ei võideta töös.

kangiga (joon. 54). Jõu F_1 õlaks on siin lõik $OA = l_1$ ning jõu F_2 õlaks lõik $OB = l_2$.

Tooge näiteid tööstuses ja igapäevases elus kasutatavatest kangidest.



Joon. 54. Auto piduripedaal. F_1 — jala rõhumisjõud; F_2 — trossi veojõud.

Harjutus 10.

1. Miks on mutrit võtmega kergem keerata kui käega?
2. Leidke oma tööpingi juures kasutatud kangid. Tehke kindlaks, milliste kangidega võidetakse seejuures jõus ja millistega teepikkuses.
3. Leidke joonisel 50 kujutatud tööriistades kasutatavate kangide õlad ja pöörlemisteljed.
4. Selgitage aeru kui kangi töötamist.
5. Mutri keeramist takistab mutri ja poldi vaheline 80 kG suurune hõõrdumine. Millise jõuga mõjub tööline mutrivõtmele, kui selle jõu õlg on 16 cm, takistusjõu õlg aga 1,6 cm?
6. Autojuht mõjub piduripedaalile jõuga 8 kG (joon. 54). Kui suure jõuga pingutab kang trossi? Rakendatud jõudude õlgade suhe tehke kindlaks jooniselt.

§ 36. PLOKID.

Plokke kasutatakse tõstekraanades, ekskavaatorites, kuhjategijates ning teistes sellistes masinates, kus jõudu antakse edasi trossi abil. Ploki ehitus on toodud joonisel 55, *a*.

Sellist plokki, mille telg töötamise ajal ei muuda oma asukohta, nimetatakse *liikumatuks* plokiks (joon. 55).

Liikumatu plokk kujutab endast võrdõlgset kangi, millele mõjuvad kaks jõudu — tõstetava eseme kaal P ja nööri vabale otsale mõjuv veojõud F. Nende jõudude õlad $OA = OB$ on võrdsed plokiratta raadiusega r. Joonisel 55, *b* on kujutatud plokile mõjuvad jõud ning ploki skeem.

Kui hõõrdumist mitte arvestada, siis on ploki ühtlasel liikumisel plokile mõjuvate jõudude momendid võrdsed:

$$P \cdot r = F \cdot r$$

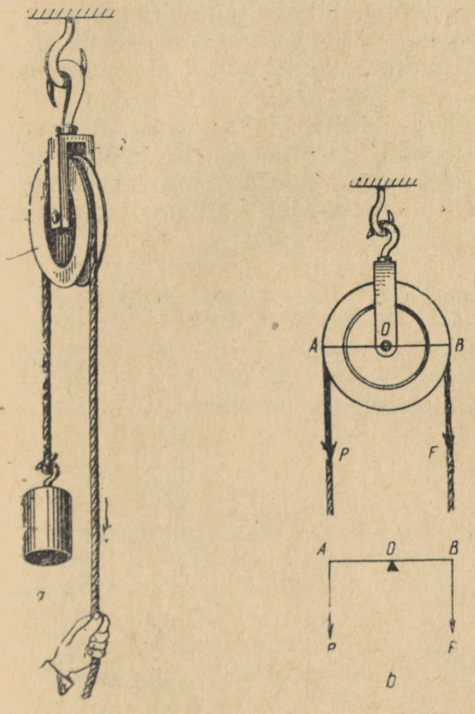
Järelikult $P = F$, see tähendab: *liikumatu plokk jõus võitu ei anna.* Liikumatu plokk võimaldab muuta ainult veojõu suunda, mis paljudel juhtudel on väga vajalik.

Koormuse tõstmisel läbivad jõudude P ja F rakenduspunktid ühepikkused teed. Järelikult on nende jõudude poolt tehtud tööd võrdsed. *Liikumatu plokk töös võitu ei anna.*

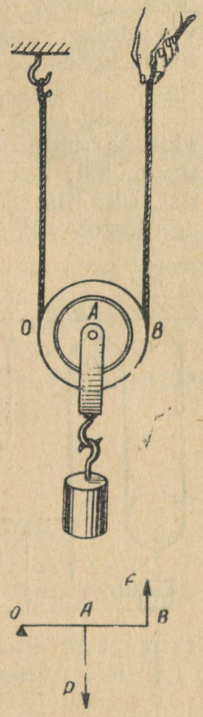
Koormuse võib ploki külge riputada ka selliselt, nagu on kujutatud joonisel 56. Sellisel juhul liigub kasutamise ajal ka plokiratta telg. Niisugust plokki nimetatakse *liikuvaks plokiks.*

Liikuv plokk kujutab endast kangi modifikatsiooni (vt. joonisel 56 toodud skeemi). Koormuse tõstmisel veereb liikuva

ploki ratas mööda seda nööriosa, mille ots on liikumatult kinnitatud. Seepärast on punkt O meie kangi mõtteliseks toetuspunktiks. Ploki kasutamise korral nihkub see punkt nööri mööda kas üles või alla. Jõu P õlg OA on võrdne plokiratta raadiusega, jõu F õlg aga diameetriga $OB = 2r$.



Joon. 55. *a* — liikumatu plokk: *1* — sõõnega ratas; *2* — plokiklamber. *b* — liikumatut plokki võib vaadelda kui kangi $OA = OB = r$.



Joon. 56. Liikuvat plokki võib samuti vaadelda kui kangi. Plokile mõjuvate jõudude momendid tasakaalustavad teineteist.

Koormuse ühtlasel tõstmisel liikuva plokiga on jõu F moment telje O suhtes võrdne jõu P momendiga sama telje suhtes:

$$F \cdot 2r = P \cdot r,$$

millest

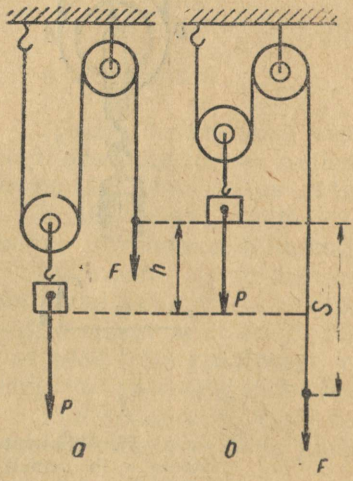
$$F = \frac{P}{2}.$$

Järelikult, kui ei arvestata ploki ja nööri kaalu ning liikumisel esinevat hõõrdumist, *siis võidetakse liikuva plokiga jõus kaks korda.*

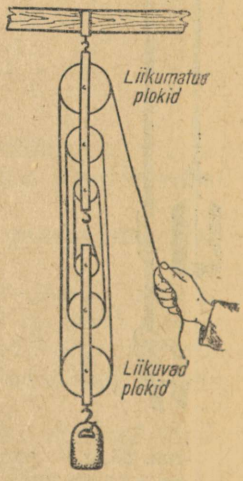
Kontrollige teoreetiliselt saadud järeldust katseliselt.

Kui mõõta raskuse *P* ja jõu *F* rakenduspunkti poolt läbitud teepikkusi, siis selgub, et jõu *F* poolt läbitud tee on koormuse poolt läbitud teest kaks korda pikem. Liikuvat plokki kasutades võidetakse seega küll jõus kaks korda, kuid kaotatakse samal ajal teepikkuses ka kaks korda. Järelikult, *liikuv plokk töös võitu ei anna.*

Sageli on otstarbekas kasutada liikuvat plokki koos liikumatu plokiga (joon. 57). Paljudes masinates kasutatakse aga polüspasti (joon. 59). Polüspast koosneb kahest mitme plokirattaga klambrist. Üks klamber kinnitatakse liikumatult, teise külge riputatakse aga tõstetav koormus.



Joon. 57. Liikuv plokk töös võitu ei anna. *h* — koormuse tõstmise kõrgus; *s* — jõu rakenduspunkti poolt läbitud tee.



Joon. 58. Polüspast.

Polüspastiga võidetakse jõus nii mitu korda, kui mitu plokiratast on polüspasti liikuvas ja liikumatus klambris kokku. Joonisel 58 kujutatud polüspastiga võidetakse jõus kuus korda. Selgitage, miks!

Inimkonna sajanditepikkune praktika näitab, et **mitte ükski mehhanism ei anna võitu töös.** Mehhanismide poolt tehtud töö ei saa kunagi olla suurem selle jõuallika poolt tehtud tööst, mis paneb mehhanismi liikuma.

Kõikide mehhanismide kohta kehtib **reegel:** *nii mitu korda kui me antud mehhanismiga võidame jõus, kaotame me samal ajal teepikkuses.*

Iga masin on ette nähtud mingi kindla töö tegemiseks: freespink mitmesuguste esemete töötlemiseks, viljapeksumasin terade ja õlgede eraldamiseks, tõstekraana koormate ümbertõstmiseks jne. Seda tööd, mille tegemiseks masin on määratud (ja mida ta teeb), nimetatakse *kasulikuks tööks* (A_k).

Masinat töös hoidev jõuallikas peab kasuliku töö kõrval ületama veel laagrites esinevat hõõrdumist, õhutakistust ning tõstma üksikuid masinaosi jne. Seepärast teeb jõuallikas alati rohkem tööd kui sama jõuallika poolt töös hoitav masin. Jõuallika poolt tehtavat tööd nimetatakse *kulutatud* ehk *tehtud tööks* (A_t).

Arvu, mis näitab, millise osa tehtud tööst moodustab masina kasulik töö, nimetatakse selle masina kasuteguriks (η).

$$\eta = \frac{A_k}{A_t}.$$

Kõikide masinate kasutegurid on väiksemad kui üks (selgitage, miks?). Kui kasutegur on väljendatud protsentides, siis on see alati väiksem kui 100%. Mida suurem on kasutegur, seda ökonoomsem on masin.

Mõnikord on tarvis teada masina mõne üksiku mehhanismi kasutegurit. On selge, et ülaltoodud arutlus ja järeldused on kasutatavad ka mistahes mehhanismi kasuteguri määramiseks.

Näide. Tööline tõstab liikuva ploki abil 400 N raskuse koorma 10 m kõrgusele. Arvutage kasulik töö, kasutatava mehhanismi kasutegur ning töölise poolt tehtav töö, kui tööline rakendab jõudu 250 N.

Antud:

$P = 400$ N;
$h = 10$ m;
$F = 250$ N.

Leida A_k; A_t; η.

Lahendus:

1. Leiame raskuse tõstmisel tehtava töö A_k:
$A_k = Ph$; $A_k = 400\ \text{N} \cdot 10\ \text{m} = 4000\ \text{J}$.
2. Leiame töölise poolt rakendatava jõu rakenduspunkti poolt läbitava tee s:
$s = 2h$; $s = 2 \cdot 10\ \text{m} = 20\ \text{m}$.
3. Leiame tehtud töö A_t:
$A_t = Fs$; $A_t = 250\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} = 5000\ \text{J}$.

4. Arvutame kasutatava ploki kasuteguri η:

$$\eta = \frac{A_k}{A_t}; \quad \eta = \frac{4000\ \text{J}}{5000\ \text{J}} = 0{,}8; \quad \eta = 80\,\%\ .$$

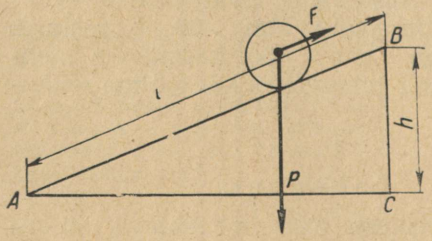
Harjutus 11.

1. Miks tuleb koormuse ühtlasel tõstmisel liikumatu ploki abil rakendada koormuse raskusest suuremat jõudu, koormuse paigalhoidmisel sama ploki abil aga koormuse raskusest väiksemat jõudu?
2. Liikuva plokiga tõsteti koormus 10 m kõrgusele 120 N suuruse jõu abil. Kui palju tehti seejuures tööd? Hõõrdumist ning ploki kaalu mitte arvestada.
3. 40 kG raskuse koormuse tõstmisel liikuva ploki abil tegi tööline 600 J tööd. Kui kõrgele tõsteti koormus? Ploki kaalu ning hõõrdumist mitte arvestada.
4. Liikuva ploki abil tõsteti 45 kG raskune koorem 10 m kõrgusele. Arvutage töölise poolt tehtud töö ning ploki kasutegur, kui tööline rakendas tõstmiseks 300 N suurust jõudu.
5. Kui palju tööd tuleb teha 500 N raskuse keha tõstmiseks 6 m kõrgusele liikumatu ploki abil, mille kasutegur on 90%?

§ 38. KALDPIND.

Paljud teist on näinud bensiinivaatide veeretamist veoauto kasti mööda kalduasetatud planke. Need kalduasetatud plangud moodustavad *kaldpinna.*

Teeme kindlaks, mille poolest on selline raskuste tõstmise moodus kasulik. Märgime skemaatiliselt üles kaldpinna ning sellel olevale kehale mõjuvad jõud (joon. 59). F on jõud, mis veab keha kaldpinda mööda üles, P — keha kaal, $l = AB$ on kaldpinna pikkus ning $h = BC$ — kaldpinna kõrgus.



Joon. 59. Keha tasakaal kaldpinnal.

Keha tõstmisel kõrgusele h tehakse tööd

$$A_k = Ph.$$

Keha nihutamisel kaldpinda mööda üles tehakse tööd

$$A_t = Fl.$$

Kui hõõrdumist ei arvestata, siis on jõuallika poolt tehtav töö (näiteks tööliste poolt vaadi veeretamisel tehtav töö) võrdne raskuse tõstmiseks tehtava kasuliku tööga:

$$Ph = Fl, \quad \text{siit} \quad \frac{F}{P} = \frac{h}{l}.$$

Kui hõõrdumist mitte arvestada, siis on keha tõstmiseks mööda kaldpinda vajalik jõud keha kaalust nii mitu korda väiksem, kui mitu korda on kaldpinna kõrgus väiksem tema pikkusest.

Kaldpinna kasutamisel võidetakse seega jõus nii mitu korda, kui mitu korda on kaldpinna pikkus suurem kaldpinna kõrgusest.

Tooge oma tööpraktikast näiteid kaldpinna kasutamise kohta.

Kui hõõrdumine on küllalt suur ja seda ei saa arvestamata jätta, siis moodustab kasulik töö ainult osa tehtud tööst. Sel juhul avaldub jõudude F ja P seos kasuteguri abil järgmiselt:

$$\eta = \frac{A_k}{A_t} \quad \text{ehk} \quad \eta = \frac{Ph}{Fl}.$$

Näide 1. Kaldteed mööda veetakse üles söevagonetti kaaluga 6000 N. Millise jõuga mõjub tross vagonetile, kui kaldtee pikkus on 60 m ja kõrgus 15 m?

Antud:

$P = 6000$ N;
$l = 60$ m;
$h = 15$ m.

Leida F.

Lahendus:

Kui hõõrdumist mitte arvestada, siis

$$\frac{F}{P} = \frac{h}{l}, \text{ millest } F = \frac{Ph}{l}.$$

$$F = 6000 \text{ N} \cdot \frac{15 \text{ m}}{60 \text{ m}} = 1500 \text{ N}.$$

Näide 2. 4 m pikkust ja 1,2 m kõrgust kaldpinda mööda tõugatakse üles 800 N raskust kasti 320 N suuruse jõuga. Leida kaldpinna kasutegur.

Antud:

$l = 4$ m;
$h = 1{,}2$ m;
$P = 800$ N;
$F = 320$ N.

Leida η.

Lahendus:

1. Arvutame kasuliku töö:
   $A_k = Ph$; $A_k = 800 \text{ N} \cdot 1{,}2 \text{ m} = 960 \text{ J}$.
2. Arvutame kasti tõstmisel tehtud töö:
   $A_t = Fl$; $A_t = 320 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} = 1280 \text{ J}$.
3. Arvutame kasuteguri:
   $\eta = \frac{A_k}{A_t}$; $\eta = \frac{960 \text{ J}}{1280 \text{ J}} \approx 0{,}75$; $\eta = 75\%$

§ 39. LABORATOORNE TÖÖ NR. 3.

Kaldpinna kasuteguri määramine.

T ö ö v a h e n d i d: 50—70 cm pikkune sile laud, statiiv näpitsaga, dünamomeeter, puuklots konksuga ja joonlaud.

T ö ö k ä i k.

1. Seadke laud kaldu, kinnitades laua ühe otsa statiivi näpitsa vahele. Kinnitage dünamomeeter klotsi külge, vedage dünamomeetri abil klotsi ühtlaselt kaldpinda mööda üles ning määrake kindlaks veojõud. Seejuures peab dünamomeeter asetsema paralleelselt kaldpinnaga.

2. Mõõtke puuklotsi kaal, kaldpinna pikkus ja kõrgus ning kirjutage mõõtmistulemused tabelisse:

Katse nr.	Veojõud F	Klotsi kaal P	Kaldpinna pikkus l	Kaldpinna kõrgus h	Kasulik töö A_k	Tehtud töö A_t	Kasutegur η
1.							
2.							

3. Arvutage kaldpinna kasutegur.

4. Muutke kaldpinna kõrgust, tehke uuesti kõik vajalikud mõõtmised ning arvutage kasuteguri uus väärtus.

5. Selgitage, miks kaldenurga suurenemisega suureneb kaldpinna kasutegur.

Harjutus 12.

1. Mjks läheb tee mäetippu siksakiliselt mööda mäekülge?

2. Miks on keha nihutamiseks kaldpinda mööda üles vaja suuremat jõudu kui keha paigalhoidmiseks kaldpinnal?

3. Keha ühtlaseks nihutamiseks kaldpinda mööda üles on tarvis jõudu 120 N, keha paigalhoidmiseks samal kaldpinnal aga 80 N. Kui suur on hõõrdejõud?

4. 2 T raskune auto sõidab ühtlaselt mööda 300 m pikkust ja 30 m kõrgust kaldteed. Kui suur on mootori veojõud, kui rataste ja maantee vaheline hõõrdejõud on 500 N? Kui suure töö teeb auto sellel teel?

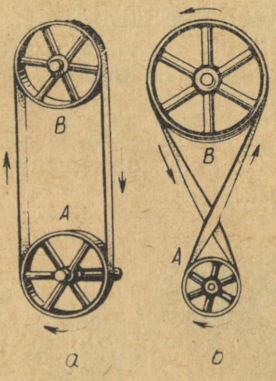
5. 400 N raskuse keha tõstmiseks kaldpinna abil 1,2 m kõrgusele rakendati 80 N suurust jõudu. Kui suur on kaldpinna kasutegur, kui kaldpinna pikkus on 10 m?

6. Keha tõstmisel kaldpinna abil 2 m kõrgusele tehti 300 kGm tööd. Kui raske oli tõstetav keha, kui kaldpinna kasutegur on 0,6?

§ 40. MEHHANISMID PÖÖRLEVA LIIKUMISE EDASIANDMISEKS JA MUUNDAMISEKS.

Pöörleva liikumise edasiandmine jõuallikalt masina töötavatele osadele toimub ülekandemehhanismide ehk ajamite abil. Tutvume enamkasutatavate ülekandeviisidega.

1. Rihmülekanne toimub kahte ratast haarava lõputa rihma abil (joon. 60. *a*). Liikumist edasiandvat rihmaratast nimetatakse *vedavaks* rattaks, seda ratast aga, millele liikumist edasi antakse, nimetatakse *veetavaks* rattaks.



Joon. 60. Rihmülekanne. *a* — vedav ja veetav ratas pöörlevad üheş ja samas suunas; *b* — rihma ristiasendi korral pöörlevad vedav ja veetav ratas vastupidises suunas.

Liikumine ja jõud antakse ühelt rihmarattalt teisele tänu hõõrdumisele rihmarataste ja rihma vahel. Rihmajami abil saab üle kanda suuri jõude. Selleks peab rihm olema küllalt lai ning tugevasti pingutatud.

Kui tahetakse rihmarattaid pöörlema panna teineteisega vastassuunas, siis asetatakse rattaid ühendav rihm risti (joon. 60, *b*).

Rihmülekande korral on vedava ja veetava ratta piirdel asuvate punktide joonkiirused võrdsed:

$$v_1 = v_2 \text{ ehk } 2\pi r_1 n_1 = 2\pi r_2 n_2,$$

kus n_1 ja n_2 on vedava ja veetava ratta pöörete arvud ajaühikus ning r_1 ja r_2 nende rataste raadiused.

Järelikult

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

(kus D_1 ja D_2 on vedava ja veetava ratta diameetrid), see tähendab — *rataste pöörlemiskiirused on pöördvõrdelised nende diameetritega.*

2. **Hammasülekannet** kasutatakse siis, kui on vajalik vedava ja veetava võlli rangelt kooskõlastatud liikumine ning kui võllide vahemaa ei ole suur. Hammasülekande juures kasutatakse hammasrattaid (joon. 61). Kui veetav hammasratas peab pöörlema vedava hammasrattaga ühes ja samas suunas, siis asetatakse nende vahele nn. vahehammasratas (joon. 62).

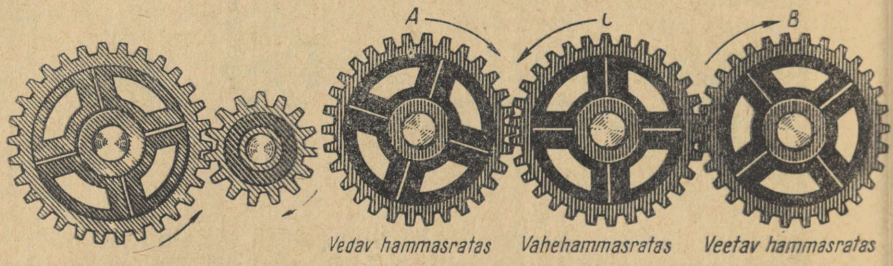
Kui vedav ja veetav võll pole teineteisega paralleelsed, vaid moodustavad teineteisega mingi nurga, siis kasutatakse kas koonilisi hammasrattaid (joon. 63) või kaldhammastega silindrilisi hammasrattaid (joon. 64).

Joonisel 61 kujutatud hammasülekande väikesel hammasrattal on 15 hammast, suurel aga 30 hammast. Ajal, mil suur hammasra-

tas teeb ühe täispöörde, teeb väike hammasratas kaks täispööret. Järelikult — *hammasrataste pöörete arvud ajaühikus on pöördvõrdelised hammaste arvudega.*

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1},$$

kus Z_1 ja Z_2 on vastavalt vedava ja veetava ratta hammaste arvud.

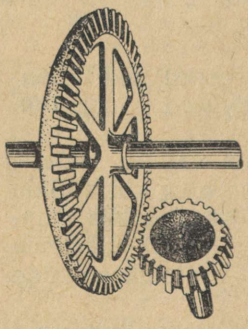


Joon. 61. Hammasülekanne (hammasrattad pöörlevad vastupidistes suundades).

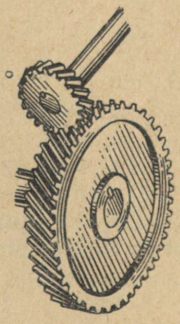
Joon. 62. Vedav ja veetav hammasratas pöörlevad ühes ja samas suunas.

Hammasülekannet kasutatakse väga mitmesugustes masinates. Tooge näiteid masinatest, kus kasutatakse hammasülekannet.

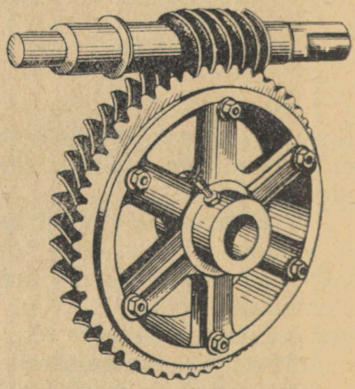
Juhul kui võllid asuvad teineteisest küllalt kaugel, kasutatakse *kettülekannet.* Sellist ülekannet rakendatakse näiteks jalgrataste, kivisöekaevanduste soonimismasinate, kombainide jt. masinate juures.



Joon. 63. Ristuvad võllid ühendatakse kooniliste hammasratastega.



Joon. 64. Kaldhammastega silindrilised hammasrattad ühendavad teineteisega mingi nurga all asetsevaid võlle.



Joon. 65. Tiguülekanne.

3. **Tiguülekannet** kasutatakse siis, kui on vaja tunduvalt vähendada veetava võlli kiirust, kuid saada seejuures suurt pöördemomenti (konveierilintide, mõnede tõstemasinate, kraanade jm. juures).

Tiguülekanne kujutab endast kruvi (tigu) ja hammasratta ühendust (joon. 65), kusjuures vedavaks elemendiks on alati kruvi. Pöörlev kruvi paneb pöörlema hammasratta. Pöörleva hammasratta abil ei ole aga võimalik kruvi pöörlema panna. Kruvi ühe täispöörde jooksul pöördub hammasratas edasi ühe hamba võrra.

Mitmesugustes ülekannetes toimub kiiruse muundamisega üheaegselt ka jõumomendi (mitte jõu) muutumine. Selgitame seda hammasülekande abil (joon. 61).

Teineteisega hambuvate hammasrataste hammastele mõjuvad suuruselt võrdsed jõud (joon. 27). Nende jõudude õlad on aga erinevad. Mida rohkem on hammasrattal hambaid, seda suurem on hammasratta raadius ning seda suurem on mõjuva jõu moment. Liikumise ülekandmisel väiksemalt hammasrattalt suuremale suureneb jõumoment, mis mõjub veetavale võllile. Kuid samal ajal väheneb veetava võlli pöörlemiskiirus nii mitu korda, kui mitu korda suurenes jõumoment (tõestage seda).

Järelikult — *nii mitu korda kui võidetakse jõumomendis, kaotatakse samal ajal pöörlemiskiiruses.* Suure pöördemomendi saamiseks antakse seepärast liikumine väiksemalt hammasrattalt suuremale hammasrattale.

Harjutus 13.

1. Tutvuge teie töökohas kasutatavate ülekannete tüüpidega.
2. Milliseid rihmarattaid tuleb kasutada vedaval ja veetaval võllil, kui tahetakse, et veetav võll pöörleks 3 korda aeglasemalt vedavast võllist?
3. Lugege käsiõmblusmasina veomehhanismis kasutatava vedava ja veetava hammasratta hammaste arv ning tehke kindlaks, mitu korda on masina peavõlli pöörlemiskiirus suurem vända pöörlemiskiirusest.
4. Tehke katseliselt kindlaks jalgratta tagumise ratta pöörete arv ajavahemikus, mille jooksul pedaalid teevad ühe täispöörde.
5. Vedaval hammasrattal on 20 hammast ning ratas teeb 300 pööret minutis. Mitu hammast on veetaval hammasrattal, mille pöörlemiskiirus on 120 $\frac{p}{min}$?
6. Miks vähendab autojuht mäkke sõitmisel kiirust, lülitades sisse kas kolmanda või teise käigu?

V PEATÜKK.

MEHHAANILINE ENERGIA.

§ 41. ENERGIA MÕISTE.

Töö mõistega on tihedalt seotud üks füüsika tähtsamaid mõisteid, nimelt energia[1] mõiste.

Kui keha võib teha tööd, siis öeldakse, et kehal on *energiat*. Energiat on veel, mis paneb pöörlema hüdroturbiini, sest vesi teeb turbiini pöörlemapanemiseks tööd. Energiat on samuti kokkusurutud õhul; selline õhk võib panna tööle suruõhuvasara, avada ja sulgeda autobussi uksi jne.

Mida suurema töö suudab keha ära teha, seda suurem on selle keha energia. Nii näiteks teeb tonn vett 40 m kõrguselt hüdroturbiini töörattale langedes rohkem tööd kui 10 m kõrguselt langedes. Esimesel juhul on ka vee energia suurem.

Tutvume energiaga, mis on seotud kehade mehhaanilise liikumisega ning selle liikumise ülekandmisega kehade vastastikuse mõju korral. Grammofoni üleskeeratud vedru, alasi kohale tõstetud vasar, lendav kuul — kõik need on kehad, millel on mingi mehhaaniline energia. Mehhaanilise energia kõrval eksisteerivad veel teised energialiigid (näiteks elektrienergia, aatomienergia jne.), mida õpime tundma edaspidi.

Töö tegemisel muutub ka keha energia. Nii näiteks keerdub grammofoni vedru plaadi pöörlemisel lahti ning tema energia väheneb. Grammofoni vedru üleskeeramisel teeb inimene tööd ning annab sellega vedrule mingi energiahulga. Vedru energia kasvab inimese töötegemise protsessis.

Mehhaanilise energia muutust mõõdab töö, mida keha antud tingimustes võib teha. Seepärast mõõdetakse ka energiat samade ühikutega kui tööd (džaulidega, kilogramm-meetritega).

Keha energia oleneb keha mehhaanilisest seisukorrast. Nii näiteks oleneb vedru energia sellest, kui tugevasti on vedru deformeeritud, kokkusurutud gaasi energia gaasi rõhust, veejoa energia selle veejoa kiirusest jne.

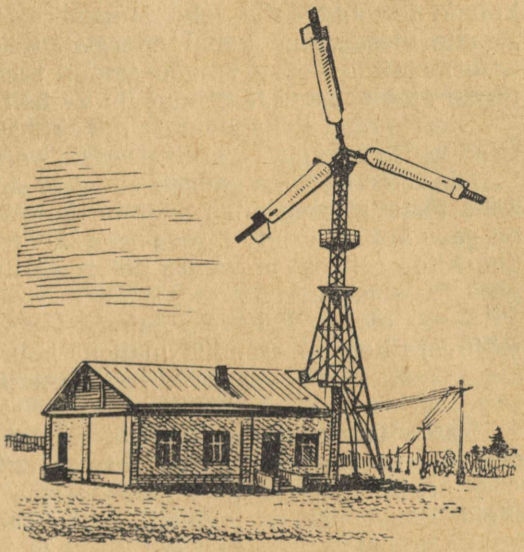
Tööd tehes läheb keha ühest olekust teise, nimelt sellisesse, kus energia on väiksem. Vedru keerdub lahti, kokkusurutud gaas paisub ning selle rõhk väheneb, veejoa kiirus väheneb põrkamisel vastu turbiini tööratast.

---

[1] Kreekakeelsest sõnast *energeia* — tegevus.

§ 42. KINEETILINE JA POTENTSIAALNE ENERGIA.

Iga liikuv keha võib teise kehaga kokku puutudes teha tööd, see tähendab, et liikuval kehal on energiat. Liikuv õhk (tuul) paneb pöörlema tuuleturbiini tööratta (joon. 66), vasar lööb naela puusse, liikuv ader pöörab ümber pinnast.



Joon. 66. Tuulemootor.

Liikuva keha energiat nimetatakse kineetiliseks[1] energiaks.

Millest sõltub kineetilise energia suurus?

Vaia rammimisel kasutatakse liikuva vasara energiat. Mida suurem on vasara *mass*, seda rohkem tööd teeb vasar löögil, see tähendab — seda suurem on vasara kineetiline energia. Vasara kineetiline energia oleneb ka vasara liikumise *kiirusest*. Mida suurem on vasara kiirus löögi momendil, seda suurem on vasara kineetiline energia.

Püssist väljalennanud kuulil on algul suur kiirus ning ta võib läbida küllalt paksu laua. Oma lennu lõpul on kuuli kiirus palju väiksem ning ta jääb lauda kinni.

Sõe ning turba tootmisel kasutatakse hüdromonitore, mis paiskavad välja veejoa kiirusega 100 $\frac{m}{s}$. Suure kineetilise energiaga veeosakesed lõhuvad sõe- või turbakihte. On loodud selliste hüdromonitoride katseeksemplarid, mille kitsa veejoa kiirus on kuni

[1] Kreekakeelsest sõnast *kinema* — liikumine.

5 $\frac{km}{s}$. Selline veejuga purustab kergelt ka kõige tugevamaid maagikihte. Sellise joa toimel muutub mitmetonnine graniidirahn mõne minuti jooksul peenikeseks kivipuruks.

Tooge oma kogemustest näiteid, mis kinnitavad, et keha kineetilise energia suurus oleneb keha massist ja liikumise kiirusest.

Energiat omab ka paigalolev keha. Nii võib iga maapinna kohale tõstetud keha teha langemisel tööd. Järelikult on maa kohale ülestõstetud kehal energiat. Kokkusurutud gaas või aur, deformeeritud vedru võivad samuti teha tööd, kui nad lähevad tagasi algolekusse. Järelikult on ka neil kehadel energiat.

Ülestõstetud kehade energia, kokkusurutud gaasi ja deformeeritud vedru energia — kõik need on *potentsiaalse*[1] energia näited.

Ülestõstetud keha energia on seda suurem, mida kõrgemale on keha tõstetud ning mida suurem on tema kaal. Mida tugevamini on gaas kokku surutud, seda suurem on gaasi potentsiaalne energia. Mida rohkem on vedru deformeeritud, seda suurem on tema potentsiaalne energia.

Seega oleneb kehade potentsiaalse energia suurus vastastikku mõjuvate kehade asendist (näiteks koormus ja maa) või ühe ja sama keha osade vastastikusest asendist (näiteks deformeeritud vedru keerud).

Vastastikku mõjuvate kehade või nende osade suhtelisest asendist sõltuvat energiat nimetatakse potentsiaalseks energiaks.

Kineetiline ja potentsiaalne energia on mehhaanilise energia liigid. Kehal, näiteks lennukil, võib üheaegselt olla nii kineetilist kui ka potentsiaalset energiat.

Tuleb märkida, et ühe ja sama keha energia võib olla erinevate kehade suhtes erinev. Liikuvas vagunis oleval konteineril on maapinna suhtes nii kineetilist kui ka potentsiaalset energiat. Samal ajal on aga konteineri kineetiline ja potentsiaalne energia vaguni põranda suhtes null (miks?). Tooge analoogilisi näiteid oma praktikast.

§ 43. ENERGIA MUUNDUMINE MEHHAANILISTES PROTSESSIDES.

Mehhaanilistes protsessides antakse energiat ühelt kehalt teisele töötegemise juures. Kergejõustiklane annab ketast heites viimasele kineetilist energiat. Kella üleskeeramisel tehakse tööd ning antakse vedrule energiat.

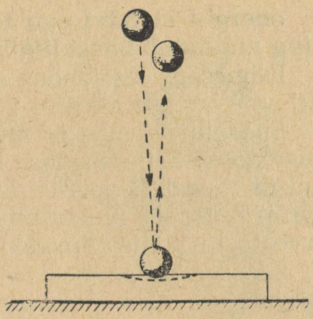
Arvukad katsed tõendavad, et nii palju kui üks keha annab vastastikusel mõjutamisel energiat ära, saab teine keha seda juurde. See tähendab, et *energia ei hävi ega teki.*

---

[1] Ladinakeelsest sõnast *potentia* — võime.

Looduses ja tehnikas toimub pidevalt potentsiaalse energia muundumine kineetiliseks ja vastupidi.

Jälgime terasplaadile langeva teraskuulikese energia muundumist. Plaadi kohale tõstetud kuulikesel (joon. 67) on potentsiaalset energiat. Kuulikese langemisel tema potentsiaalne energia väheneb, sest väheneb kuulikese ja plaadi vaheline kaugus. Seejuures kuulikese kiirus pidevalt kasvab ning järelikult suureneb tema kineetiline energia. Nii muundub kuuli esialgne potentsiaalne energia kineetiliseks. Kuulikese langemise lõpp-punktis on kogu kuulikese potentsiaalne energia muundunud kineetiliseks energiaks.



Joon. 67. Kuulikese langemisel ning põrkamisel vastu plaati toimub ühe mehhaanilise energia liigi muundumine teiseks.

Plaadiga kokkupuutumise momendil ei suuda kuulike momentaanselt peatuda. Jätkates liikumist surub kuulike kokku nii plaati kui ka iseennast. Seejuures tekivad elastsusjõud, mis pidurdavad kuulikese liikumist ning peatavad ta lõpuks täiesti. See nähtus toimub sekundi sajandike jooksul ning sellega kaasneb kuuli kineetilise energia muundumine deformeeritud plaadi ja kuulikese potentsiaalseks energiaks.

Nüüd põrkab kuulike elastsusjõudude mõjul plaadilt tagasi umbes samasuguse kiirusega nagu plaadile langemise momendil. Deformeerunud kuulikese ja plaadi potentsiaalne energia muundub seejuures kuulikese kineetiliseks energiaks. Kuulike tõuseb peaaegu samale kõrgusele[1], kust ta langema hakkas. Tõusul muundub kineetiline energia potentsiaalseks, tõusu kõrgeimas punktis on kogu kineetiline energia muundunud potentsiaalseks.

Kõikides mehhaanilise energia muundumisprotsessides jääb kineetilise ja potentsiaalse energia summa muutumatuks.

Tooge veel näiteid, kus potentsiaalne energia muundub kineetiliseks või vastupidi.

Enamik nähtusi toimub aga selliselt, et üks osa kehade mehhaanilisest energiast muundub teisteks energialiikideks. Nii näiteks toimub löökide ja hõõrdumise juures ümbritseva keskkonna soojenemine. Edaspidi vaatleme lähemalt seda, kuidas toimub ühe energialiigi muundumine teiseks.

Kõikide nähtuste juures kehtib looduse põhiseadus — energia jäävuse ja muundumise seadus:

---

[1] Põrkamisel kuulike ja plaat kuumenevad. Selleks kulub osa mehhaanilist energiat. Seepärast ei suudagi kuulike tõusta esialgsele kõrgusele. Üksikasjalisemalt käsitletakse mehhaanilise energia muundumist teisteks mittemehhaanilisteks energialiikideks peatükkides IX—XII.

energia ei hävi ega teki, ta ainult läheb ühelt kehalt teisele ning muundub ühest liigist teise võrdsetes hulkades.

Esimesena väljendas selle mõtte vene teadlane Mihhail Vassiljevitš Lomonossov (1711—1765) 1748. aastal.

Energia jäävuse ja muundumise seadus on kõige üldisem loodusseadus. Selle seaduse kehtivust kinnitavad kõik teadusele tuntud nähtused. Seepärast kasutatakse teaduslikus uurimistöös energia jäävuse ja muundumise seadust teoreetiliste järelduste ja arvestuste kontrollimiseks.

See seadus peegeldab meid ümbritseva maailma lõpmatust ja hävimatust ning püsivaid ja seaduspäraseid seoseid loodusnähtuste vahel.

Ühe energialiigi muundumist teiseks kasutatakse pidevalt tehnikas töö tegemiseks. Igasugune masinaid töös hoidev jõuallikas kasutab teiste kehade energiat. Hüdroturbiin kasutab tööratta labidatele langeva vee kineetilist energiat, suruõhuvasar kokkusurutud õhu potentsiaalset energiat, automootor aga bensiini põlemisel tekkivate kokkusurutud gaaside energiat. Ükski jõumasin ei suuda energiat «toota» eimillestki.

Kõik arvukad katsed konstrueerida «igavene jõumasin», mis võiks tööd teha ilma teistelt kehadelt saadava energiata, see tähendab ilma kehade vastastikuse mõjuta, on alati lõppenud edutult. «Igavene jõumasin» ei ole võimalik, sest see on vastuolus energia jäävuse ja muundumise seadusega.

Paragrahvis 43 räägiti sellest, et tehtud töö hulk näitab, kui palju energiast muundus ühest liigist teise või läks üle ühelt kehalt teisele. Nii näiteks tehti 2000 N raskuse suruõhuvasara tõstmiseks 2 m kõrgusele 4000 J tööd. See tähendab, et suruõhk andis ära ning vasar sai juurde 4000 J energiat.

Seega, **tehtud töö hulk on keha energia muutumise mõõt.**

Selgitage energia jäävuse ja muundumise seaduse alusel, miks kang või mõni teine lihtmehhanism ei saa anda võitu töös.

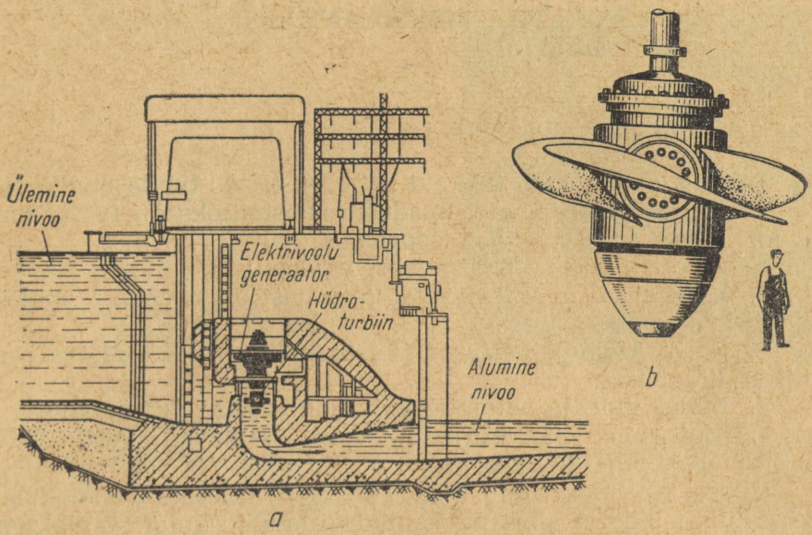
§ 44. VEE- JA TUULEENERGIA KASUTAMINE.

Hüdroelektrijaamades kasutatakse elektrienergia tootmiseks voolava vee energiat.

Selleks tõkestatakse jõesängid raudbetoonist tammidega ning tõstetakse vee taset tammi taga. Mida kõrgem on vee tase, seda suurem on iga kilogrammi vee potentsiaalne energia.

Spetsiaalseid kanaleid mööda paiskub vesi hüdroturbiini tööratta labidatele mõjudes paneb ratta pöörlema (joon. 68). Turbiini tööratas on ühendatud elektrigeneraatori võlliga.

Selliselt muudetakse vee mehhaaniline energia hüdroelektrijaamades elektrienergiaks.



Joon. 68. *a* — hüdroturbiini ehituse skeem; *b* — võimsa hüdroturbiini tööratas.

Meie maal ehitatakse kaasaegseid ning maailma võimsamaid hüdroturbiine. Bratski hüdroelektrijaama iga turbiini võimsus on 220 tuhat kilovatti. Ehitatava Krasnojarski hüdroelektrijaama jaoks valmistatakse praegu 508 tuhande kilovati võimsusega turbiine.

Tuule kineetilist energiat kasutatakse tuuleturbiinides (joon. 66). Õhuvool paneb pöörlema tuuleturbiini tööratta (tiiviku), mille pöörlemine antakse spetsiaalse ajami abil edasi suhteliselt väikese võimsusega elektrigeneraatorile.

Tuuleturbiine kasutatakse ranna- ja stepirajoonides, kus tuuled puhuvad peaaegu pidevalt.

Harjutus 14.

1. Milliseid energialiike on lennukis sõitva reisija käekellal?
2. Millise energia arvel sulgub vedruga kinnitatud uks?
3. Liikuval kehal on 500 J energiat. Selgitage, mida see tähendab.
4. Leidke Bratski veehoidlas asuva 1 m^3 vee potentsiaalne energia, kui tammi abil on vee nivoo tõstetud 100 m kõrgusele.
5. Millisele kõrgusele tuleb tõsta 50 N raskune vasar, et suurendada selle energiat 40 J võrra?
6. Millised energia muundumised toimuvad palli langemisel põrandale? põrkamisel vastu põrandat? põrandalt tagasipõrkamisel?

VI PEATÜKK.

TAHKE KEHA MEHHAANILISED OMADUSED

§ 45. AINE MOLEKULAARNE EHITUS.

Selleks et kasutada tahkeid kehi, on tarvis tunda nende omadusi. Mitmesuguste ainete omaduste mõistmiseks on tarvis tunda aine *molekulaar-kineetilist teooriat.*

See teooria põhineb järgmistel väidetel:

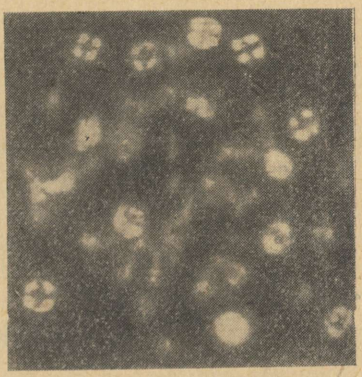
1. Kõik ained koosnevad väikseimatest osakestest — molekulidest ja aatomitest.
2. Kõikide ainete aatomid ja molekulid on lakkamatus kaootilises liikumises.
3. Molekulide ja aatomite vahel on olemas vahemikud.
4. Molekulide (ja aatomite) vahel esinevad vastastikused mõjujõud (tõmbe- ja tõukejõud).

Üldise tähenduse ning teadusliku põhjenduse sai molekulaar-kineetiline teooria alles möödunud sajandil, kuigi vana-kreeka teadlased juba 2000 aastat tagasi oletasid, et kõik kehad koosnevad väikseimatest ning lakkamatult liikuvatest osakestest — aatomitest (aatom tähendab kreeka keeles «jagamatu»).

Keskajal jälitas kirik kõiki aine ehituse materialistlike seisukohtade väljendajaid. Alles XVIII sajandil hakkasid aine ehituse materialistlikud ideed uuesti levima ning arenema. Selleks aitasid



Mihhail Vassiljevitš Lomonossov (1711—1765) — geniaalne vene teadlane. Juba lapsepõlvest alates avaldusid tema erakordsed võimed ning teadmishimu. 1730. a. saabus ta Moskvasse õppima. Tänu erakordsele töövõimele saavutas Lomonossov väljapaistvat edu paljudel teadusaladel. M. V. Lomonossovi nõudmisel ja eestvedamisel avati Moskvas 1755. aastal esimene vene ülikool. Praegu kannab see ülikool Lomonossovi nime.



Joon. 69. Ühe vaseühendi molekulide foto (suurendatud kaks miljonit korda).

palju kaasa esimese vene akadeemiku M. V. Lomonossovi teaduslikud uurimused ning katsed.

Igapäevases elus näeme pidevalt kehade jagunemist osadeks. Kivid purunevad ning muutuvad seejuures liivaks, suhkur lahustub vees, tinditilk jaguneb üle terve vee. Millised on siis need kõige väiksemad osakesed, millest kehad koosnevad?

Kõige väiksemateks lihtaine osakesteks on *aatomid*, liitainetel aga *molekulid*. Molekulid koosnevad aatomitest. Nii näiteks koosneb vee molekul kahest vesiniku ja ühest hapniku aatomist.

Kui liitaine molekulid lagunevad, siis tekivad esialgse aine omadustega võrreldes hoopis teistsuguste omadustega lihtained. Nii saadakse vee molekulide lagunemisel kaks gaasi — vesinik ja hapnik. Vesi ei põle ega soodusta põlemist, kuid vesinik süttib kergesti, hapnik aga soodustab põlemist.

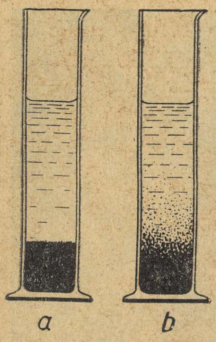
Seega, *molekul on liitaine kõige väiksem osake, mis säilitab selle aine omadused.*

Aatomid ja molekulid on nii väikesed, et neid pole võimalik vaadelda harilike mikroskoopidega. Ainult spetsiaalse elektronmikroskoobi abil on korda läinud fotografeerida suuri, paljudest aatomitest koosnevaid molekule. Joonisel 69 on toodud ühe vaseühendi molekulide foto.

Kuna molekulide ja aatomite mõõtmed on väga väikesed, siis on isegi väikestes kehades olevate molekulide arv väga suur. Nii näiteks on 1 kuupsentimeetris vees nii palju molekule, et neid igas sekundis ühe miljoni võrra vähendades jõuaksime kõik molekulid eemaldada alles miljardi aastaga.

§ 46. MOLEKULIDE LIIKUMINE.

Kõigile on teada, et lahtises anumas asuv vesi aurub mõne päevaga. Selline nähtus on võimalik ainult molekulide liikumise



Joon. 70. Difusioon vedelikes. *a* — raskem vedelik asub all; *b* — vedelike järkjärguline segunemine.

tõttu. Lõhnaõli, eetri ja teiste lõhnavate ainete lõhna levimine viitab samuti sellele, et aine molekulid liiguvad.

Vaatamata sellele, et gaasi molekulid liiguvad suurte kiirustega (400—1200 $\frac{m}{s}$), levib lõhn aeglaselt. Selle põhjuseks on asjaolu, et lõhnava aine iga molekul põrkab õhu koosseisu kuuluvate gaaside molekulide vastu. Põrgete tulemusena muudab molekul oma liikumise suunda ning liigub seepärast mööda murdjoont.

Molekulide liikumise tulemuseks on ühe aine molekulide tungimine teise ainesse. Sellist nähtust nimetatakse *difusiooniks*. Lõhna levimine kujutab endast difusiooni gaasides. Difusioon esineb ka vedelikes ja tahketes kehades.

Valame mensuuri vaskvitrioli lahust, millele lisame puhast vett selliselt, et vaskvitrioli ja vee lahutuspind jääks selgepiiriliseks (vett tuleb valada väga ettevaatlikult, joon. 70, *a*). Kuigi vee erikaal on väiksem vaskvitrioli erikaalust, on 2—3 nädala pärast kahe vedeliku lahutuspiir kadunud ning vesi värvunud ühtlaselt siniseks (joon. 70, *b*). Vedelikes toimub difusioon tunduvalt aeglasemalt kui gaasides, sest vedelikes asuvad molekulid üksteisele palju lähemal.

Veel lähemal üksteisele asuvad tahke keha molekulid. Seepärast võib tahkete kehade difusioone märgata alles mitme aasta pärast. Nii näiteks liituvad lihvitud pindadega teineteise vastu surutud kuld- ja seatinaplaat difusiooni mõjul kolme aasta jooksul teineteise külge ning moodustavad ühe terviku.

Kõige veenvamaks molekulide liikumise tõestuseks on nähtus, mida tuntakse *Browni liikumise* nime all. Vaadeldes 600-kordse suurendusega mikroskoobi abil veetilka, milles asuvad väikesed akvarellvärvi osakesed, võib näha nende osakeste pidevat ning korrapäratut liikumist. Seejuures on liikumine nähtav seda paremini, mida väiksem on värviosake. Värviosakesed liiguvad seepärast, et mõnest suunast põrkab nende vastu rohkem veemolekule, mõnest suunast aga vähem. Mida väiksem on värviosake, seda suurem on erinevus eri suundadest saadud põrgete vahel. Seepärast liiguvadki väiksemad värviosakesed kiiremini ning vahetavad sagedamini liikumissuunda. Vee molekulid ise on küll nähtamatud, kuid kirjeldatud viisil võime vaadelda nende mõju värviosakestele.

Soojendamisel kiireneb nii *Browni* liikumine kui ka difusioon. Järelikult *temperatuuri tõusuga suurenevad molekulide liikumise kiirused.*

§ 47. MOLEKULIDEVAHELISED KAUGUSED.

Molekulid võivad aines liikuda seetõttu, et nende vahel on vahemikud. Veendume selles lihtsa katse abil.

Valame ühest otsast suletud klaastorusse poolest saadik vett ja selle peale piiritust, kuni toru on ääreni täis. Suleme toru korgiga ning loksutame seda mitu korda üles-alla. Pärast segunemist on vee ja piirituse kogumaht vähenenud. Osa piirituse molekulidest on tunginud vee molekulide vahelistesse tühimikesse.

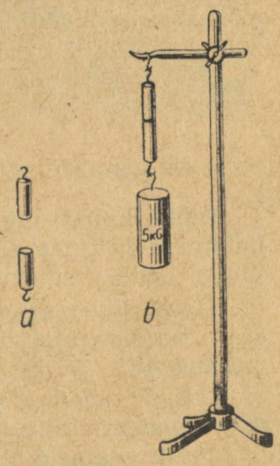
Kõige tihedamini asetsevad molekulid ja aatomid tahketes kehades. Vedelikes on molekulidevahelised kaugused veidi suuremad kui tahketes kehades. Veel suuremad on need kaugused gaasides. Nii näiteks võtab veeaur harilikes tingimustes enda alla 1800 korda suurema ruumala kui vesi, millest aur tekkis.

§ 48. MOLEKULAARJÕUD.

Vaatamata sellele, et aine molekulide vahel on vahemikud ja molekulid on pidevas liikumises, ei lagune tahked kehad osakesteks ning vedelik ei muuda oma ruumala. Selle põhjuseks on molekulide vahel mõjuvad jõud, mida nimetatakse *molekulaarjõududeks.*

Molekulaarjõud mõjuvad ainult väga väikestel kaugustel. Selliseid kaugusi mõõdetakse millimeetri miljondikes.

Asetame kaks pliisilindrit otsapidi teineteise vastu (joon. 71, *a*). Kuna silindrite otsad ei ole tavaliselt eriti siledad, jäävad kokkupuutuvate silindrite otspindade molekulid üksteisest liialt kaugele ning alumine silinder kukub ülemise küljest ära. Lõikame nüüd silindrite otsad noaga siledaks ning surume tihedalt teineteise vastu. Nüüd jäävad silindrid tugevalt teineteise külge. Neid hoiavad koos *molekulidevahelised külgetõmbejõud.* Lähendatud pindade korral osutuvad need jõud nii suureks, et silindrite lahtirebimiseks tuleb rakendada mitme kilogrammi suurust koormust (joon. 71, *b*).



Joon. 71. Kaks pliisilindrit seisavad koos molekulaarjõudude mõjul.

Klaasplaadi lahtirebimiseks veepinnalt on samuti vaja üsna suurt jõudu. Lahtirebitud plaadi alumine külg on seejuures märg. See näitab tõmbejõudude olemasolu nii tahke keha ja vedeliku molekulide vahel kui ka vedeliku enda molekulide vahel.

Gaasides on molekulaarsed tõmbejõud väga väikesed. Kõrvuti molekulaarsete tõmbejõududega esinevad igas aines ka *molekulaarsed tõukejõud.*

Kõik teavad, et tahke keha või vedeliku ruumala vähendamiseks on vaja suuri jõude. Keha kokkusurumisel vähenevad kaugused keha molekulide vahel ning tekivad tõukejõud.

Tahketes kehades ja vedelikes asuvad molekulid üksteisest iga aine jaoks omasel *keskmisel kaugusel.* Selle kauguse vähendamiseks või suurendamiseks on tarvis küllaltki suuri jõude. Molekulide kaootilise liikumise protsessis püsib nendevaheline keskmine kaugus, kuigi üksikutel momentidel need kaugused võivad muutuda.

Tahkes kehas võngub iga molekul mingi tasakaaluasendi ümber. Molekuli üleminek keha ühest osast teise toimub väga harva.

Vedelikes võnguvad molekulid oma tasakaaluasendite ümber, kuid võivad ka samal ajal vedeliku ühest piirkonnast teise ümber asetuda.

Gaasides asuvad molekulid üksteisest niivõrd kaugel, et nendevahelisi molekulaarjõude peaaegu ei eksisteerigi. Oma liikumissuundi muudavad gaasi molekulid ainult vastu teisi molekule või anuma seinu toimuvate põrgete mõjul. Anuma seintelt tagasi põrgates mõjuvad nad seintele mingi jõuga, s. o. avaldavad anuma seintele rõhku.

§ 49. TAHKETE KEHADE ELASTSUS JA PLASTILISUS.

Tahke keha ruumala või siis kuju muutmiseks (joonlaua painutamiseks, kummitoru venitamiseks) tuleb sellele mõjuda mingi jõuga. Seda jõudu nimetatakse *koormuseks.*

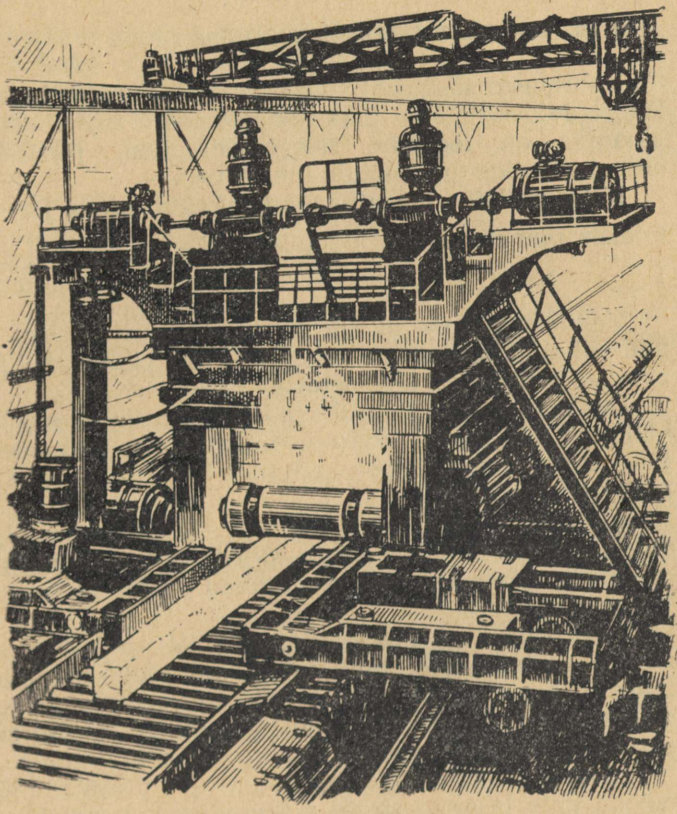
Pärast jõu mõjumise lõppu võtab tahke keha tagasi oma esialgse kuju (joonlaud sirgestub, kummitoru tõmbub kokku endise pikkuseni).

Kehade omadust võtta pärast välise jõu mõjumise lõppu tagasi oma esialgne kuju ja ruumala nimetatakse elastsuseks. Selliste omadustega aineid nimetatakse *elastseteks.*

Masinad ja nende osad, millele mõjuvad mitmesugused jõud, tuleb teha elastsetest materjalidest, et nad pärast jõudude mõjumise lõppu võtaksid alati tagasi oma esialgse kuju.

Kui mingi ese on valmistatud pehmest savist või plastiliinist, siis on kerge selle kuju muuta. Pärast jõu mõju lakkamist selline keha aga ei võta enam oma esialgset kuju.

Kehade omadust muuta väliste jõudude mõjul oma kuju ning



Joon. 72. Suur valtsimismasin — bluuming. Selle valtside vahel toimub hõõguvate terasplokkide valtsimine.

säilitada see ka pärast jõu mõju lakkamist nimetatakse plastilisuseks. Selliste omadustega aineid nimetatakse *plastilisteks.*

Kõik ained on suuremal või vähemal määral nii elastsed kui ka plastilised. Teras on elastne aine, kuid küllalt suurte jõudude mõjul deformeeritud terasvedru jääb deformeerituks ka pärast jõu mõju lakkamist. Plii on plastiline aine, kuid ka temal on teatud elastsus. Kui painutada kergelt kruustangide vahele kinnitatud pliiplaati, siis näeme, et pärast jõu mõjumise (painutamise) lõppu võtab plaat oma esialgse kuju.

Kehade kuumutamisel suureneb nende plastilisus. Nimetatud omadust kasutatakse esemetele vajaliku kuju andmiseks, näiteks sepistamisel, valtsimisel jne. (joon. 72).

Nimetage teile tuttavaid elastseid ja plastilisi aineid.

Koormuste tõstmisel tornkraana abil venib kraana terastross. Sellist deformatsiooni liiki nimetatakse *tõmbeks*. Tõmbedeformatsiooniga on tegemist telegraafitraatide, jõuülekanderihmade, antennimastide tugitraatide jne. juures.

Keha ristlõike iga pinnaühiku kohta tuleva jõu suurust nimetatakse pingeks. Pinge mõõtühikuteks on $\frac{N}{m^2}$ või $\frac{kG}{mm^2}$, kusjuures $1\ \frac{kG}{mm^2} \approx 10^7\ \frac{N}{m^2}$.

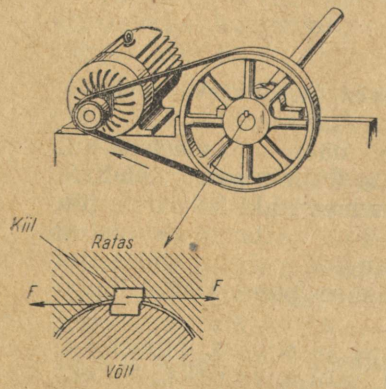
Venitava jõu mõjul suurenevad kaugused tahke keha molekulide vahel, tähendab, suureneb ka keha pikkus. Selliselt toimunud pikkuse juurdekasvu nimetatakse *pikenemiseks*.

Kui mõjuv koormus on jääkdeformatsiooni põhjustavast jõust väiksem, siis pärast koormuse äravõtmist taastavad molekulaarjõud molekulide esialgse keskmise kauguse, s. t. keha võtab oma esialgsed mõõtmed.

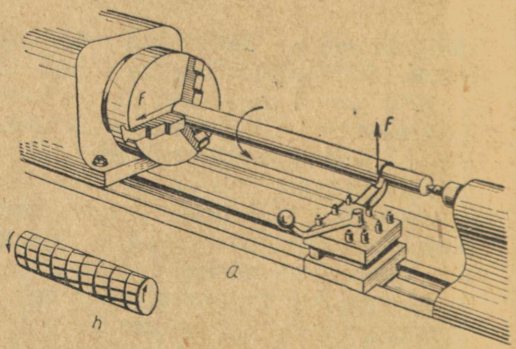
Suurimat pinget, mille juures keha säilitab veel oma elastsed omadused, nimetatakse *elastsuspiiriks*. Masinate normaalseks tööks on tarvis, et nende osadele mõjuvad pinged oleksid elastsuspiirist väiksemad.

Deformeeruvad raudteerööpad, millel sõidab rong, vundament, millele toetub maja, tooli jalad, kui toolil istub inimene. Seda tüüpi deformatsioone nimetatakse *survedeformatsioonideks*. Selle deformatsiooni juures vähenevad mõningal määral molekulide või aatomite tsentrite vahelised kaugused ning keha ise lüheneb.

Tõmbe- ja survedeformatsioone põhjustavad jõud mõjuvad mööda ühte ja sama sirget vastupidistes suundades. Sageli esinevad aga sellised deformatsioonid, mida ei põhjusta mööda ühte



Joon. 73. Kiilu juures on tegemist nihkedeformatsiooniga.

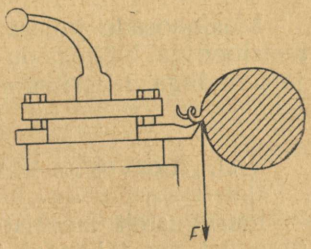


Joon. 74. Töödeldava eseme juures tekib väändedeformatsioon.

ja sama sirget mõjuvad jõud. Nii mõjub kinnituskiilule kaks jõudu, üks võlli poolt, teine aga rihmaratta poolt (joon. 73). Need jõud põhjustavad kiilu kihtide nihkumise üksteise suhtes, tekib *nihkedeformatsioon.*

Tooge näiteid masinaosadest, mille juures esineb nihkedeformatsioon.

Elastsuspiiri ületavad jõud põhjustavad lõike tekkimise. Nimetatud nähtusel põhineb näiteks lehtmetalli lõikamine kääridega, avade stantsimine jne.



Joon. 75. Detaili töötleva lõiketera juures tekib paindedeformatsioon.

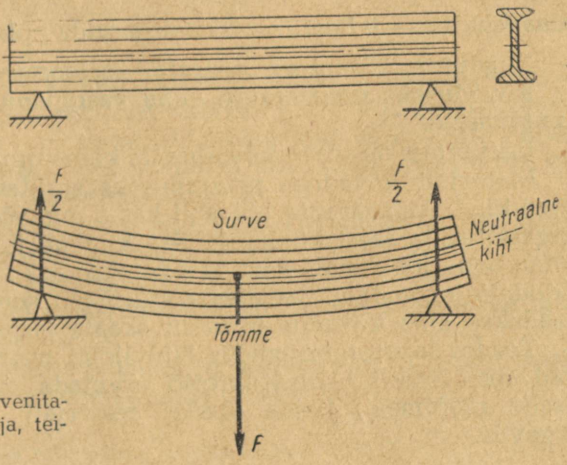
Treipingil töödeldava varda juures tekib *väändedeformatsioon.* Treipingi padrun pöörab varrast ühes suunas, varda teisele otsale mõjuv treitera aga vastupidises suunas (joon. 74). Väändedeformatsioon esineb võllide, puuride, poltide (joon. 51) jt. juures.

Supordisse kinnitatud treitera juures tekib tera ja töödeldava eseme vahel esineva hõõrdumisjõu mõjul *paindedeformatsioon* (joon. 75). Nimetatud deformatsioon esineb ka kahele tugipunktile toetuvate talade juures.

Jooniselt 76 on näha, et paindedeformatsiooni juures tala alumised kihid venivad välja, ülemised kihid aga surutakse kokku. Nende kihtide vahel asub neutraalne kiht, mille pikkus ei muutu.

Kõige rohkem deformeeruvad need kihid, mis asuvad neutraalsest kihist kõige kaugemal. Talade tugevuse saame seega tõsta nii, et suurendame äärekihtide ristlõiget just neutraalse kihi ja selle lähedaste piirkondade materjali vähendamise arvel.

Tõmme, surve, nihe, vääne ja paine on elastsete deformatsioonide liigid.



Joon. 76. Painde juures venitatakse keha ühed kihid välja, teised surutakse aga kokku.

Masinaosade juures on sageli korraga tegemist mitme deformatsiooniga. Näiteks on transmissioonivõlli juures tegemist väände ja paindega, laagrites aga surve ja nihkega.

§ 51. TUGEVUS JA KÕVADUS.

Igasugustelt masinatelt ja seadmetelt nõutakse küllalt suurt *tugevust, see tähendab omadust vastu panna välistele jõududele, mitte puruneda.*

Tugevuse kindlakstegemiseks võetakse antud materjalist katsekeha ning venitatakse teda seni, kuni ta puruneb. Tehakse kindlaks katsekehale mõjunud jõud ning katsekeha ristlõike pindala (esialgne).

Katsekeha ristlõike ühe pindalaühiku kohta tulevat purustavat jõudu nimetatakse *purustavaks pingeks* ehk *tugevuse piiriks.*

Kui näiteks 2 mm^2 ristlõike pindalaga terastraat puruneb 1600 N suuruse jõu mõjul, siis on selle terasesordi tugevuse piiriks

$$\frac{1600\ N}{2\ mm^2} = 800\ \frac{N}{mm^2} = 80 \cdot 10^7\ \frac{N}{m^2}.$$

Selleks et ei tekiks materjali purunemise ohtu, peab mõjuv jõud tekitama pinge, mis on mitu korda väiksem tugevuse piirist.

Arvu, mis näitab, mitu korda on see ohutu (nn. lubatud) pinge väiksem purustavast pingest, nimetatakse *tugevuse varuks.* Olenevalt ainest ning koormuse iseloomust (kas pidev või perioodiline) võetakse tugevuse varuks 2,5 kuni 10.

Kaasaja parimate terasesortide tugevuse piiriks on 2000—2200 $\frac{N}{mm^2}$. Suur on ka tehnikas laialt kasutatavate plastmasside tugevus. Nii näiteks on tekstoliidi tugevuse piiriks 170—180 $\frac{N}{mm^2}$, klaaskiudmaterjalidel (klaaskiude sisaldav plastmass) aga 900 $\frac{N}{mm^2}$.

Tugevuse kõrval on materjali iseloomustajaks veel *kõvadus.* **Kõvaduseks nimetatakse keha vastupanu teiste kehade sissetungimisele.**

Eriti tähtis on teada kõvadust lõikeinstrumentide valmistamisel.

Materjali kõvaduse määramiseks surutakse sellesse materjalisse kindlaksmääratud jõu abil kas 5 mm või 10 mm diameetriga karastatud terasest kuulikest. See kuulike jätab materjali pinnale lohu. Selle lohu diameeter mõõdetakse ära ning arvutatakse tekitatud jälje pindala. Jagades rõhumisjõu suuruse selle pindalaga saadakse aine kõvadus (Brinelli skaala järgi).

Teades laboratooriumides läbiviidud uurimuste tulemusi, saavad insenerid ja konstruktorid arvutada mitmesuguste masinaosade mõõtmeid, hoida kokku materjali ning tagada vajalik tugevus.

Harjutus 15.

1. Miks ei valgu vaiksele veepinnale langenud õlitilk lõputult laiaks?
2. Kuidas saab aine molekulaarse ehituse alusel selgitada esemete liimimist?
3. Millised deformatsioonid tekivad poldis mutri pingutamisel?
4. Miks aitab torude kasutamine vähendada seadmete kaalu, kuid ei vähenda nende tugevust?
5. Millise jääkdeformatsiooniga on tegemist poldi vindi mahakeeramisel?
6. Tehke kindlaks, mil viisil on konstruktorid suurendanud teie tööpingi detailide tugevust.

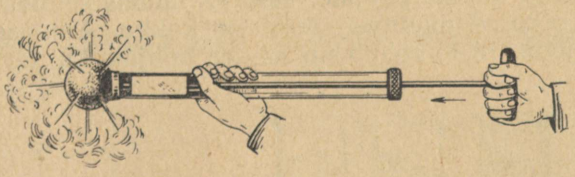
VII PEATÜKK.

VEDELIKE JA GAASIDE OMADUSED.

§ 52. RÕHU EDASIANDMINE VEDELIKES JA GAASIDES.

Molekulidevahelised mõjujõud on vedelikes palju väiksemad kui tahketes kehades, gaasides aga hoopis väikesed. Sellega seletub vedelike ja gaaside *voolavus*. Voolavuse tulemusena asetseb vedeliku pind alati horisontaalselt ning gaas täidab alati terve selle ruumi, kuhu ta on paigutatud. Sellega seletub ka rõhu edasiandmise iseärasus vedelikes ja gaasides.

Paragrahvis 12 selgitati, et tahke keha annab rõhu edasi ainult jõu mõjumise suunas. Vedelikud ja gaasid annavad aga rõhu edasi igas suunas ühesuguse tugevusega.



Joon. 77. Gaas annab temale avaldatava rõhu edasi igas suunas ühesuguse tugevusega.

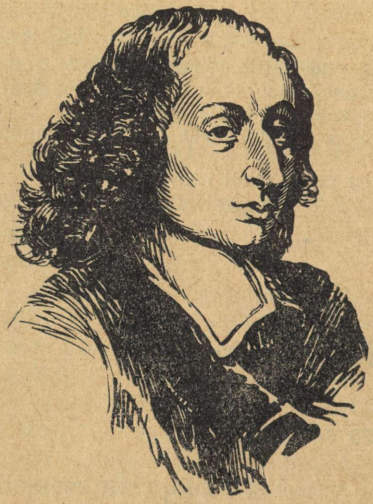
Täidame joonisel 77 kujutatud kerakujulise, avaustega anuma kas veega või suitsuga. Surudes kolviga veele või gaasile (suitsule), näeme, et vee- või gaasijoad paiskuvad välja mitte ainult kolvi mõjumise suunas, vaid kõikides suundades. Seejuures on kõikide jugade suund risti anuma seintega.

Vedelikes ja gaasides rõhu edasiandmise küsimuse uurimise tulemusena sõnastas prantsuse teadlane Blaise Pascal (1623—1662) järgmise, tema nime kandva seaduse:

Vedelikud ja gaasid annavad neile avaldatava rõhu edasi igas suunas ühesuguse tugevusega.

See vedelike ja gaaside omadus on aluseks hüdrauliliste[1] masinate ja pneumaatiliste seadmete tööle (§ 60 ja 61).

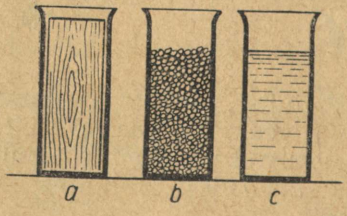
[1] Kreekakeelsest sõnast *hydraulikos* — vesi-, vee-.



Blaise Pascal (1623—1662) — tuntud prantsuse teadlane, kes uuris vedelike ja gaaside omadusi. Avastas rõhu edasiandmise seaduse vedelikes ja gaasides, mis kannab praegu tema nime, tegi katseid õhurõhu olemasolu tõestamiseks.

§ 53. VEDELIKE KAALUST TINGITUD RÕHK ANUMA PÕHJALE JA SEINTELE.

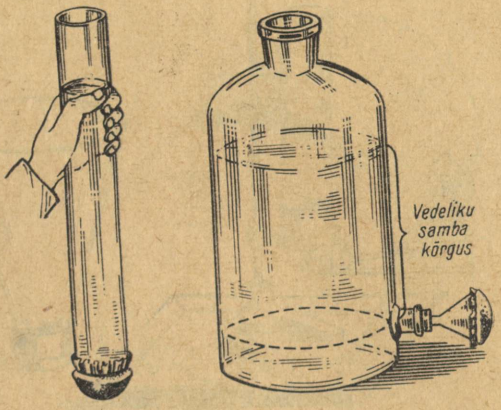
Iga keha rõhub oma raskusega toele. Tahke keha avaldab seejuures rõhku ainult raskusjõu mõjumise suunas (joon. 78, *a*). Anumasse paigutatud puistematerjalid (joon. 78, *b*) rõhuvad mitte ainult anuma põhjale, vaid ka anuma seintele seal, kus materjali terakesed puutuvad seintega kokku. Anumasse valatud vedelik (joon. 78, *c*) rõhub nii anuma põhjale kui ka seintele.



Joon. 78. Puuklots rõhub oma raskusega ainult anuma põhjale, herned — anuma põhja ja seinte nendele kohtadele, millega nad kokku puutuvad, vedelik aga nii anuma põhjale kui ka seintele tervikuna.

Vedeliku rõhu anuma põhjale ja seintele saab nähtavaks teha, kui asendada anuma klaasist põhi või osa seinast kummikilega. Vedeliku raskusest tingitud rõhu mõjul venib kummikile välja ning võtab ümarapõhjalise kausikese kuju (joon. 79). *Mida kõrgem on vedeliku nivoo anumas, seda rohkem venib kile välja.* Kummikile kumeruse kasv näitab aga vedeliku rõhu suurenemist.

Ei ole raske arvutada vedeliku kaalust tingitud rõhku anuma põhjale. Võtame risttahukakujulise anuma (joon. 80). Rõhu leid-



Joon. 79. Vedeliku rõhu mõjul venib kummikile välja.

miseks tuleb vedeliku kaal jagada anuma põhja pindalaga: $p = \frac{P}{S}$. Vedeliku kaal $P = dV$, risttahukakujulise anuma ruumala $V = hS$. Seega

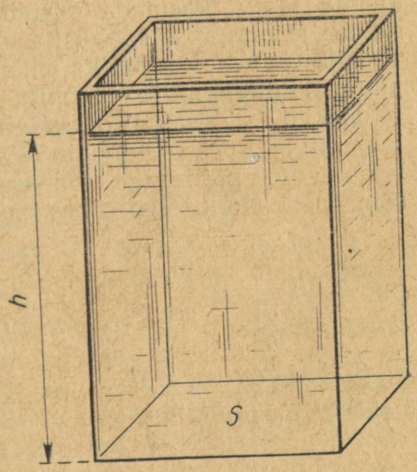
$$p = \frac{dhS}{S}; \quad p = dh,$$

kus d on vedeliku erikaal, h aga vedelikusamba kõrgus anumas.

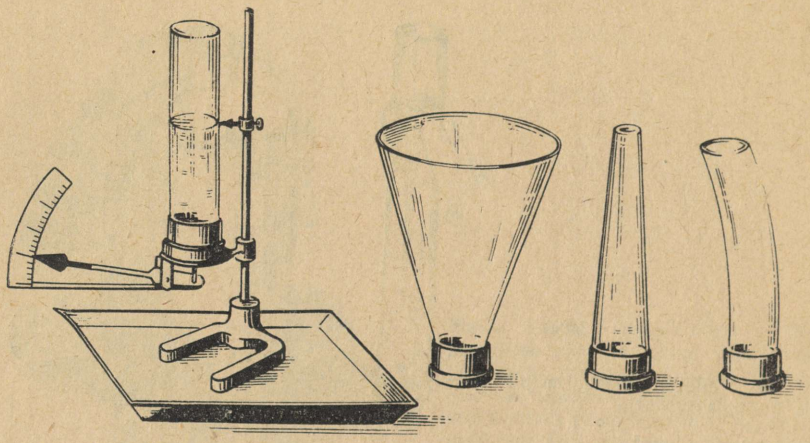
Järelikult, *vedeliku rõhk risttahukakujulise anuma põhjale on võrdne vedeliku erikaalu ja vedelikusamba kõrguse korrutisega.*

Kas muutub vedeliku rõhk anuma põhjale, kui muuta anuma kuju?

Võtame mitmesuguse kujuga, kuid ühesuguse põhjapindalaga



Joon. 80. Vedeliku rõhk anuma põhjale $p = dh$.



Joon. 81. Rõhk anuma põhjale ei olene anuma kujust.

anumad (joon. 81). Anumate põhjaks on kummikile, millele toetub kangi põhimõttel töötava osuti üks ots. Mida suurem on rõhk anuma põhjale, seda rohkem venib kummikile välja ning seda suurem on osuti kaldenurk.

Kinnitame katseriistale silindrilise anuma, valame sellesse mingi kõrguseni vett ning märgime skaalal osuti asukoha. Asendame nüüd silindrilise anuma koonilisega. Et tekitada anuma põhjale uuesti endist rõhku, tuleb anumasse kallata vett täpselt sama kõrguseni kui silindrilise anuma korral.

Asendades järgemööda mitmesuguse kujuga anumaid, veendume, et **rõhk anuma põhjale ei olene anuma kujust.**

Järelikult võib arvestust, mille me saime risttahukakujulise anuma jaoks, kasutada mistahes kujuga anuma juures. Täpselt samuti arvutatakse rõhku ka anuma seintele. Sel juhul võetakse vedelikusamba kõrguseks selle seinaosa keskmine sügavus veepinnast, millele mõjuvat rõhku tahetakse saada.

N ä i d e. Tsisterni on valatud petrooleumi (joon. 82). Petrooleuminivoo kõrgus anuma põhjast on 2 m. Arvutage rõhk ja rõhumine anuma põhjale ja seinaosadele pindalaga S_1 ja S_2. Nimetatud seinaosade keskmised sügavused on toodud joonisel.

A n t u d:

$h = 2$ m;

$d = 8000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$;

S_1, S_2, h_1 ja h_2 joonisel.

Leida p, p_1, p_2, F, F_1 ja F_2.

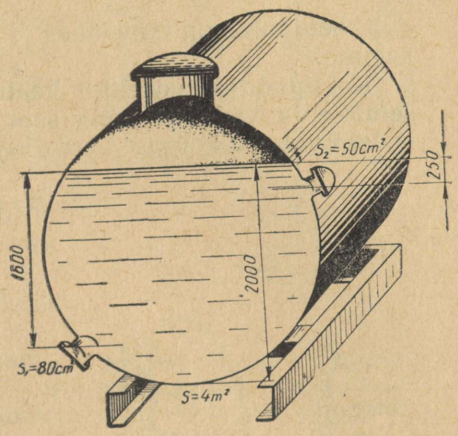
L a h e n d u s:

1. Arvutame rõhu valemi $p = dh$ järgi.
Rõhk põhjale:

$$p = 8000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 2 \text{ m} = 16\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Rõhk pinnale S_1:

$$p_1 = 8000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 1{,}6 \text{ m} = 12\,800 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$



Joon. 82. Lk. 90 toodud näite juurde.

2. Arvutame rõhumisjõu valemi $F = pS$ järgi. Rõhumisjõud põhjale:

$$F = 16\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 4\ \text{m}^2 = 64\,000\ \text{N}.$$

Rõhumisjõud pindalale S_1:

$$F_1 = 12\,800 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0{,}008\ \text{m}^2 \approx 102\ \text{N}.$$

Arvutused pinna S_2 kohta tehke iseseisvalt.

Mille poolest erineb vedeliku poolt anuma põhjale mõjuva rõhu arvutamine tahke keha poolt toele avaldatava rõhu arvutamisest?

§ 54. VEDELIKU KAALUST TINGITUD RÕHK VEDELIKU SEES.

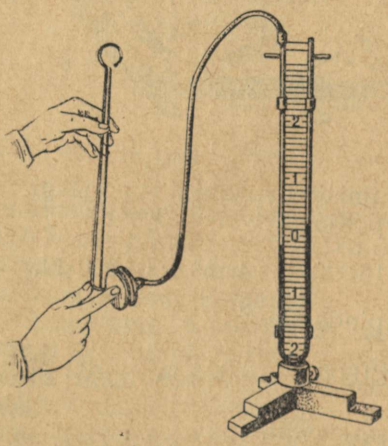
Vedeliku ülemised kihid rõhuvad alumistele kihtidele, surudes neid seejuures kokku. Elastsuse tõttu avaldavad alumised kihid sellele takistust ning mõjuvad täpselt niisama suure rõhuga ülespoole. Pascali seaduse järgi antakse see rõhk edasi kõikides suundades. Seepärast avaldab vedelik oma kaalust tingitud rõhku mitte ainult anuma põhjale ja seintele, vaid ka vedeliku enda sees.

Veendume selles katseliselt. Võtame kummikilega kaetud karbikese ja ühendame selle kummivooliku abil *manomeetriga* — riistaga, mille abil mõõdetakse rõhku (joon. 83). Asetame karbikese vedelikku. Vedeliku rõhk kummikelmele põhjustab värvitud veesamba tõusu manomeetri lahtises harus. Veesammas tõuseb seda enam, mida sügavamale vedelikku asetatakse karbike. Pöörates vedelikku asetatud karbikest erinevatesse suundadesse, veendume, et vedelik avaldab rõhku igas suunas — ülalt, alt ja külge-

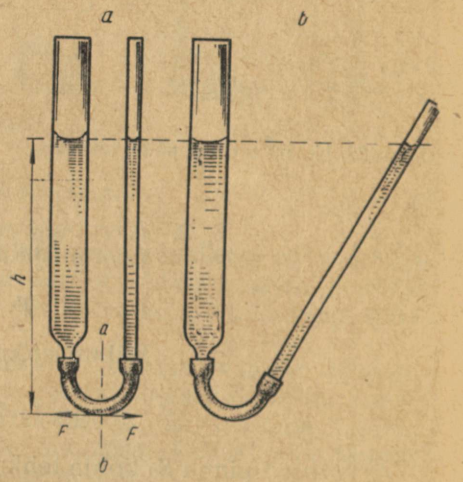
delt. Seejuures on rõhk ühes ja samas sügavuses igas suunas ühesugune.

Kokkuvõttes: **vedeliku kaalust tingitud rõhk anuma põhjale, seintele ja vedeliku enda sees on võrdne vedeliku erikaalu ja vedelikusamba kõrguse korrutisega,** s. o.

$$p = dh.$$



Joon. 83. Manomeeter.



Joon. 84. Ühendatud anumad.

§ 55. ÜHENDATUD ANUMATE SEADUS JA SELLE RAKENDAMINE.

Ühendatud anumateks nimetatakse mitut omavahel ühendatud anumat, näiteks joonisel 84, *a* kujutatud anumaid.

Valame sellistesse anumatesse mingit vedelikku, näiteks vett. Vedeliku nivoo jääb mõlemas anumas ühele ja samale kõrgusele. Uurime välja selle nähtuse põhjuse.

Parempoolne veesammas rõhub vedeliku pinda *ab* vasakule, vasakpoolne sammas aga niisama suure jõuga paremale (vastasel korral puuduks tasakaal). Nende rõhumisjõudude suurusi võib arvutada valemi $F = dhS$ abil. Vedeliku erikaal on mõlema anuma jaoks ühesugune, samuti pindala S, millele veesambad rõhuvad. Jõudude võrdsuseks on vaja, et korrutiste kolmandad tegurid, nimelt vedelikusammaste kõrgused h anumates, oleksid võrdsed. Kui ühte anumat kallutada, siis jäävad vedelikusammaste nivood endiselt ühele ja samale horisontaalile (joon. 84, *b*).

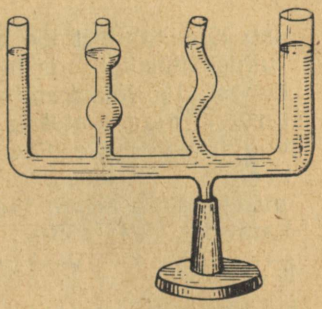
Võtame mitu erineva kujuga anumat ning ühendame need.

Valanud neisse ühesugust vedelikku, veendume, et vedelikusammaste nivood kõikides anumates asuvad ühel ja samal horisontaalil (joon. 85).

Need katsed lubavad teha järelduse, mida tuntakse ühendatud anumate seaduse nime all:

tasakaalu korral on ühendatud anumates olev ühesugune vedelik kõikides anumates ühel ja samal kõrgusel.

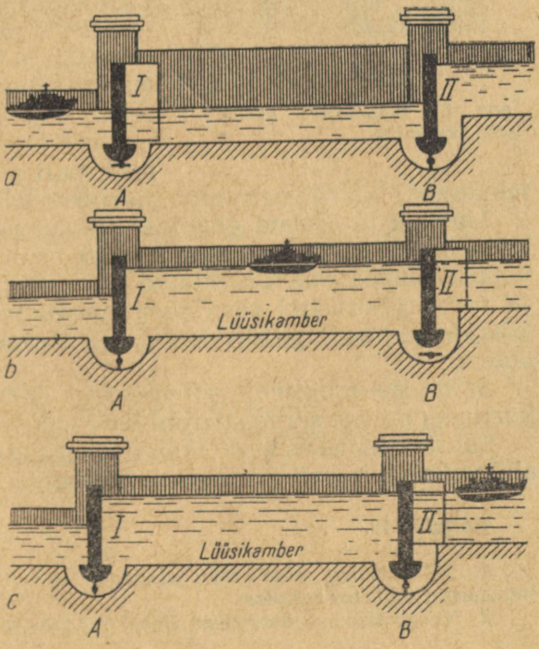
Ühendatud anumate seadus leiab ulatuslikku rakendamist tehnikas.



Joon. 85. Ühesugune vedelik jääb ühendatud anumates ühesugusele kõrgusele, olenemata anumate kujust.

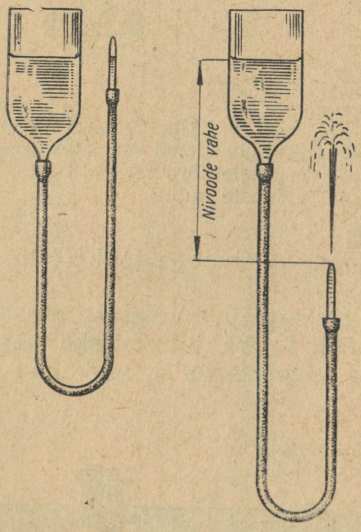
Laevasõidu korraldamiseks tammidega tõkestatud jõgedel kasutatakse *lüüse*. Lüüsid kujutavad endast ühendatud anumaid. Lüüsid kindlustavad laevade liikumise kõrgema veenivooga veehoidlast (ülemisest bjeefist) madalama veenivooga jõkke (alumisse bjeffi) või vastupidi.

Lihtne lüüs kujutab endast jõe ülemisest ja alumisest osast väravatega eraldatud kambrit (joon. 86). Laeva juhtimiseks jõe madalamast osast kõrgemasse avatakse klapp torus *A*, mis ühen-



Joon. 86. Laevade lüüsimise skeem.

dab lüüsikambrit jõe madalama osaga. Pärast veenivoode ühtlustumist lüüsikambris ja jõe alumises osas avatakse väravad *I* ning laev sõidab lüüsikambrisse. Nüüd suletakse lüüsiväravad ja klapp torus *A* ning avatakse klapp torus *B*. Mööda toru *B* hakkab nüüd voolama vesi jõe ülemisest osast lüüsikambrisse. Pärast seda, kui veenivoo on lüüsikambris tõusnud jõe ülemise osaga ühele kõrgusele, võib avada lüüsikambri väravad *II* ning laev saab lüüsikambrist välja sõita.



Joon. 87. Purskkaevu töötamise põhimõte.

Selgitage laeva liikumist läbi lüüsi vastupidises suunas.

Kui jõe ülemise ja alumise osa nivoode vahe on väga suur, siis ehitatakse mitmest lüüsikambrist koosnev lüüs.

Ühendatud anumate seadusel põhineb purskkaevude ehitus. Ühendame peenikese toru laia, veega täidetud anumaga (joon. 87). Kui lasta peenikese toru ots allapoole vedelikunivood suures anumas, siis purskub peenikesest torust üles veejuga — fontään. Mida madalamale lasta peenikese toru ots, seda tugevam juga torust välja purskub. Väljapurskuv veejuga ei ulatu anuma veenivoo tasemele, sest osa vee energiast kulub vedeliku ja toru seinte vahelise hõõrdumise ning õhutakistuse ületamiseks.

Purskkaevud mitte ainult ei kaunista parke ja aedu (joon. 88), vaid jahutavad ka õhku ning suurendavad selle niiskusesisaldust.

Linnade ja asulate elanikud saavad vett *veevärgist* (joon. 89). Võimalikult kõrge veetorni ülaosas asub veepaak, mis täidetakse võimsa pumba abil. Ühendatud anumate (nendeks on siin veepaak ja veevärgitorustik) seaduse järgi voolab paaki pumbatud vesi kõikidesse veevärgi torudesse ning tõuseb torusid sulgevate kraanideni.

Selgitage joonise järgi veevärgi ehitust ning öelge, millistel korrustel on vee surve suurem ning miks.

Suurtes linnades surutakse filtreeritud vesi võimsate pumpade abil vahetult veevärgi magistraaltorudesse.

Harjutus 16.

1. Mille poolest erineb rõhu edasiandmine vedelikes (või gaasides) rõhu edasiandmisest tahketes kehades?
2. Veega täidetud katseriista (joon. 77) kolvile mõjub jõud 50 N. Kui suurt



Joon. 88. Purskkaev «Simson» ja purskkaevude grupp «Suur kaskaad» Petrodvoretsis.

rõhku avaldab vesi anuma seintele, kui kolvi pindala on 10 cm^2? Kui suure jõuga tuleb rõhuda kolvile selleks, et vee rõhk anuma seintele oleks 20 $\frac{N}{cm^2}$?

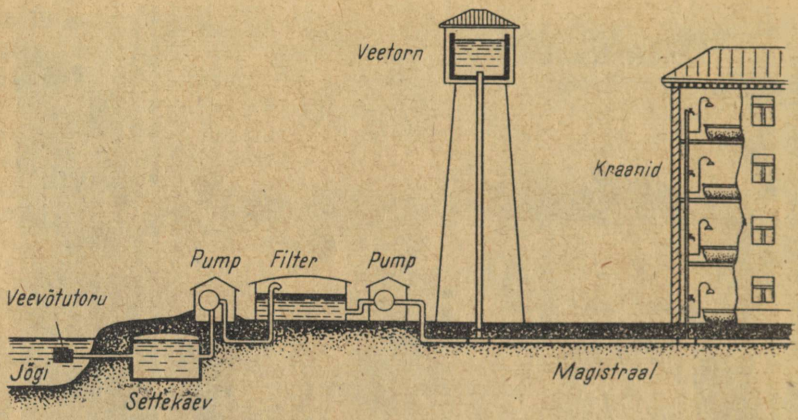
3. Kui suure jõuga tuleb mõjuda pumba kolvile, et autokummi surutava õhu rõhk oleks 5 $\frac{kG}{cm^2}$? Pumba kolvi pindala on 20 cm^2.

4. Kui suur on rõhk bensiinitsisterni põhjale, kui vedelikunivoo kõrgus tsisternis on 2,5 m?

5. Kuidas muutub rõhk anuma põhjale, kui anumat kallutada (joon. 80)?

6. Kui suurt rõhku avaldab vesi inimesele 10 m sügavuses?

7. Kui suur rõhumisjõud mõjub lüüsikambri väravatele, kui nende laius on 12 m, veenivoo kõrgus lüüsikambris aga 8 m?



Joon. 89. Veevärgi skeem.

§ 56. ÕHURÕHK.

Maad ümbritseb õhukiht, mida nimetatakse atmosfääriks[1]. Meie elame selle õhuookeani põhjas.

Kuna õhul, nagu igal teisel kehal Maal, on oma kaal[2], siis avaldab ta oma kaalust tingitud rõhku, mis vastavalt Pascali seadusele antakse edasi igas suunas. Õhu kaalust tingitud rõhku nimetatakse *õhurõhuks* või ka atmosfäärirõhuks.

Kui tõmmata tihedasti toru seinte vastu liibuvat kolbi ülespoole (joon. 90), siis näeme, et vesi tõuseb koos kolviga üles. Anumas oleva vee pinnale mõjuv õhurõhk antakse vastavalt Pascali seadusele edasi igas suunas. Kuna kolvi all torus õhku ei ole, siis tungib vesi õhurõhu mõjul torusse.

Seda katset võib korrata mistahes vedelikuga. Elavhõbe tõuseb kolvi all aga ainult 760 mm kõrgusele. Järelikult on õhurõhul kindel suurus, millest suuremaks ta ei saa. Esimesena tõestas selle fakti XVII sajandil itaalia teadlane Evangelista Torricelli (1608—1647).

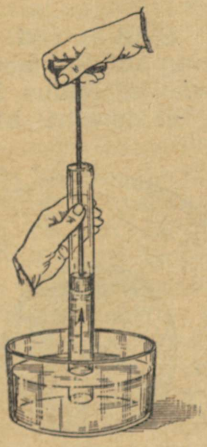
Kordame Torricelli katset. Võtame 1 m pikkuse, ühest otsast suletud klaastoru (joon. 91). Täidame toru ääreni elavhõbedaga, suleme toru lahtise otsa sõrmega, pöörame siis toru kinnise otsa üles ning asetame sõrmega suletud otsa elavhõbedaga täidetud

---

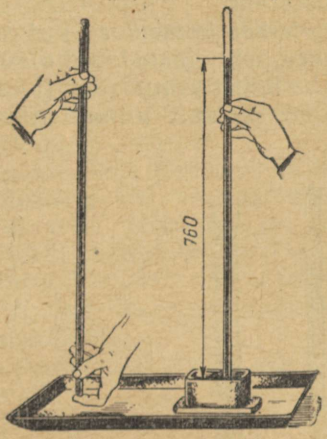
[1] Kreekakeelsetest sõnadest *atmos* — õhk ja *sphaira* — kera.

[2] Veendume õhu kaalu olemasolus. Kaalume ära ümmarguse klaaskolvi, mis on suletud kraaniga. Pumpame kolvist õhu välja ning kaalume uuesti. Kaalude vahe on võrdne väljapumbatud õhu kaaluga. Teades õhu kaalu ja ruumala võib arvutada õhu erikaalu. Normaaltingimustel ja toatemperatuuril on õhu erikaal ligikaudu 13 $\frac{N}{m^3}$.

vanni. Pärast sõrme eemaldamist märkame, et osa elavhõbedat voolab torust välja. Torusse jääb umbes 760 mm kõrgune elavhõbedasammas. Toru tühja otsa õhk ei pääsenud, järelikult on seal õhutühi ruum.



Joon. 90. Õhurõhu mõjul tõuseb vesi kolvi järel üles.



Joon. 91. Torricelli katse.

Seega **õhurõhk tasakaalustab 760 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhu.** Kuna elavhõbeda erikaal on $136\,000 \frac{N}{m^3}$, siis õhurõhk

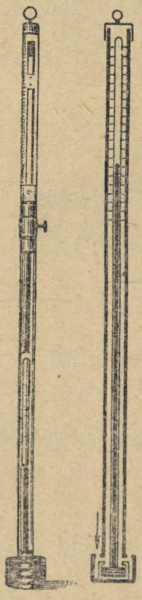
$$p = dh;\ p = 136\,000 \frac{N}{m^3} \cdot 0{,}76\ m \approx 103\,400 \frac{N}{m^2} \approx 1{,}034 \frac{kG}{cm^2}.$$

760 mm kõrguse elavhõbedasamba raskusest tingitud rõhuga võrdset õhurõhku nimetatakse *normaalrõhuks* ehk *füüsikaliseks atmosfääriks* (atm). Rõhku $1 \frac{kG}{cm^2}$ nimetatakse *tehniliseks atmosfääriks* (at).

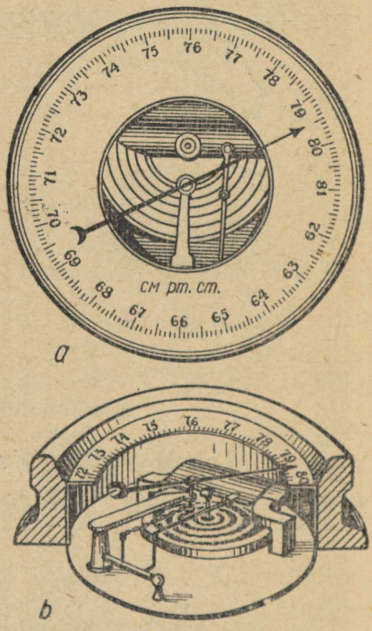
$$1\ at = 1 \frac{kG}{cm^2} \approx 100\,000 \frac{N}{m^2}.$$

Torricelli torus oleva elavhõbedasamba kõrguse igapäevane jälgimine näitab, et elavhõbedasamba kõrgus muutub, see tähendab aga, et muutub õhurõhk. Õhurõhu mõõtmiseks kasutatakse *baromeetreid*[1].

Elavhõbebaromeeter kujutab endast ühest otsast kinnist klaastoru, mis on täidetud elavhõbedaga ning pistetud lahtist otsa pidi elavhõbedaanumasse (joon. 92). Elavhõbedasamba kõrguse lugemine skaalalt toimub nooniuse abil. Baromeetri klaastoru



Joon. 92. Elavhõbebaromeeter.



Joon. 93. Aneroidbaromeeter: a — välisvaade; b — sisemine ehitus.

kaitsmise eesmärgil on ta asetatud metallkesta. Elavhõbebaromeetri abil saab mõõta õhurõhku väga täpselt. Nende kasutamine on aga ebamugav.

Väga laialt on levinud *aneroidbaromeetrid* (joon. 93). Aneroidbaromeetri põhiosaks on teraskarbike, millest on õhk välja pumbatud. Tugev vedru surub karbi kaant väljapoole, tasakaalusta-

[1] Kreekakeelsetest sõnadest *baros* — raskus ja *metreo* — mõõdan.

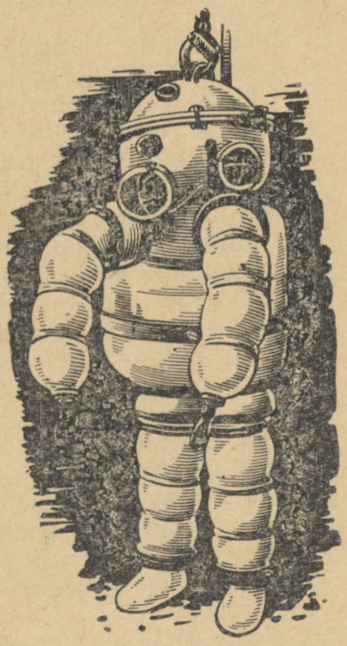
des õhu poolt karbile avaldatavat rõhumisjõudu. Mida suurem on õhurõhk, seda tugevamini surutakse karbile ning seda rohkem paindub vedru, pöörates tema külge kinnitatud osutit. Õhurõhu vähenemisel sirgestub vedru ja karbi kaas ning osuti pöördub eelmisega võrreldes vastupidises suunas. Osuti ots liigub mööda ringskaalat, millelt saab lugeda õhurõhu suurust.

Õhurõhk muutub tavaliselt enne ilmamuutust. Enne vihma, lumesadu või tuule tugevnemist õhurõhk langeb, enne kuiva ja päikesepaistelist ilma aga tõuseb. Ilmaennustuse koostamiseks ei piisa ainult õhurõhu mõõtmisest, vaid tuleb arvestada ka tuule suunda, temperatuuri, õhuniiskust jt. tegureid.

Mida kõrgemale tõusta maapinnast, seda väiksemaks muutub õhu tihedus ning sellega koos ka õhurõhk. Teades, kuidas kõrguse suurenedes muutub õhurõhk, võib selle järgi hinnata kõrgust. Riista, mille abil õhurõhu suuruse järgi määratakse kõrgust, nimetatakse *altimeetriks*. Altimeeter kujutab endast aneroidbaromeetrit, mille skaalale on märgitud kõrgused meetrites (merepinnast). Altimeetreid kasutatakse näiteks lennukites.

Süda surub verd veresoontesse teatud kindla rõhu all. Kui õhurõhk äkki tunduvalt väheneb, näiteks kõrge lennulaega lennukites, siis osutub vererõhk tunduvalt suuremaks ümbritseva õhu rõhust. Selle tulemusena purunevad veresooned ning inimesel algab verejooks. Selle vältimiseks suletakse nende lennukite kabiinid tihedasti (hermeetiliselt) ning hoitakse nendes normaalrõhu lähedane rõhk.

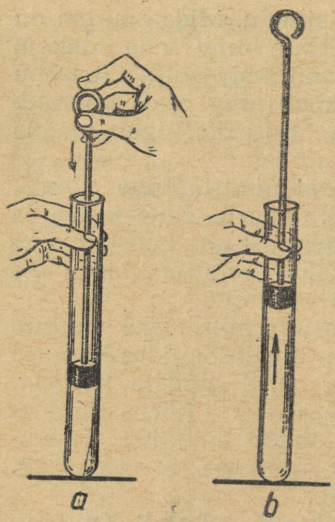
Suurest kõrgusest hüppavad langevarjurid riietuvad enne spetsiaalsetesse ülikondadesse, mis kindlustavad nende keha läheduses normaalse rõhu. Tuukrid, kes laskuvad veesügavusse, riietuvad vastavatesse tuukriülikondadesse (skafandritesse; joon. 94), milles õhurõhk on veidi suurem kui normaalrõhk.



Joon. 94. Tuukriülikond töödeks suurtes sügavustes.

§ 58. GAASI RÕHK KINNISTES ANUMATES JA SELLE MÕÕTMINE.

Asetame kolvi ühest otsast suletud klaastorusse (joon. 95). Surudes kolvile vähendame torus oleva gaasi ruumala, kusjuures gaasi rõhk suu-



Joon. 95. Katse, mis näitab gaasi kokkusurutavust ja elastsust.

reneb. Kui laseme nüüd kolvi vabaks, siis tõstab gaas kolvi endisele kõrgusele ning võtab tagasi oma endise ruumala.

Tõmmates aga kolbi väljapoole, suurendame torus oleva gaasi ruumala. Seejuures gaasi rõhk väheneb, sest niipea kui me väljatõmmatava kolvi lahti laseme, lükkab välisrõhk kolvi esialgsesse asendisse tagasi.

Täpseid katseid selle nähtuse kohta tegid inglise teadlane Robert Boyle (1627—1691) ja prantsuse teadlane Mariotte (1620—1684). Nad tegid kindlaks seaduspärasuse, mis kannab praegu Boyle'i-Mariotte'i seaduse nime:

konstantse temperatuuri juures on jääva gaasimassi rõhk pöördvõrdeline gaasi ruumalaga.

N ä i d e. 10 liitrit 2 at rõhu all olevat gaasi suruti kokku 5 l ruumalasse. Milliseks kujunes gaasi rõhk, kui temperatuur ei muutunud?

L a h e n d u s. Ruumala väheneb $10 : 5 = 2$ korda, järelikult suurenes ka rõhk 2 korda ja sai võrdseks $2 \text{ at} \cdot 2 = 4 \text{ at}$.

Kinnistes anumates asuvate gaaside rõhku mõõdetakse manomeetritega. Kasutatakse vedelikmanomeetreid (joon. 83) ja metallmanomeetreid (joon. 96, *a*). Tehnikas kasutatakse ulatuslikult metallmanomeetreid. Sellise manomeetri põhiliseks osaks on ühest otsast kinnine ovaalse ristlõikega elastne metalltoru, mis on kõveraks painutatud (joon. 96, *b*). Metalltoru lahtine ots ühendatakse anumaga, milles asuva gaasi rõhku tahetakse mõõta.

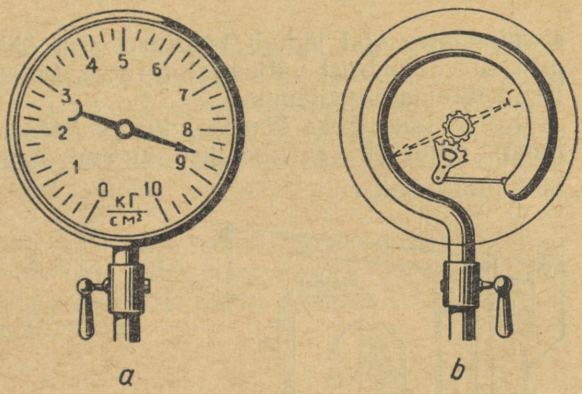
Kui gaasi rõhk anumas on õhurõhust suurem, siis sirgestub toru seda enam, mida suurem on rõhkude vahe.

Õhurõhust väiksemate rõhkude korral kõverdub toru seda rohkem, mida väiksem on rõhk. Toru kinnise otsa liikumine antakse edasi hammassektorile, sellelt aga osutile. Osuti näitab skaalal rõhu suurust atmosfäärides. Harilikult mõõdavad manomeetrid ülerõhku[1].

Õhurõhust madalamate rõhkude, s. o. hõrendatud gaaside rõhkude mõõtmiseks kasutatavaid manomeetreid nimetatakse *vaakuummeetriteks*[2].

Sellise vedelikmanomeetri ehk vaakuummeetri üks haru on

[1] Selliste manomeetrite skaala nullpunkt vastab normaalrõhule (õhurõhule).
[2] Vaakuum = gaasi hõrendatud seisund, kus rõhk on väga madal.



Joon. 96. Metallmanomeeter: a — välisvaade; b — manomeetri ehituse skeem.

otsast suletud ning üleni täidetud elavhõbedaga. Kui nõus, millega vaakuummeeter on ühendatud, gaasi rõhk langeb, siis elavhõbedasammas manomeetri kinnises harus langeb, teises aga tõuseb. Elavhõbedasammaste vahe näitab gaasi rõhku elavhõbedasamba millimeetrites (mm Hg).

§ 59. KOLBPUMBAD.

Gaaside hõrendamiseks ja kokkusurumiseks ning vedelike pumpamiseks kasutatakse mitmesuguseid pumpi.

Tutvume *kolbpumpade* ehituse ja töötamise põhimõttega. Selliste pumpade peamisteks osadeks on *silinder*, selle sees edasitagasi liikuv *kolb* ning *klappide süsteem*, mille ülesandeks on õhu või vedeliku läbilaskmine ainult ühes suunas.

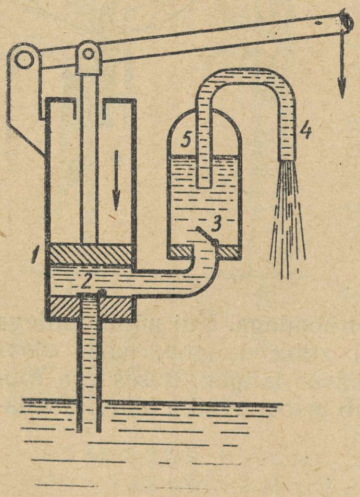
Joonisel 97 on toodud vedelike pumpamisel kasutatava kolbpumba skeem. Kolvi *1* tõstmisel avaneb välise õhurõhu mõjul silindri põhjas olev imemisklapp 2 ning välise õhu rõhk surub vee pumbasilindrisse. Kolvi allasurumisel see klapp sulgub. Kolvi rõhk antakse edasi vedelikule, mis mõjub surveklapile *3*, avab selle ning vedelik voolab väljavoolutoru *4* kaudu välja. Klapp *3* võib avaneda ainult ühes suunas ning seepärast ei saa vedelik kolvi tõstmisel silindrisse tagasi voolata.

Selgitage, miks selline pump ei tööta, kui seada ta veepinnast enam kui 10 m kõrgusele (ning ühendada silinder veega vastava pikkusega toru abil).

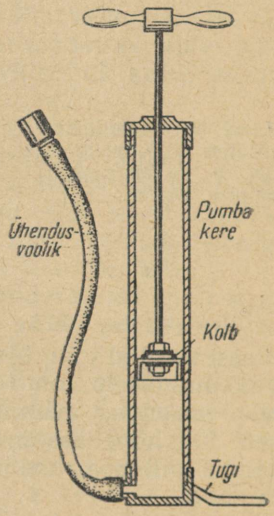
Pideva veejoa saamiseks kasutatakse mõnikord survekambrit 5. Sellesse kambrisse sattuv vesi surub kambris oleva õhu kokku, suurendades selle rõhku. Uue vedelikuhulga silindrisse

sisseimemise ajal jätkab kokkusurutud õhk vedeliku väljasurumist survekambrist väljavoolutorusse, kindlustades sellega vedeliku katkematu voolamise.

Kõige lihtsamaks *õhutihenduspumbaks* on jalgratta- või autopump, mille abil pumbatakse kummidesse õhku (joon. 98).

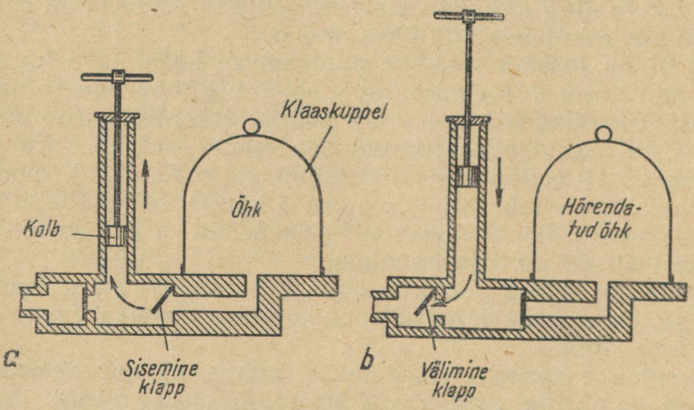


Joon. 97. Vedelike pumpamiseks kasutatava kolbpumba skeem.



Joon. 98. Õhupump õhukummide täispumpamiseks.

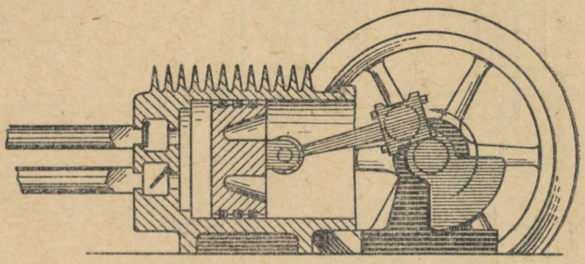
Kolvi liikumisel alla surutakse pumbas olev õhk kokku. Seejuures suureneb õhu rõhk, mille mõjul avaneb kummi sisselaske-



Joon. 99. Õhuhõrenduspumba skeem.

nippel (klapp) ning õhk surutakse pumbast kummi. Kolvi tagasiliikumise ajal ei lase nippel õhku kummist tagasi voolata ja kolvi all tekib alarõhk. Seetõttu tungib väline õhk pumbasilindri seinte ja kübarakujulise kolvinaha vahelt uuesti kolvi alla. Seega täidab nende pumpade juures sisseimemisklapi funktsioone kolvi nahkkübarake, surveklapi funktsioone aga kummi külge kinnitatud nippel.

Joonisel 99 on kujutatud pump, mida kasutatakse laboratooriumides klaaskuplite alt õhu väljapumpamiseks. Selgitage joonise abil iseseisvalt selle pumba töötamise põhimõte. Miks ei tohi selle pumba kolb õhku läbi lasta?



Joon. 100. Suure võimsusega kompressor.

On olemas palju tihendus- ja hõrenduspumpade tüüpe. Võimsaid gaaside tihenduspumpi nimetatakse *kompressoriteks*. Joonisel 100 on toodud ühe sellise kompressori skeem. Kompressori paneb tööle mingi mootor.

Suruõhku kasutatakse kaasaja tehnikas ulatuslikult (vt. § 61). Suruõhku hoitakse spetsiaalsetes terasballoonides 200 at ja suuremate rõhkude juures.

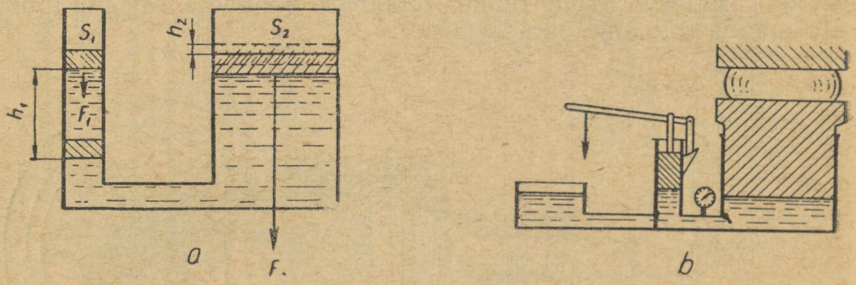
§ 60. HÜDRAULILISED MASINAD.

Vedelike omadust anda muutmatult igas suunas edasi temale avaldatud rõhku kasutatakse *hüdraulilistes masinates* selleks, et võita jõus. Sellise masina näiteks on *hüdrauliline press*.

Kahest erineva diameetriga silindrist koosnevasse ühendatud anumasse on valatud mingi vedelik. Ülevalt on anumad suletud kolbidega (joon. 101, a). Kui mõjuda näiteks 60 *N* suuruse jõuga kolvile, mille pindala on 2 cm^2, siis on vedelikule antav rõhk $p = \frac{60\ N}{2\ cm^2} = 30\ \frac{N}{cm^2}$. Pascali seaduse järgi antakse see rõhk edasi ka teisele kolvile. Olgu teise kolvi pindala näiteks 80 cm^2. Selleks et hoida kolbe tasakaalus, tuleb teisele kolvile rakendada

jõudu $F = 30 \frac{N}{cm^2} \cdot 80\ cm^2 = 2400$ N, s. o. 40 korda suuremat, kui rakendati esimesele kolvile.

Hüdraulilises pressis, mille skeem on toodud joonisel 101, *b*, täidab väiksem silinder ja seda sulgev kolb ka pumba ülesannet, pumbates õli tagavarareservuaarist suurde silindrisse. Seejuures annab kolvi liikumapanemiseks kasutatav kang veel täiendava võidu jõus.



Joon. 101. Hüdraulilise pressi skeem.

Näide. Kui palju võidetakse jõus hüdraulilise pressiga, mille kolbide pindalad on 4 cm² ja 200 cm²? Kangi õlad on 10 cm ja 40 cm.

Lahendus. Kuna ühe kolvi pindala on teisest $\frac{200\ cm^2}{4\ cm^2} = 50$ korda suurem, siis võidetakse ka jõus 50 korda.

Peale selle annab kang jõus võitu $\frac{40\ cm}{10\ cm} = 4$ korda. Järelikult hüdraulilise pressiga tervikuna saab võita jõus $4 \times 50 = 200$ korda.

Pressi silindreid ühendava toru külge kinnitatud manomeetri abil saab kindlaks teha õli rõhu silindrites.

Oletame, et manomeeter näitab 15 at. Sel juhul on ülaltoodud näites kirjeldatud hüdraulilise pressi suurele kolvile mõjuv jõud $F_2 = 15 \frac{kG}{cm^2} \cdot 200\ cm^2 =$ $= 3000$ kG $= 3$ T, väiksemale kolvile mõjuv jõud F_1 aga $15 \frac{kG}{cm^2} \cdot 4\ cm^2 = 60$ kG. Pressi käepidemele tuleb seega rakendada jõudu 60 kG : 4 = 15 kG.

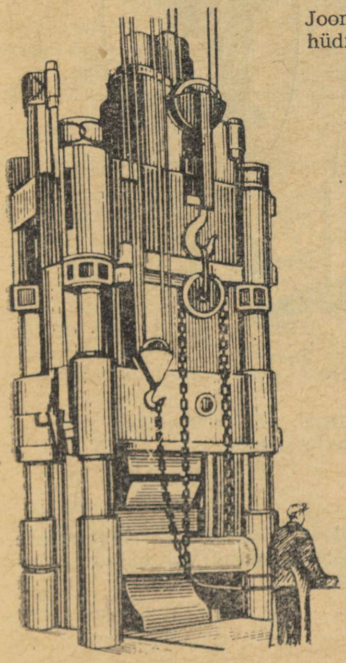
Tööstuses kasutatakse hüdraulilisi presse väga mitmesuguseks otstarbeks. Nende abil pressitakse kokku paberimassi, surutakse seemnetest välja õli, pressitakse pallideks puuvilla ja heinu, töödeldakse metalle (stantsitakse), surutakse vagunirattaid tihedalt telgedele jne.

Hüdraulilistes pressides võib kasutada kuni 500 at suurust rõhku ning saada rõhumisjõude kuni 20 000 tonni.

Joonisel 102 on kujutatud suure võimsusega hüdrauliline press.

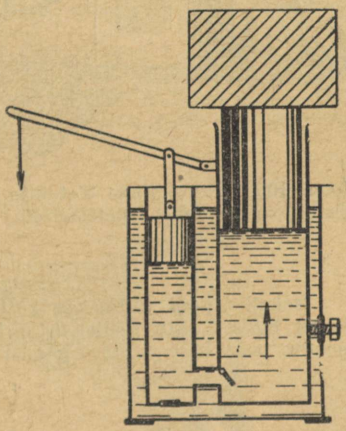
Hüdraulilise pressiga analoogilisel põhimõttel töötab *hüdrauliline tungraud* (joon. 103) ja *hüdrauliline tõstuk*. Nende seadmete abil võib tõsta ja ülal hoida sadade tonnide raskusi koormaid. Tehke joonise abil selgeks, kuidas tõstetakse raskusi selliste tungraudade abil.

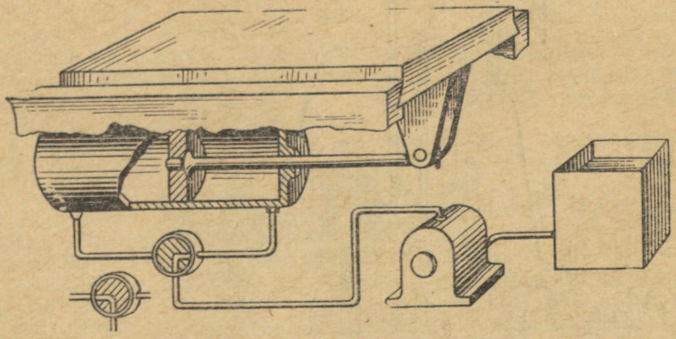
Sammastele kinnitatud hüdrauliliste tõstukitega võib üles tõsta terve majakorruse, mis on maapinnal kokku monteeritud (joon. 105).



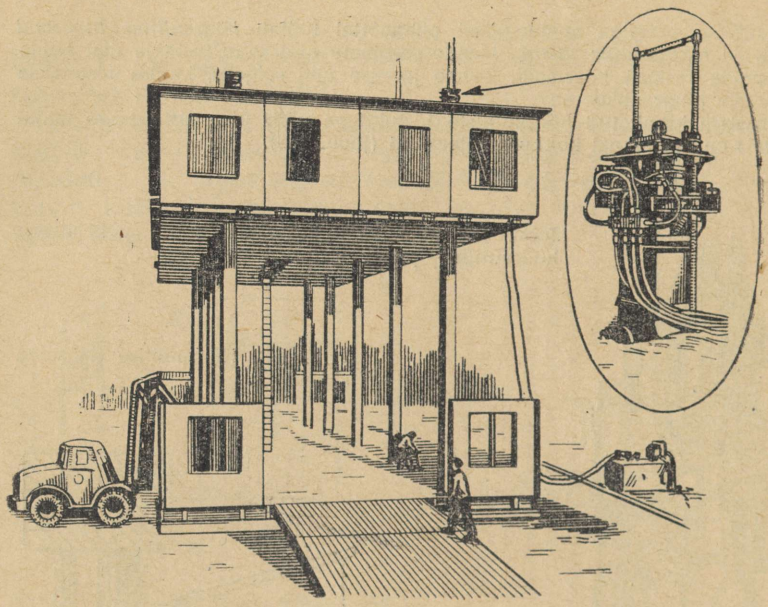
Joon. 102. Sepatöödel kasutatav suure võimsusega hüdrauliline press.

Joon. 103. Hüdraulilise tungraua skeem.



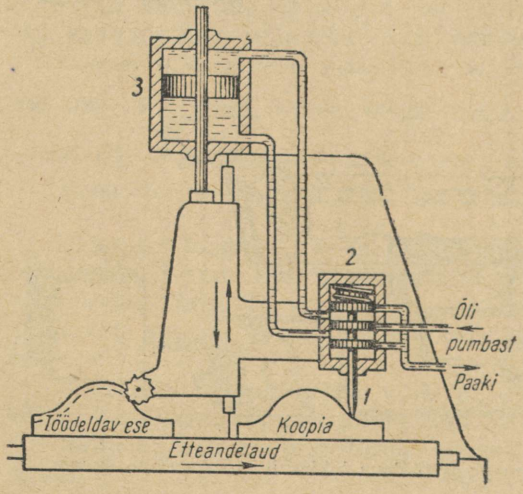


Joon. 104. Lihvimispingi töölaua hüdraulilise ettenihke skeem.



Joon. 105. Hüdrauliliste tõstukite kasutamine ehitusel. Õli pumbatakse tõstukisse (ovaalis) spetsiaalsete kõrgsurvevoolikute kaudu.

Isekallutajatel tõstetakse kasti ning mõnedel ekskavaatoritel liigutatakse koppa hüdrauliliste seadmetega, kuhu õli pumbatakse auto- või ekskavaatori-mootori poolt töölepandava pumba abil.



Joon. 106. Freespingi hüdraulilise kopeerimisseadme skeem.

Kaasaja tehnikas kasutatakse sageli *hüdroajamit*. Sellise ajami näitena võib tuua lihvimispingi töölaua hüdraulilise ettenihkeseadme (joon. 104). Uurige joonniselt, kuidas seinne seade töötab.

Hüdroajam võimaldab automatiseerida esemete töötlemist koopia järgi. Joonisel 106 on kujutatud freespingi hüdraulilise kopeerimisseadme skeem.

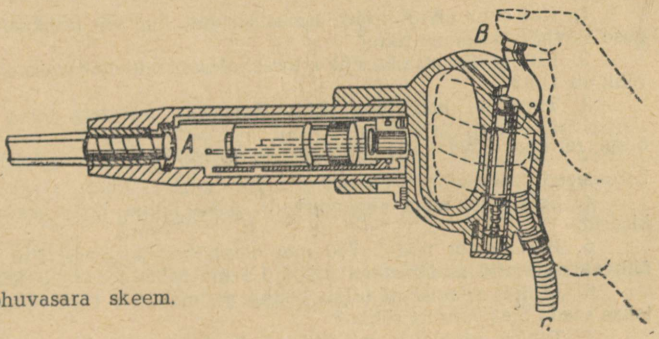
Kopeerimisvarras *1*, mis on jäigalt ühendatud silindris 2 asuva kolme kolviga, surutakse vedru abil tihedalt vastu koopiat. Kopeerimisvarda tõstmisel koopia kumerale osale avavad kolvid avaused, mille kaudu pump surub õli silindri *3* alumisse ossa. Selle silindri kolb tõuseb ning koos kolviga ka frees ja silinder 2 ühes kopeerimisvardaga. Kolvi ja silindri 2 tõus toimub seni, kuni kopeerimisvarras pole läinud oma esialgsesse keskmisse asendisse.

Selgitage, kuidas toimub kirjeldatud protsess siis, kui kopeerimisvarras laskub koopial asuvasse süvendisse või lohku.

§ 61. PNEUMAATILISED SEADMED.

Tehnikas, eriti aga ehitustehnikas ja mäeasjanduses, kasutatakse ulatuslikult pneumaatilisi seadmeid — suruõhuvasaraid, -peitleid, -meisleid, liivapritse, värvipihusteid jne.

Joonisel 107 on toodud *suruõhuvasara* lihtsustatud skeem. Kompressorist saadav suruõhk lastakse järgemööda kord parempoolsesse, kord vasakpoolsesse silindri ossa. Seejuures rõhub õhk massiivsele kolvile, pannes selle edasi-tagasi liikuma. Kolb lööb vasara vardale umbes 1000 korda minutis. Koos vardaga hakkab liikuma ka selle külge kinnitatud instrument.

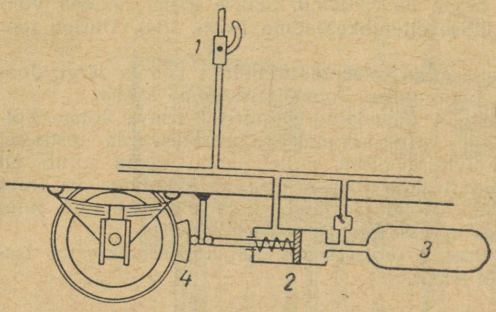


Joon. 107. Suruõhuvasara skeem.

Liivapritsides imeb torus suure kiirusega liikuv suruõhk liivakastist endaga kaasa kuiva liiva ning paiskab selle siis torust suure kiirusega välja. Sellise liivajoaga puhastatakse valutsehhides malmist valatud esemeid. Liivapritsiga puhastatakse ka hoonete fassaade tolmust ja porist.

Treipingid varustatakse mõnikord *pneumaatiliste padrunitega*. Selliste padrunitega on esemete kinnitamine kerge ja mugav. Suruõhu abil tõstetakse lennukites pärast starti üles šassii ning lastakse samuti välja enne maandumist.

Transpordis kasutatakse ulatuslikult *pneumaatilisi pidureid*. Rongides juhitakse kompressorist tulev suruõhk pidurimagistraali ja reservuaari (joon. 103). Stopp-kraani *1* avamisel väheneb õhu rõhk ühel pool pidurisilindri 2 kolbi (joonisel vasakul). Reservuaaris *3* säilib aga esialgne rõhk. See rõhk, mõjudes silindris olevale kolvile, surub piduriklotsi *4* vaguniratta piirdele ning pidurdab selle pöörlemist. Kui stopp-kraan on suletud ning kompressor töötab, siis on rõhk magistraalis, reservuaaris ja silindri mõlemal poolel ühesugune ning vedru hoiab piduriklotsi rattast eemal.



Joon. 108. Vaguni õhkpiduri skeem.

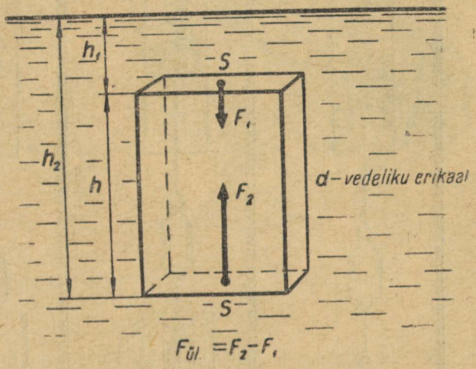
Ka veoautodel ja autobussidel kasutatakse mõnikord pneumaatilisi pidureid. Põllumajanduses töötavad suruõhuga mitmesugused *pihustid*. Õhu hõrendamist kasutatakse *lüpsimasinates* ja *pneumaatilises transpordis*, mis on rahvamajanduses laialt levinud. Sel viisil laaditakse vilja pargastelt elevaatorisse, saadetakse postkontorites, statistikavalitsustes ning kaubandusettevõtetes kirju ja pabereid ühest kohast teise jne.

Harjutus 17.

1. Kui suur on õhurõhk atmosfäärides, kui see tasakaalustab 730 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhu?
2. Kui kõrge on õhurõhku tasakaalustav elavhõbedasammas juhul, kui õhurõhk on 1 at?
3. Torricelli mälestuse jäädvustamiseks püstitati tema kodumaal Itaalias õliga (erikaal 9200 $\frac{N}{m^3}$) täidetud baromeeter. Kui kõrge on õlisammas selles baromeetris normaalrõhu korral?
4. Selgitage, miks «imenduvad» naha külge haige kehale asetatud kupuklaasid.
5. Baromeeter näitab 770 mm elavhõbedasammast. Kui suure jõuga rõhub õhk aknaklaasile mõõtmetega 0,8 × 0,3 m? Miks see jõud klaasi katki ei suru?
6. Millise ruumalani tuleb kokku suruda 15 l 1 at rõhuga õhku, kui tahetakse saada 5 at suurust rõhku?
7. Tehke kindlaks, milliste seadmete juures kasutatakse teie töökohas manomeetreid. Kui suuri rõhke nendega mõõdetakse?
8. Tehke kindlaks, kus ja milleks kasutatakse teie töökohas suruõhku. Millise rõhuga õhku kasutatakse?
9. Hüdraulilise pressi kolbide pindalad on 4 cm^2 ja 300 cm^2. Millist jõudu avaldab suurem kolb, kui väiksemale kolvile mõjutakse jõuga 200 N (hõõrdumist mitte arvestada)?
10. Kui rasket koormat võib tõsta hüdraulilise tungrauaga, kui tungraua käepidemele mõjuda 150 N suuruse jõuga? Kangi õlad on 400 mm ja 100 mm, kolbide pindalad on 5 cm^2 ja 800 cm^2 (hõõrdumist mitte arvestada).
11. Kas teie töökohas kasutatakse hüdraulilisi masinaid? Joonistage ühe kasutatava masina skeem.
12. Milliseid pneumaatilisi seadmeid kasutatakse teie töökohas? Kui suure rõhuga suruõhuga need töötavad? Joonistage ühe sellise seadme lihtsustatud skeem.

§ 62. VEDELIKE JA GAASIDE MÕJU NEISSE ASETATUD KEHADELE. ARHIMEDESE SEADUS.

Me teame juba, et vedeliku kaalust tingitud rõhk kasvab sügavuse suurenedes. Seepärast on vedelikku või gaasi asetatud mistahes keha alumisele pinnale mõjuv rõhk suurem kui ülemisele pinnale mõjuv rõhk (joon. 109). Nende rõhkude vahe mõjul tõugatakse keha vedelikus üles. Kontrollime seda katseliselt.



Joon. 109. Vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud.

Kinnitame dünamomeetri konksu külge klotsi ning teeme kindlaks jaotise, milleni vedru venis. Kui nüüd asetada klots vette, siis näeme, et vedru ei ole enam nii tugevasti välja venitatud kui algul. Tähendab, vedeliku poolt mõjub klotsile alt ülespoole mõjuv jõud — *üleslükkejõud.*

Arvutame üleslükkejõu suuruse. Rõhumisjõud klotsi ülemisele tahule (joon. 109) $F_1 = dh_1S$, rõhumisjõud alumisele tahule $F_2 = dh_2S$.

Kuna klotsi külgseintele mõjuvad rõhumisjõud üksteist vastastikku tasakaalustavad, siis on üleslükkejõud võrdne ülemisele ja alumisele tahule mõjuvate jõudude vahega:

$$F_{ü} = F_2 - F_1 = dh_2S - dh_1S.$$

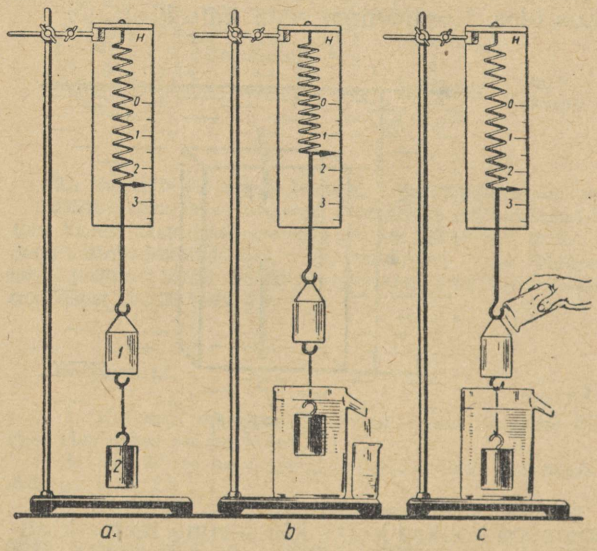
Kuid $h_2 - h_1 = h$ (klotsi kõrgus). Siit $F_{ü} = dSh$. Korrutis $Sh = V$ (klotsi ruumala), seepärast $F_{ü} = dV$.

Järelikult, *vedeliku üleslükkejõud on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumala suuruses.*

Joonisel 110 on kujutatud katseseade, millega saab näidata toodud järelduse õigsust. Pangeke ja selle külge kinnitatud silinder, mis ripuvad dünamomeetri konksu otsas, venitavad selle vedru teatud pikkuseni (joon. 110, *a*). Kui silinder asetada vede-

likku, lüheneb dünamomeetri vedru silindrile mõjuva üleslükkejõu tõttu (joon. 110, *b*).

Valame nüüd pangekesse selle vedeliku, mille silinder ülevooluanumast välja tõrjus. Vedru venib uuesti esialgse pikkuseni (joon. 110, *c*).



Joon. 110. Üleslükkejõud on arvuliselt võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

Kui tasakaalustada kangkaaludel selline kolb, mis asub mingi suure anuma sees, ning täita see anum pärast seda süsihappegaasiga, siis kaalude tasakaal kaob. Selle põhjuseks on süsihappegaasi poolt kolvile avaldatav üleslükkejõud.

Gaasidesse asetatud kehadele mõjuvate üleslükkejõudude täpne mõõtmine viib samale järeldusele, mille me tegime vedelike poolt avaldatava üleslükkejõu kohta.

Selle üldise seaduspärasuse avastas rohkem kui 2000 aastat tagasi kreeka õpetlane Arhimedes (287.—212. a. enne meie ajaarvamist). See seadus kannab praegu tema nime. **Arhimedese seadus** tuleb sõnastada seega järgmiselt:

vedelikku või gaasi asetatud kehale mõjub vertikaalselt üleslükkejõud, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku või gaasi kaaluga.



Arhimedes (287.—212. a. e. m. a.) — vanakreeka õpetlane, mehhaanikateaduse üks rajajaid. Talle kuulub palju tehnikaalaseid avastusi. Füüsikas peetakse tema suurimaks avastuseks temanimelist seadust vedelikes ja gaasides esineva üleslükke kohta.

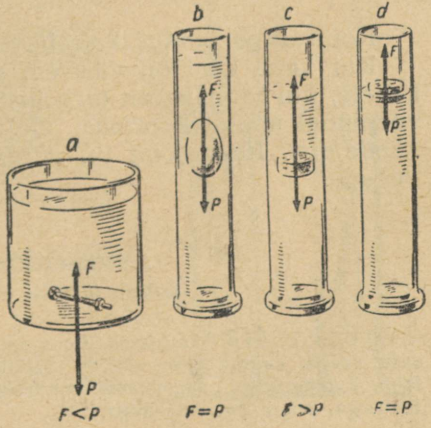
§ 63. VEDELIKKU VÕI GAASI ASETATUD KEHADE UJUMISE TINGIMUS.

Arhimedese seadus on teoreetiliseks aluseks ujumisele veepinnal, vee all ja õhus.

Vedelikku või gaasi asetatud kehale mõjub üheaegselt kaal P ja üleslükkejõud F. Kui üleslükkejõud on väiksem keha kaalust, siis keha upub (joon. 111, *a*). Nii upub vees rauatükk, kivi, savi, liiv jne.

Kui üleslükkejõud ja kaal on võrdsed, siis asub keha vedeliku sees tasakaalus, ta ei upu ega uju ka pinnale (joon. 111, *b*). Nii ujub keedusoola lahuses toores kanamuna.

Kui üleslükkejõud on suurem kui keha kaal, siis tõuseb keha



Joon. 111. Keha ujub, kui üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga.

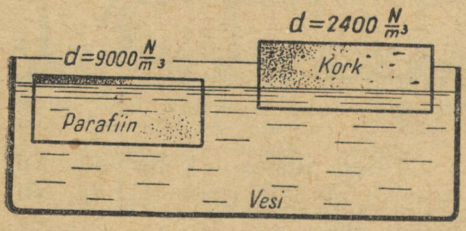
vedeliku pinnale. Nii näiteks tõuseb vette asetatud kork või puutükk (joon. 111, *c*) senikaua ülespoole, kuni vette jäänud keha osa surub välja keha kaaluga võrdse veehulga (joon. 111, *d*).

Järelikult, **keha ujub vedeliku sees või selle pinnal, kui üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga:**

$$F_{ü} = P_k.$$

Kui keha on asetatud vedelikku tervenisti, siis on keha poolt väljatõrjutud vedeliku ruumala võrdne keha ruumalaga ning üleslükkejõud oleneb ainult keha ja vedeliku erikaaludest. Sel juhul võib öelda, et *keha upub, kui keha erikaal on suurem vedeliku erikaalust; erikaalude võrdsuse korral on keha vedeliku sees tasakaalus; keha tõuseb vedeliku pinnale, kui keha erikaal on vedeliku erikaalust väiksem.*

Vedeliku pinnal ujuva keha ruumalast on vedeliku sees selline osa, mille keha erikaal moodustab vedeliku erikaalust (joon. 112). Nii näiteks korgil vajub vette 0,24 ruumalast, sest tema erikaal moodustab 2400 $\frac{N}{m^3}$: 10 000 $\frac{N}{m^3}$ = 0,24 vee erikaalust. Parafiinitüki ruumalast vajub vette 0,9 (miks?).



Joon. 112. Mida väiksem on ujuva keha erikaal vedeliku erikaaluga võrreldes, seda vähem vajub keha vedelikku.

Kontrollige öeldut katseliselt ning proovige ka tõestada.

Kui keha kaal on väiksem sellest üleslükkejõust, mis mõjub kehale, kui viimane on tervenisti vedelikus, siis võib keha hoida veepinnal mingit koormust. Öeldakse, et sellisel kehal on teatud *kandejõud. Kandejõud on võrdne üleslükkejõu ja keha kaalu vahega.*

LABORATOORNE TÖÖ NR. 4.

Kehade ujumise tingimuse uurimine.

Tööriistad: katseklaas koos selle külge seotud niidiga, silindriline mensuur veega, kaalud koos vihtide komplektiga, haavlid (või liiv), filterpaber või lapp, kummirõngas katseklaasi vajumissügavuse märkimiseks, anum keedusoola lahusega, anum petrooleumiga.

Töö käik:

1. Laske katseklaasi nii palju haavleid või liiva, et see upuks mensuuris olevasse vette.

Mõõtke katseklaasi poolt väljatõrjutud veehulk ning arvutage üleslükkejõud. Kuivatage katseklaas ära, kaaluge see ning võrrelge kaalu üleslükkejõuga. Tehke järeldus selle kohta, miks katseklaas vette uppus.

Mõõtmistulemused ja järeldused kandke järgmisse tabelisse:

Katse nr.	Keha kaal P	Üleslükkejõud F	Keha ujub, tõuseb vee peale, upub
1.			
2.			
3.			

2. Valage haavleid või liiva katseklaasist nii palju vähemaks, et see ujuks veepinnal. Miks tõuseb katseklaas nüüd uuesti veepinnale, kui see vette vajutada?

3. Mõõtke katseklaasi vees oleva osa poolt väljatõrjutud vee hulk. Arvutage katseklaasile mõjuv üleslükkejõud ning võrrelge seda ujuva katseklaasi kaaluga.

4. Muutke haavlite juurdevalamisega veidi katseklaasi kaalu ning korrake katset.

5. Märkige kummirõngaga ära sügavus, milleni katseklaas ujudes vette vajub. Asetage katseklaas keedusoola lahusesse. Selgitage, miks vajub katseklaas nüüd vähem vedelikku.

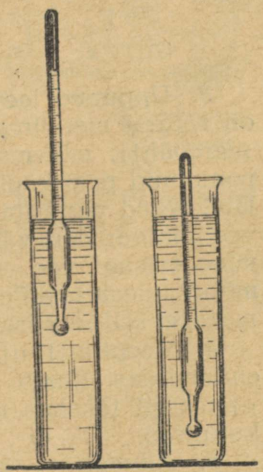
Kui sügavale peaks katseklaas vajuma petrooleumis? Kontrollige oma oletust katseliselt. Selgitage katse tulemust.

§ 64. NÄITEID KEHADE UJUMISE TINGIMUSE ARVESTAMISE JA KASUTAMISE KOHTA.

1. Seda, et üks ja sama keha vajub väiksema erikaaluga vedelikus sügavamale, saab kasutada vedelike tiheduste määramiseks (sest tihedus on võrdeline erikaaluga). Sellisel teel tiheduse määramiseks kasutatavaid mõõteriistu nimetatakse *areomeetriteks* (joon. 113).

Areomeetri alumine ots on muudetud raskeks, ülaosa aga kujutab peenikest toru, millele on kantud skaala. Jaotus, milleni areomeeter vajub vedelikku, näitab selle vedeliku tihedust.

Mõnikord pole areomeetri skaalale märgitud mitte vedeliku tihedus, vaid füü-

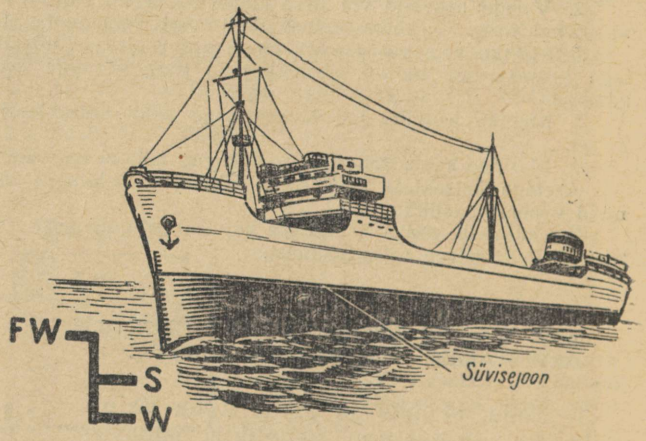


Joon. 113. Areomeetrid: *a* — veest kergemate vedelike tiheduse mõõtmiseks; *b* — veest raskemate vedelike tiheduse mõõtmiseks.

sikaline suurus, millest oleneb vedeliku tihedus, näiteks rasvasisaldus (protsentides) piimas. Sellist riista nimetatakse *laktomeetriks.*

2. Rauatükk upub vees, sest tema erikaal on 7,8 korda vee erikaalust suurem. Kui aga raudplekist valmistada karp, siis ujub see veepinnal (miks?). Terasest laevakeredele antakse kindel kuju, et nende ujumisomadused vees oleksid püsivad.

Ujuv laev vajub vette mingi sügavuseni. Laeva veesistumise sügavust nimetatakse *süviseks.* Suurim lubatud süvis on laeva kerele märgitud punase joonega, mida nimetatakse süvisejooneks (joon. 114). Kuni süvisejooneni vees oleva laeva poolt väljatõrjutud vee kaalu nimetatakse laeva *veeväljasurveks.* Veeväljasurvet mõõdetakse tonnides, see on võrdne laeva kaaluga maksimaalse koormuse puhul.



Joon. 114. Süvisejoone märkimine jõgede ja merede jaoks.

3. Uppunud laevu tõstetakse üles *pontoonide* abil. Pontoonid on suured metallreservuaarid, mis täidetakse veega ning lastakse merepõhja, mõlemale poole uppunud laeva. Tuukrid kinnitavad pontoonid paarikaupa trossidega, mis lähevad uppunud laeva alt läbi. Nüüd pumbatakse pontoonidesse õhku, see surub omakorda vee pontoonidest välja. Selle tulemusena muutub pontoonide keskmine erikaal vee erikaalust tunduvalt väiksemaks. Pontoonidele mõjuv üleslükkejõud osutub nende kaalust niivõrd palju suuremaks, et sellest piisab laeva ülestõstmiseks.

4. Veepinnal ujuvaid pontoone kasutatakse *pontoonsildade* ehitamiseks. Kaalu vähendamise ning hõlpsama transportimise eesmärgil tehakse need pontoonid täispuhutavate kummipaatide kujulised.

5. Allveelaeva sukeldumiseks täidetakse laeva alumises osas

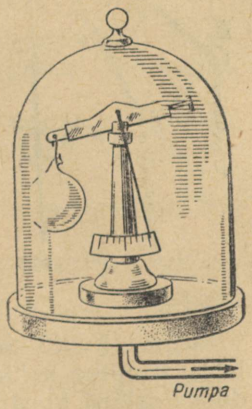
asuvad (miks?) *ballastikambrid* veega. Allveelaeva veepinnale tõstmiseks puhutakse ballastikambrid suruõhu abil veest tühjaks. Suruõhu hoidmiseks on laeval spetsiaalsed balloonid.

6. Kui täita *õhupalli* kest kerge gaasiga (vesinik, heelium), siis võib palli keskmise erikaalu kujundada väiksemaks õhu erikaalust. Sel juhul tõuseb õhupall kõrguseni, kus õhu erikaal osutub võrdseks õhupalli keskmise erikaaluga.

Väikseid õhupalle ehk *sonde* kasutatakse mõõteriistade tõstmiseks atmosfääri ülemistesse kihtidesse (kuni 40 km kõrgusele). Raadiosaatja abil antakse sellistelt seadmetelt teateid temperatuuri, õhurõhu, tuule suuna ning õhu koostise kohta mitmesugustel kõrgustel. Saadud andmete tundmaõppimine ja läbitöötamine aitab teadlastel ennustada ilma.

Harjutus 18.

1. Millised metallid ujuvad elavhõbedas ja millised upuvad?
2. Miks panevad tuukrid jalga rasked seatinataldadega saapad?
3. Miks ei saa kustutada põlevat petrooleumi vee pealevalamisega?
4. Anumasse valati vedelikke, mis ei segune — vett, elavhõbedat ja petrooleumi. Kuidas need vedelikud anumas paigutuvad?
5. Kui suur osa jäämäest asub vee all?
6. Suurtele, paljudel meredel ja jõgedel sõitvatele laevadele märgitakse lubatud süvised, mis tähistatakse tähtedega (joon. 114). Tehke kindlaks, milline märk vastab mereveele suvel, mereveele talvel ja jõeveele.
7. Kangi ühe õla külge on riputatud kerge klaaskera (joon. 15). Kang tasakaalustatakse vihtidega. Kui paigutada selline kang õhupumba kupli alla ja sealt õhku välja pumbata, siis tasakaal kaob. Miks?
8. Kui suur kandejõud on jõel asuval parvel, mis koosneb kümnest palgist, igaüks ruumalaga 0,6 m^3? Puidu erikaaluks võtta 7000 $\frac{N}{m^3}$.
9. Uppunud jäälõhkuja «Sadko» ülestõstmiseks kinnitati tema külge 12 pontooni. Iga pontooni ruumala oli 250 m^3. Kui suur tõstejõud mõjus laevale, kui iga pontooni kaal oli $5 \cdot 10^5$ N?
10. Laeva veeväljasurve on 15 000 T. Laeva kaal ilma laadungita on 10 000 T. Kui suure laadungi võib see laev peale võtta? Kui palju suureneb seejuures laeva süvis, kui laeva ristlõike pindala veepinna kohalt on 6000 m^2?



Joon. 115. Harjutuse 18 ülesande 7 juurde.

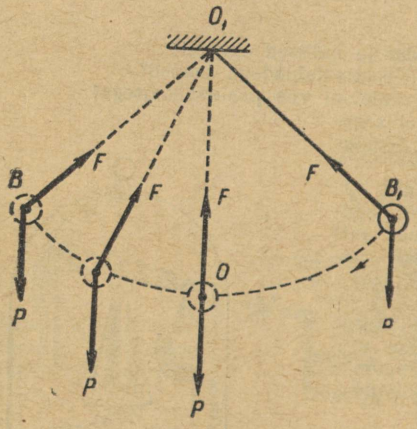
HÄÄL.

§ 65. VÕNKLIIKUMISE MÕISTE.

Looduses ja tehnikas esinevate mehhaaniliste liikumiste hulgas kohtame sageli *võnkliikumist.* Tuule mõjul võnguvad puude lehed ja oksad, vesi järvedes ning meredes. Võnguvad õmblusmasinate nõelad, suruõhuvasarate massiivsed kolvid, kellapendlid.

Millised on võnkliikumise põhilised tunnused?

Vaatleme lihtsa pendli võnkumist. Selliseks pendliks võib olla peene niidiga ülesriputatud mistahes keha (naiteks metallkuulike; joon. 116).



Joon. 116. Tasakaaluasendist väljaviidud pendlile mõjuvad jõud ei ole tasakaalustatud.

Viime kuulikese tasakaaluasendist *O* välja ning laseme siis lahti. Kuulike hakkab võnkuma oma tasakaaluasendi ümber, kaldudes sellest kord ühele, kord teisele poole. On kerge näha, et pendli liikumine kordub võrdsete ajavahemike tagant.

Perioodilisus, liikumise *korduvus,* on võnkliikumise üks põhilisi omadusi.

Pendlile mõjub üheaegselt kaks jõudu — keha kaal *P* ja niidi elastsusjõud *F.* Tasakaaluasendist kõrvalekaldunud pendlil (näiteks punktis B_1) need jõud ei tasakaalusta teineteist. Nende jõudude mõjul hakkab pendel liikuma tasakaaluasendi poole. See-juures pendli kiirus kasvab ning saavutab tasakaaluasendis (punktis *O*) suurima väärtuse.

Pärast seda kui pendel on inertsi mõjul läbinud tasakaaluasendi, hakkavad jõud *P* ja *F* pidurdama pendli liikumist. Vahe-

mikus OB liigub pendel aeglustuvalt ning, jõudnud punkti B, peatub hetkeks. Nüüd algab kiirenev liikumine vastupidises suunas. Niiviisi sunnivad pendlile mõjuvad jõud seda tagasi pöörduma tasakaaluasendi poole.

Jälgime energia muundumist pendli võnkumisel.

Pendlit asendisse B_1 kallutavad jõud teevad tööd ning suurendavad pendli potentsiaalset energiat. Pendli liikumisel tasakaaluasendi poole tema potentsiaalne energia väheneb, kineetiline aga suureneb (tuletage meelde energia jäävuse ja muundumise seadust). Tasakaaluasendi läbimise momendil on pendli potentsiaalne energia kõige väiksem, kineetiline energia aga kõige suurem. Vahemikus OB pendli kineetiline energia väheneb, potentsiaalne energia aga kasvab. Äärmises asendis (punktis B) on kogu kineetiline energia muundunud potentsiaalseks, sest pendli kiirus punktis B on null. Edasi energia muundumise protsess kordub.

Vaatleme võnkliikumist iseloomustavaid põhilisi suurusi.

Võnkuva keha kõige suuremat kaugust tasakaaluasendist nimetatakse *võnkeamplituudiks* (A). Pendli võnkeamplituud on võrdne kõõlu OB või OB_1 pikkusega ($A = OB = OB_1$). Väikeste kaldenurkade korral on kõõl OB praktiliselt võrdne kaare OB pikkusega.

Kui võnkuv keha on läbinud nelja amplituudi pikkuse tee, siis öeldakse, et keha tegi ühe *täisvõnke*.

Aega, mille jooksul võnkuv keha teeb ühe täisvõnke, nimetatakse *võnkeperioodiks*. Võnkeperioodi mõõdetakse sekundites ning märgitakse tähega T.

Täisvõngete arvu sekundis nimetatakse *võnkesageduseks*. Võnkesagedust märgitakse tähega f. Sageduse mõõtühikuks on herts[1] (Hz).

Herts on sellise võnkumise sagedus, mille juures tehakse üks võnge sekundis.

Kui pendli võnkesagedus on 2 Hz, siis teeb pendel ühes sekundis kaks täisvõnget. Ühe võnke aeg (periood) on seega $\frac{1}{2}$ sekundit; kui sagedus on 5 Hz, siis periood on $\frac{1}{5}$ sekundit jne. Järelikult on võnkeperiood ja sagedus teineteisega seotud järgmiselt:

$$T = \frac{t}{f}.$$

Vaadeldud pendli võnkumist nimetatakse *vabaks võnkumiseks*. Selline võnkumine toimus energia arvel, mis anti pendlile tema esialgsel kõrvalekallutamisel. Keha vaba võnkumise sagedus on konstantne suurus, seda sagedust nimetatakse vaba võnkumise *omasageduseks*. *Pendli võnkumise omasagedus oleneb pendli pikkusest* (OO_1). Suurema pikkusega pendlile vastab väiksem omasagedus. Veenduge selles katseliselt.

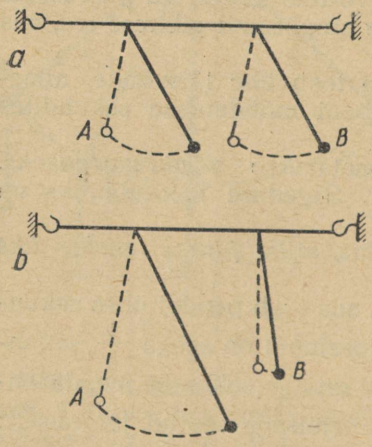
[1] Saksa füüsiku Heinrich Hertzi järgi.

Vabalt võnkuva pendli võnkeamplituud väheneb pidevalt, sest osa pendli energiat kulub hõõrde- (pendli kinnituspunktis) ja õhutakistuse ületamiseks. Seepärast lõpebki võnkumine mõne aja pärast. Järelikult, *pendli vaba võnkumine on sumbuv võnkumine.*

Keha võib võnkuda mitte ainult vabalt, vaid ka välise, perioodiliselt mõjuva jõu mõjul (näiteks suruõhuvasara kolb, kiik jne.). Selliseid võnkumisi nimetatakse *sundvõnkumisteks. Sundvõnkumiste sagedus on võrdne neid võnkumisi põhjustava välise jõu muutumise sagedusega.*

Kui võnkuva keha sundsagedus langeb ühte omasagedusega, siis suureneb võnkeamplituud järsult. Tekib *resonants.*

Joonisel 117 on kujutatud seade, mille abil on võimalik seda nähtust vaadelda. Kui panna üks pendel (*A*) võnkuma, siis hakkab veidi aja pärast võnkuma ka teine pendel (*B*). Esimese pendli pikkuse muutmisel (see tähendab võnkumise omasageduse muutmisel) teise pendli võnkeamplituudi märgatavat suurenemist ei esine, s. t. resonantsi ei teki (joon. 117, *b*).



Joon. 117. Seade pendlite resonantsi uurimiseks.

Tehnikas tuleb resonantsinähtust arvestada, et hoiduda selle ebasobivast mõjust.

Tööpinkide konstrueerimisel ning hoonete püstitamisel toimitakse selliselt, et tööpinkide ning hoonete võnkumiste omasagedused erineksid tunduvalt neile mõjuvate perioodiliste jõudude (tuul, tõuked mootorite töötamisel jne.) sagedustest.

Resonantsinähtus võib olla ka kasulik. Tehnikas näiteks kasutatakse mitmesuguste kehade võnkumiste mõõtmiseks seadmeid, mis põhinevad resonantsinähtusel (*sagedusmõõtjad*).

§ 66. HÄÄLE TEKKIMINE.

Puudutame rippuva paberiribaga helisevat kitarrikeelt. Näeme, et pabeririba hakkab keele tõugetest hüplema. See näitab, et helisev keel võngub.

Kui heliseva helihargi harude vahele paigutada niidi külge seotud väike teraskuulike, siis hakkab see edasi-tagasi hüplema. Kui helihark ei helise, siis seisab kuulike paigal. Seega, *hääleallikad on võnkuvas liikumises.*

Kuidas me kuuleme häält?

Hääleallikalt antakse võnkumine edasi õhu molekulidele, mis puutuvad hääleallikaga vahetult kokku. Need molekulid annavad võnkumise edasi naabermolekulidele jne. — õhus tekivad *häälelained.* Seejuures võngub iga õhumolekul laine levimise suunas ning võnkuva keha sagedusega. Häälelaine, mis jõuab meie kõrvani, paneb võnkuma kõrva kuulmenaha ning me kuuleme häält.

Hääl levib kõikides elastsetes keskkondades — tahketes, vedelates ja gaasilistes. Õhuta ruumis hääl ei levi. Selles on kerge veenduda järgmise katse abil.

Paigutame õhupumba kupli alla elektrikõlisti. Mida rohkem õhku kupli alt välja pumbatakse, seda vaiksemaks jääb kellahelin. Küllalt suure hõrenduse korral kaob kellahelin hoopis. Nähtus on seletatav sellega, et õhutühjas ruumis puuduvad molekulid, mis annaksid võnkuva keha liikumist edasi.

§ 67. HÄÄLE ISELOOMUSTAMINE.

Missugused võnkuvad kehad tekitavad hääli, mis erinevad üksteisest tooni kõrguse ja tugevuse poolest.

1. Tooni kõrgus. Kui heliseb kitarri jäme keel, siis kuuleme madalatoonilist häält, peenikese keele võnkumine annab aga kõrgema tooni. Mehehääl on harilikult madalama tooniga kui naisehääl.

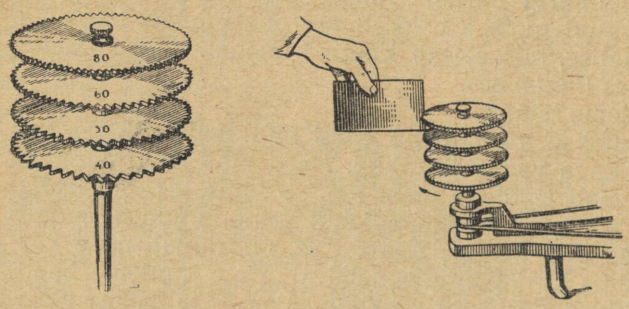
Selgitame välja, millest oleneb tooni kõrgus. Võtame mõned erineva hammaste arvuga metallkettad, kinnitame need ühisele teljele ning paneme pöörlema (joon. 118). Kui puudutada õhukese papitükiga erinevate ketaste hambaid, siis ketaste konstantse pöörlemiskiiruse korral kuuleme erineva tooniga hääli. Toon on seda kõrgem, mida rohkem hambaid on kettal, see tähendab — mida suurem on papitüki võnkesagedus.

Järelikult, *tooni kõrgus oleneb hääleallika võnkesagedusest;* **mida suurem on võnkesagedus, seda kõrgem on toon.**

Inimese kõrv võtab vastu häälena selliseid mehhaanilisi võnkumisi, mille sagedused on vahemikus 16—20 000 Hz.

Eksisteerivad muidugi ka sellised mehhaanilised võnkumised, mille sagedus on väiksem kui 16 Hz ja suurem kui 20 000 Hz.

Võnkumised, mille sagedus on suurem kui 20 000 Hz, tekitavad *ultraheli.* Mõned loomad (koerad, hobused) kuulevad ka sellist häält. Nahkhiired võtavad vastu ultraheli sagedusega kuni 60 000 Hz.



Joon. 118. Katseriist tooni kõrguse ja võnkesageduse vahelise seose kindlakstegemiseks.

Kaasajal kasutatakse ultraheli paljudes tehnikaharudes. Ultraheli kasutamine mitmesuguste materjalide, näiteks tsemendi, asbesti jne. peenestamisel võimaldab saada osakesi läbimõõduga 12 mikromeetrit. Peenestamine sellisteks väikesteks osadeks tõstab ehitusmaterjalide (tsement) kvaliteeti. Ultraheli kasutatakse esemete pindade puhastamiseks tagikihist ning kõvade, kuid seejuures haprate kehade mehhaaniliseks töötlemiseks.

Ultrahelil on tugev bioloogiline ja füsioloogiline mõju. Nii näiteks suurendab ultraheliga kiiritamine seemnete idanevust ning aitab seega suurendada saaki. Piima kiiritamine ultraheliga kaitseb piima küllalt pika aja vältel hapuksmineku eest.

2. **Hääle tugevus.** Ühe ja sama kõrgusega hääl võib olla erineva tugevusega. Selleks et selgitada hääle tugevuse põhjust, meenutame, et igal võnkuval kehal on energiat. Võnkuva keha energia on seda suurem, mida suurem on keha võnkeamplituud.

Vaadeldes helisevalt helihargilt tagasihüppavat kuulikest märkame, et hääle nõrgenemisega koos väheneb ka kuulikese eemaldumise kaugus. Viimane seletub helihargi võnkeamplituudi vähenemisega.

Võnkumise levimisel õhus või mõnes teises keskkonnas antakse hääleallikalt energiat edasi keskkonna osakestele.

Energia hulka, mis antakse ühes sekundis läbi hääle levimissuunaga risti oleva 1 cm^2 suuruse pinna, nimetatakse *hääle tugevuseks.*

On silmanähtav, et hääle tugevus oleneb hääleallika võnkeamplituudist. **Hääleallika suuremale võnkeamplituudile vastab ka tugevam hääl.**

Erinevatel kaugustel hääleallikast on hääle tugevus erinev. Hääleallika lähedal on hääl tugevam, kaugemal aga nõrgem. Selle põhjuseks on asjaolu, et hääl levib hääleallikast kõikides suunda-

des. Hääleallika poolt keskkonna osakestele üleantud energiahulk jaguneb hääleallika lähedal küllalt väikesele pindalale ning hääl on tugev. Hääleallikast kaugel jaguneb sama energiahulk suurele pindalale ning hääle tugevus on tunduvalt väiksem.

Suure tugevusega häälte vastuvõtmine põhjustab harilikult suure *valjuse* aistingu. Valjus oleneb aga ka kõrva individuaalsetest omadustest, inimese psüühilisest seisundist jt. teguritest.

§ 68. HÄÄLE LEVIMINE HOMOGEENSES KESKKONNAS.

1. Hääle levimise kiirus. Lendavat reaktiivlennukit pole mõtet otsida sealt, kust me kuuleme häält. Selle ajaga, mis häälelainel kulub vaatlejani jõudmiseks, on lennuk jõudnud edasi lennata küllalt pika vahemaa. See kõneleb sellest, et hääl ei levi silmapilkselt. Tooge ka ise näiteid, mis kinnitavad väidet, et hääl ei levi silmapilkselt, vaid kindla kiirusega.

Esimest korda mõõdeti hääle levimiskiirust õhus 1822. a. Kahest punktist, mille vahemaa oli teada, tulistati ühest kahurist ning teises mõõdeti ajavahemik lasu juures tekkinud tuleleegi nägemise ja lasu kuulmise momendi vahel. Hääle levimise kiirus mõõdeti ühtlase liikumise valemi $v = \frac{s}{t}$ abil.

Hääle kiirus õhus 15° C juures on ligikaudu 340 $\frac{m}{s}$. Hääle levimise kiirus suureneb temperatuuri tõustes ning õhuniiskuse suurenedes. Nii on 100° C temperatuuri juures hääle kiirus 386 $\frac{m}{s}$, 500° C juures aga 552 $\frac{m}{s}$. Erinevates keskkondades on hääle levimise kiirus erinev: vees on hääle kiirus 1450 $\frac{m}{s}$, terases 5000—6000 $\frac{m}{s}$.

2. Hääle peegeldumine. Kaja. Kui homogeenses keskkonnas leviv hääl kohtab mingit takistust, siis ta peegeldub sellelt tagasi.

Asetage taskukell klaasi põhja ning seadke siis klaas sellisele kaugusele, et kella tiksumine on vaevalt kuulda. Asetage nüüd klaasi kohale raamat 45° nurga all horisondiga, kusjuures raamat on kallutatud teie kõrva poole. Kella tiksumine valjeneb tunduvalt, sest kõrvani jõuavad nüüd ka need hääled, mis peegelduvad raamatult.

Inimese kõrv suudab teineteisest eraldada kahte häält, kui nad võetakse vastu mitte vähema kui 0,1-sekundise ajavahemiku järel. Kui hääled järgnevad teineteisele veel väiksema ajavahemiku tagant, siis sulavad nad kokku üheks hääleks.

Üsna sageli võib kuulda hääle kordumist. Hääle peegeldumisest tingitud kordumist nimetatakse *kajaks*. Kaja tekib seal, kus

on olemas küllalt kaugel asuvad peegeldavad pinnad (mägedes, metsaveertel jne.).

Teeme kindlaks takistuse kõige väiksema kauguse, mille juures tekib kaja. 0,1 s jooksul läbib häälelaine kauguse $s = 340 \frac{m}{s} \cdot 0{,}1\ s = 34$ m. Kuna takistuseni jõudnud häälelaine pöördub ka tagasi, siis peab takistuse kaugus hääleallikast olema vähemalt $\frac{34\ m}{2} = 17$ m.

Kinnistes ruumides liitub seintelt, põrandalt, laelt ja esemeilt peegeldunud hääl hääleallika poolt tekitatud häälega ning pikendab selle kestust. Seda nähtust nimetatakse *reverberatsiooniks.*

Takistused mitte ainult ei peegelda häält, vaid osaliselt ka neelavad hääleenergiat. Hääleenergiat neelavad kõige paremini poorsed materjalid (vilt, penoplast, pehmed kangad jm.).

Ultraheli peegeldumist kasutatakse meresügavuste mõõtmiseks ning veealuste takistuste kauguse kindlakstegemiseks. Laevale asetatud ultraheli allikas kiirgab kindlate ajavahemike järel välja ultrahelilaineid, mis, jõudnud takistusteni, peegelduvad sealt tagasi. Laeval asuv vastuvõtuseade registreerib peegeldunud ultraheli saabumise. Teades ultraheli levimiskiirust vees ning aega, mille jooksul heli levis takistuseni ja tagasi, on kerge arvutada takistuse kaugust. Selline on ultraheli *hüdrolokaatori* töötamispõhimõte.

Ultraheli peegeldumist kahe keskkonna eralduspinnalt kasutatakse metallesemete sees asuvate defektide kindlakstegemiseks. Ultraheli *defektoskoopide* töötamispõhimõte on sama mis hüdrolokaatoril.

§ 69. HÄÄLE RESONANTS.

Asetame teineteisest mingile kaugusele kaks ühesuguse omasagedusega heliharki. Paneme ühe helihargi võnkuma ning veidi aja pärast summutame selle, puudutades teda käega. Nüüd kuuleme häält, mida tekitab teine helihark. Kui puudutada käega teist heliharki, siis hääl kustub. Teine helihark hakkas võnkuma esimese helihargi poolt tekitatud häälelainete mõjul.

Kui aga muuta teise helihargi omasagedust (selleks võib helihargi harudele kinnitada tükikese vaha), siis see helihark esimesega kaasa helisema ei hakka.

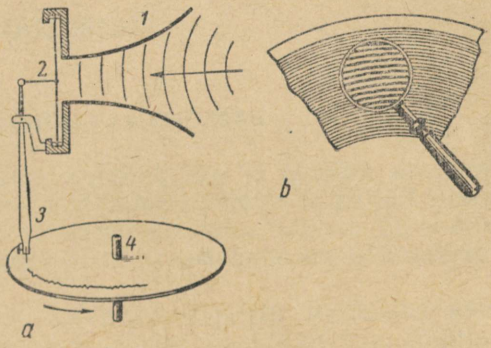
Keha, mis hakkab hääle mõjul helisema, nimetatakse *resonaatoriks.* Sageli on resonaatoriks õhusammas. Kui helisevat heliharki hoida käes, siis heliseb ta üsna vaikselt. Kui sama helihark kinnitada tühja puukasti külge, siis heliseb helihark tunduvalt tugevamini. Antud juhul on resonaatoriks kastis olev õhusammas.

Mitmesuguse kujuga resonaatoreid kasutatakse muusikariistade: viiuli, klaveri, kitarri jt. juures. Resonaatorid tugevdavad häält ning annavad sellele omapärase värvingu — *tämbri,* mille järgi võib eraldada ühe muusikariista teisest.

§ 70. HÄÄLE ÜLESKIRJUTAMINE JA REPRODUTSEERIMINE.

Tutvume kõige lihtsama hääle üleskirjutamise (salvestamise) ja reprodutseerimise moodusega.

Häälleallika poolt tekitatud häälelained suunatakse ruupori *1* (joon. 119) abil membraanile 2, mis hakkab võnkuma õhuosakestega ühesuguse sagedusega. Membraani võnkumine antakse edasi kangile *3*, mille otsas asub lõiketera. Viimane ulatub pöörlevale kettale *4* kantud vahakihti. Häälevõnkumise sagedusega võnkuv lõiketera lõikab vahasse vaokese. Vahaketta järgi valmistatakse metallist koopia ja viimase abil stantsitakse juba grammofoniplaadid.



Joon. 119. Mehhaanilise helisalvestuse skeem. *a* — lõikeinstrument jätab plaadile jälje — helikanali; *b* — helikanal grammofoniplaadil.

Hääle reprodutseerimisel asendatakse lõiketera nõelaga, mis libiseb grammofoniplaadi vaokeses ning paneb membraani võnkuma. Membraan paneb omakorda võnkuma õhuosakesed ning me kuuleme häält.

Mehhaanilise häälesalvestuse kõrval kasutatakse tänapäeval teistel füüsikalistel nähtustel põhinevaid salvestusmooduseid (hääle magnetiline ja optiline salvestus).

Harjutus 19.

1. Millised nendest võnkumistest on vabad ja millised sunnitud: õmblusmasina süstiku võnkumine, lakke kinnitatud valgustusarmatuuri võnkumine, õhupumba kolvi võnkumine, autokasti võnkumine vedrudel?
2. Kui kanda veeämbreid kaelkookudega, siis teatud käimistempo juures hakkavad veepanged tugevasti kõikuma. Kuidas seda nähtust seletada? Kuidas saab pangede kõikumist vähendada?
3. Ühe turbiini pöörlemiskiirus on 3000 pööret minutis, teisel turbiinil aga 1500 pööret minutis. Kumma turbiini pöörlemisel tekib kõrgem hääl?
4. On kindlaks tehtud, et mesilane lendab pärast nektari kogumist tarusse tagasi, tehes tiibadega 300 võnget sekundis, tarust nektari järele lennates aga 440 võnget sekundis. Sumina järgi teevad kogemustega mesinikud kindlaks, kas mesilane lendab koguma või tuleb juba tagasi. Miks on see võimalik? Kuidas?

5. Müristamist kuuldi 12 sekundit pärast välgulööki. Kui kaugel löi välku?

6. Kajaloodi hääle väljasaatmise ja vastuvõtmise vahe oli 0,8 sekundit. Kui sügav oli meri?

7. Miks kostavad laulmine, muusika ja kõne vabas looduses nõrgemini kui kinnises ruumis?

8. Õhk ja klaas juhivad hästi häält. Miks aga kasutatakse ehitustel hääle isoleerimismaterjalina vahtklaasi (poorset klaasimassi)?



SOOJUS.

IX PEATÜKK.

ALGTEADMISI SOOJUSEST.

§ 71. SOOJUSNÄHTUSED LOODUSES JA TEHNIKAS.

Aastaaegade vaheldumisega kaasneb õhu ja pinnase soojenemine või jahtumine, vee jäätumine, lume sulamine ja paljud teised soojusnähtused, mis määravad antud maakoha kliima, taimkatte ja loomastiku. Nende soojusnähtuste arvestamine on põllumajanduses hädatarvilik.

Nii igapäevases elus kui ka mitmesugustes tootmisharudes kasutab inimene tuld kui soojuse allikat (metallide kuumtöötlemisel: valamisel, sepistamisel, valtsimisel; puude kuivatamisel; telliste põletamisel; toiduainete konserveerimisel jne.).

Soojusmasinad (aurumasin, gaasiturbiin, sisepõlemismootor) teevad tööstuses ja põllumajanduses ära mitmesuguseid töid. Soojusmasinate abil toodetakse tänapäeval tunduv osa kogu elektrienergiast.

Ka kosmoselaevad, mis avasid kosmose vallutamise ajastu, on varustatud spetsiaalsete soojusmasinatega — reaktiivmootoritega.

Teaduse poolt on tehtud kindlaks, et soojusnähtuste aluseks on aine väikseimate koostisosade — molekulide — liikumine ja vastastikuse asendi muutumine. Seepärast on tarvis soojusnähtuste tundmaõppimise alustamiseks korrata aine ehituse molekulaarkineetilist teooriat (§ 45—48).

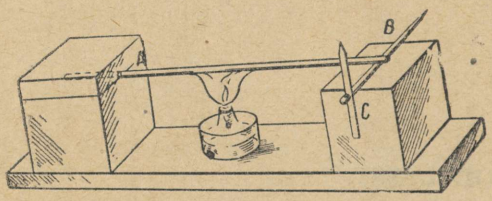
§ 72. KEHA MÕÕTMETE MUUTUMINE SOOJENEMISEL JA JAHTUMISEL.

Igapäevase elu kogemustest teame, et soojenemisel ja jahtumisel muutuvad kehade mõõtmed. Kuumutatud polt ei mahu enam avasse, kuhu ta külmalt vabalt läks; telegraafitraadid on talvel

pingul, suvel aga tugevasti looka vajunud; ääreni külma vett täis pandud teekannust voolab soojendamisel osa vett üle ääre.

Vaatleme üksikasjalisemalt tahkete kehade, vedelike ja gaaside mõõtmete muutumist soojenemisel ja jahtumisel.

I. Tahked kehad. Tahked kehad paisuvad soojendamisel vähe ning palja silmaga on harilikult raske märgata nende mõõtmete muutumist.

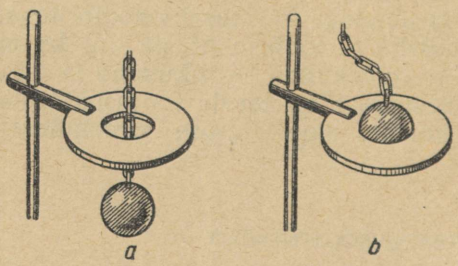


Joon. 120. Soojendamisel varras *A* pikeneb ja pöörab nõela *B* koos selle külge kinnitatud osutiga *C*.

Kinnitame puuklotsi külge teras- või alumiiniumtraadi ühe otsa (joon. 120). Traadi teise otsa toetame nõelale, mille külge on kinnitatud paberist osuti. Soojendamisel traat pikeneb ning pöörab nõela koos selle külge kinnitatud osutiga. Osuti kõrvalekaldumise nurga järgi võib hinnata traadi pikenemise suurust.

Lõpetame traadi soojendamise. Nõel koos osutiga pöördub pikkamööda endisse asendisse tagasi. Selgitage selle nähtuse põhjus.

Soojendamisel paisub tahke keha igas suunas. Kui külm metallkuulike mahub rõngast läbi (joon. 121, *a*), siis tugevasti soojendatud kuul enam ei mahu (joon. 121, *b*). Tähendab, kuulikese ruumala on soojendamisel suurenenud. Pärast jahtumist mahub kuulike jällegi rõngast läbi.

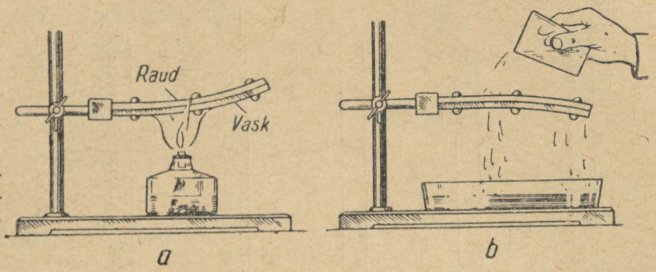


Joon. 121. Pärast soojendamist ei mahu kuulike enam rõngast läbi.

Kas erinevad ained paisuvad soojendamisel ühteviisi?

Kuumutame kahest erinevast metall-lehest (näiteks vasest ja

rauast) kokkuneeditud plaati. Selliseid plaate nimetatakse *bimetallplaatideks*. Soojendamisel plaat paindub, sest vaskleht pikeneb rohkem kui raudleht (joon. 122, *a*). Kui bimetallplaati jahutada, siis paindub ta vastupidises suunas (joon. 122, *b*). Vaskleht muutub jahtumisel lühemaks kui raudplaat. Katsetest saab teha kaks järeldust:



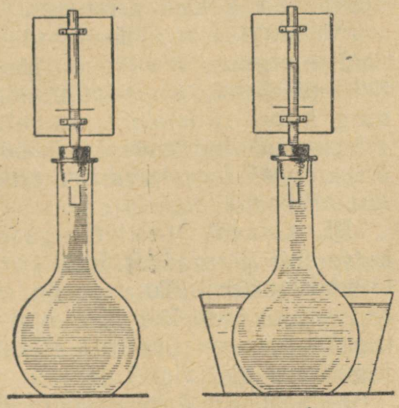
Joon. 122. Bimetallplaat paindub soojendamisel ühes suunas.

1. Soojenemisel tahked kehad paisuvad, jahtumisel aga tõmbuvad kokku.

2. Erinevad tahked kehad paisuvad soojendamisel ning tõmbuvad jahtumisel kokku erinevalt.

Tooge oma tööpraktikast näiteid kehade soojuspaisumise kohta.

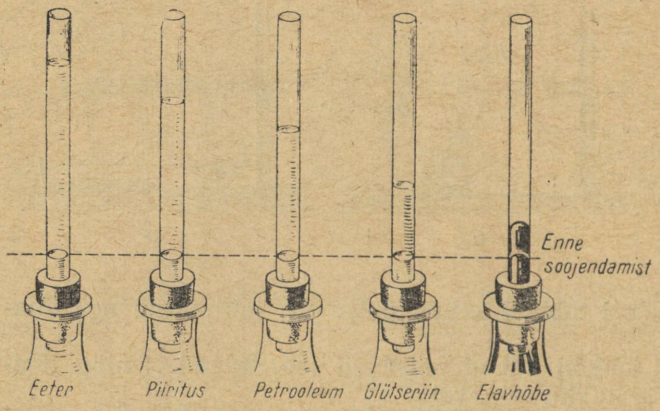
II. Vedelikud. Võtame värvitud vedelikuga täidetud klaaskolvi. Suleme kolvi kummikorgiga, millest on läbi pandud klaastoru. Vedelikusamba kõrguse torus märgime kriipsuga valgele ekraanile, mis on toru külge kinnitatud (joon. 123, *a*). Kui asetada kolb kuuma vette, siis vedelikusammas torus tõuseb tunduvalt kõrgemale (joon. 123, *b*). Kolvis oleva vedeliku jahtumisel vedelikunivoo torus langeb.



Joon. 123. Soojendamisel vedeliku ruumala suureneb.

Kordame katset kahe ühesuguse ruumalaga kolviga, mis on täidetud erinevate vedelikega, näiteks veega ja petrooleumiga. Asetame mõlemad kolvid üheaegselt kuuma vee anumasse. Näeme, et vedelikunivood torudes tõusevad erinevatele kõrgustele. Petrooleumi ruumala suureneb rohkem kui vee ruumala.

Joonisel 124 on kujutatud erinevate vedelike paisumine ühesugusel soojendamisel.



Joon. 124. Ühesugusel soojendamisel suurenevad erinevate vedelike ruumalad erinevalt.

Seega:

1. **Soojendamisel vedelikud paisuvad ning jahtumisel tõmbuvad kokku.**

2. **Erinevad vedelikud paisuvad soojendamisel ning jahtumisel tõmbuvad kokku erinevalt.**

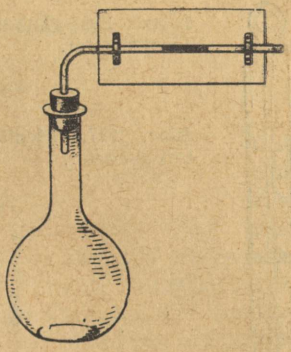
Vaadeldes vedelikunivoo liikumist torus, märkame, et soojendamise alguses see langeb ning alles siis hakkab kiiresti tõusma. Selle põhjuseks on asjaolu, et kõigepealt soojenevad kolvi seinad ning kolvi ruumala suureneb, vedelikunivoo torus aga langeb. Edasisel soojendamisel hakkab soojenema ka vedelik. Järelikult, *ühesugusel soojendamisel paisuvad vedelikud tunduvalt rohkem kui tahked kehad.*

III. Gaasid. Vaatleme gaaside paisumist soojenemisel lihtsa katse abil (joon. 125). Läbi korgi ulatub kolbi täisnurga all painutatud klaastoru. Torusse on asetatud väike värvitud veetilgake. Kui soojendada kolvis olevat õhku kas või kätega, siis hakkab tilgake paisuva õhu mõjul liikuma paremale; kolvi jahutamisel liigub see aga vasakule.

Katsest järeldub, et **soojendamisel gaasid paisuvad, jahtumisel tõmbuvad aga kokku.**

Täpsete katsetega on tehtud kindlaks, et **kõik gaasid paisuvad ühesuguse soojendamisel ühteviisi.** Selles seisnebki gaaside soojuspaisumise erinevus tahkete kehade ja vedelike paisumisega võrreldes.

Gaaside soojuspaisumise sellise erinevuse põhjustavad väikesed molekulaarjõud, samal aja kui vedelikes ja tahketes kehades on need jõud aga võrdlemisi suured. *Samal põhjusel paisuvad ühesuguse soojendamise korral gaasid tunduvalt rohkem kui vedelikud ja tahked kehad.*



Joon. 125. Kolvis oleva õhu soojendamisel liigub vedelikusammas torus paremale.

§ 73. TEMPERATUURI MÕISTE.

Kuidas teha kindlaks, kas kehad on ühtlaselt kuumutatud? Väga ligikaudse hinnangu keha soojusliku astme kohta võime anda seda käega kombates. Kompamise alusel võib iseloomustada kehade soojuslikku olekut sõnadega «kuum», «soe» või «külm». Selline moodus on aga ebatäpne ning viib sageli ekslike järeldusteni. Toas olevad metallesemed tunduvad kompamisel külmemad kui puuesemed, kuigi nad on ühteviisi soojad. Kehade soojusliku astme täpsemaks määramiseks kasutatakse *temperatuuri* mõistet.

On kindlaks tehtud, et keha soojusliku oleku määrab keha molekulide liikumise keskmine kiirus. Kehade soojendamisel molekulide kaootilise liikumise keskmine kiirus kasvab. Seda kinnitavad ka difusioon ja Browni liikumine (§ 46).

Molekulide liikumiskiiruse suurenemisega suureneb ka nende kineetiline energia; liikumiskiiruse vähenemisel molekulide kineetiline energia aga väheneb. *Molekulide kaootilise liikumise kiiruse ja nende kineetilise energia suurenemist tajutakse kui keha temperatuuri tõusmist, molekulide liikumiskiiruse vähenemist aga kui temperatuuri langemist.*

Kehade temperatuuri mõõdetakse *termomeetriga.* Kõige ulatuslikumalt levinud termomeetrite ehitus põhineb vedelike soojuspaisumisel (kõige sagedamini kasutatakse selleks elavhõbedat ja värvitud piiritust).

Termomeeter koosneb peenikesest klaastorukesest ja selle ühes otsas asuvast väikesest reservuaarist. Termomeetri valmistamisel täidetakse reservuaar elavhõbedaga ja soojendatakse seni, kuni elavhõbe täidab toru ääreni. Seejärel sulatatakse toru ots kinni. Jahtumisel tõmbub elavhõbe kokku ning selle peale jääb torusse õhutühi ruum. Temperatuuri mõõtmiseks tuleb termomeetrile lisada skaala.



Joon. 126. Laboratoorne termomeeter.

Joon. 127. Meditsiiniline termomeeter.



Kõige ulatuslikumalt on tänapäeval levinud 1742. a. rootsi õpetlase Anders Celsiuse (1701—1744) poolt soovitatud termomeetri skaala. Celsiuse skaalal on jää sulamispunkt tinglikult märgitud 0-ga ja vee keemispunkt 100-ga.

Termomeetri skaala gradueerimiseks asetatakse termomeeter sulavasse jäässe ning märgitakse elavhõbedasamba kõrgus. Seejärel viiakse termomeeter normaalrõhu juures keeva vee auru ning märgitakse jällegi elavhõbedasamba kõrgus. Neid temperatuure nimetatakse Celsiuse skaala *põhipunktideks*. Põhipunktide vahe jagatakse sajaks võrdseks osaks. Ühte sellist osa nimetatakse *kraadiks*[1]. Temperatuuri väljendava arvu juurde kirjutatakse väike nullike, näiteks 15°, 65°.

Termomeetri skaalat võib pikendada üle vee keemispunkti ja allapoole jää sulamispunkti. Null kraadist madalamatele temperatuuridele lisatakse märk «miinus» (—), nullist kõrgematele temperatuuridele aga märk «pluss» (+). Celsiuse skaala märkimiseks lisatakse temperatuuri näidule veel täht C, näiteks —10° C, +25° C.

Olenevalt kasutamistingimustest valmistatakse vedeliktermomeetreid väga mitmesuguste mõõtmete ja kujuga, kusjuures skaala jaotise väärtus on 1°, 0,1° või 0,01°.

Millist temperatuuri näitab joonisel 126 kujutatud termomeeter? Kui suur on selle termomeetri jaotise väärtus? Millises vahemikus saab selle termomeetriga temperatuuri mõõta?

Elavhõbetermomeeter ei kõlba madalate temperatuuride mõõtmiseks, sest elavhõbe tahkestub —39° C juures. Madalate temperatuuride mõõtmiseks kasutatakse piiritustermomeetreid. Piiritus tahkestub —114° C juures.

Elavhõbeda keemispunktist (+357° C) kõrgemaid ning piirituse tahkestumispunktist madalamaid temperatuure mõõdetakse teistel põhimõtetel ehitatud termomeetritega.

---

[1] Ladinakeelsest sõnast *gradus* — samm.

Mõningaid temperatuure Celsiuse kraadides.

Päikese pind	+6000
Hõõglambi hõõgniit	+2500 kuni +3000
Tuletiku leek	+1600
Kõige madalam temperatuur, mis tänapäeval laboratooriumides on saavutatud	—273,1556
Kõige madalam võimalik temperatuur[1]	—273,16

Inglise õpetlane William Kelvin (1824—1907) tegi ettepaneku kasutada sellist temperatuuri mõõtmise skaalat, mille nullpunktiks on võetud kõige madalam võimalik temperatuur: —273,16° C. Kelvini skaala järgi on kõik temperatuurid positiivsed. Jää sulamistemperatuur selle skaala järgi oleks ligikaudu 273° K, vee keemistemperatuur 373° K jne. *SI*-süsteemis on kasutusele võetud Kelvini temperatuuriskaala.

Temperatuuri mõõtmine termomeetriga põhineb katseliselt kindlakstehtud faktil, et kahe teineteisega kokkupuutuva keha temperatuurid mõne aja möödudes võrdsustuvad. Termomeeter võtab selle keskkonna temperatuuri, millesse ta on asetatud. Vedeliku temperatuuri mõõtmiseks tuleb termomeetri reservuaar asetada vedelikku ning oodata seni, kuni termomeetri vedelikusamba liikumine lõpeb. Termomeetri näit tuleb lugeda ilma termomeetrit vedelikust välja võtmata (miks?).

Välisõhu temperatuuri mõõtmiseks tuleb termomeeter paigutada varju, et päikese kiired teda ei soojendaks. Samal põhjusel pole ka tubades otstarbekas asetada termomeetreid küttekehade lähedusse.

Inimese keha temperatuuri mõõdetakse nn. *meditsiinilise termomeetriga.* Nimetatud termomeetriga saab mõõta temperatuure vahemikus +34 kuni +42° C, mis vastab inimese keha temperatuuri kõikumispiirkonnale.

Terve inimese temperatuur on kogu aeg ühesugune, selle muutumine mõne kümnendiku kraadi võrra näitab aga haigestumist. Selleks et elavhõbeda väike paisumine oleks selgesti nähtav, tehakse termomeetri toru väga peenikene.

Tehke kindlaks joonisel 127 kujutatud termomeetri skaala jaotise väärtus.

Meditsiiniline termomeeter näitab maksimaalset temperatuuri, s. o. kõige kõrgemat temperatuuri, mis oli elavhõbedal tema soojendamise käigus. Selle saavutamiseks tehakse termomeetritoru reservuaari lähedalt hästi kitsas. Jahtunud elavhõbe ei pääse sellest kitsusest iseseisvalt läbi. Selleks et elavhõbe pääseks reservuaari tagasi, tuleb termomeetrit raputada.

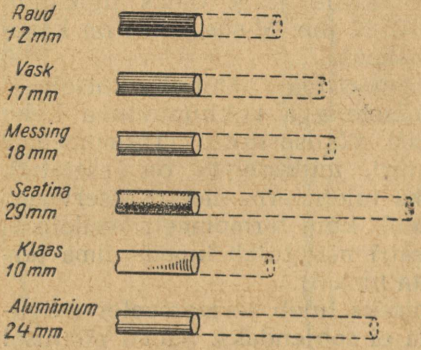
Termomeetreid, mis näitavad maksimaalset temperatuuri, nimetatakse *maksimumtermomeetriteks.*

---

[1] Selle temperatuuri juures lõpeb molekulide kulgev liikumine.

Kehade mõõtmete muutumisega nende soojenemisel ja jahtumisel tuleb tehnikas ja igapäevases elus alati arvestada.

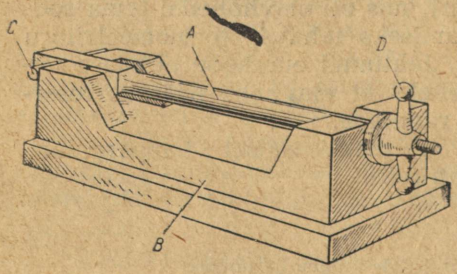
I. Tahked kehad. Joonisel 128 on toodud mitmesugustest materjalidest traatide suhtelised pikenemised. 1 km pikkune vasktraat pikeneb 1° C võrra soojendamisel 17 mm, alumiiniumtraat 24 mm jne. Need tahkete kehade suhteliselt väikesed pikenemised soojenemisel (või kokkutõmbumised jahtumisel) põhjustavad aga kehades hiiglaslike pingete tekkimise, mis võivad viia seadmete purunemiseni.



Joon. 128. Mitmesugusest metallist 1 km pikkuste traatide pikenemine soojendamisel 1° C võrra.

Veendume selles katseliselt. Asetame tugevasti soojendatud terasvarda *A* tugevale malmalusele *B* (joon. 129). Kinnitame varda ühest otsast malmpulgaga *C*, teisest otsast aga mutriga *D*, mille keerame tugevasti kinni. Varda jahutamisel veega või lumega tõmbub see kokku ning purustab pulga *C*.

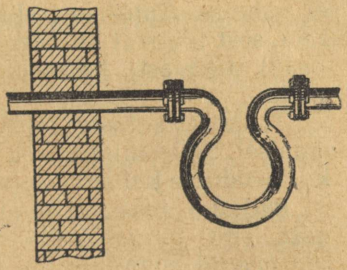
Tehnikas võetakse kasutusele abinõud selleks, et temperatuuri muutusest tingitud paisumine või kokkutõmbumine saaks toimuda vabalt. Selleks et raudteerööpad temperatuuri kõikumise tõttu ei deformeeruks, jäetakse rööbaste otste vahele väikesed pilud ning kinnituspoltide avad tehakse ovaalsed.



Joon. 129. Jahtumisel tõmbub varras *A* kokku ning purustab malmpulga *C*.

Elektrienergia ülekandeliinide, raadio- ja telefonivõrgu juhtmed pingutatakse mastidele selliselt, et nad suvel ei ripuks väga lõdvalt, aga talvel külmaga ei katkeks.

Aurutorustik varustatakse kompensaatoritega (joon. 130), mis torude paisumisel painduvad ning hoiavad sellega ära aurutorustiku purunemise. Nafta või gaasi transportimiseks kasutatavad torujuhtmed ehitatakse samal eesmärgil mõnes lõigus siksakiliselt.

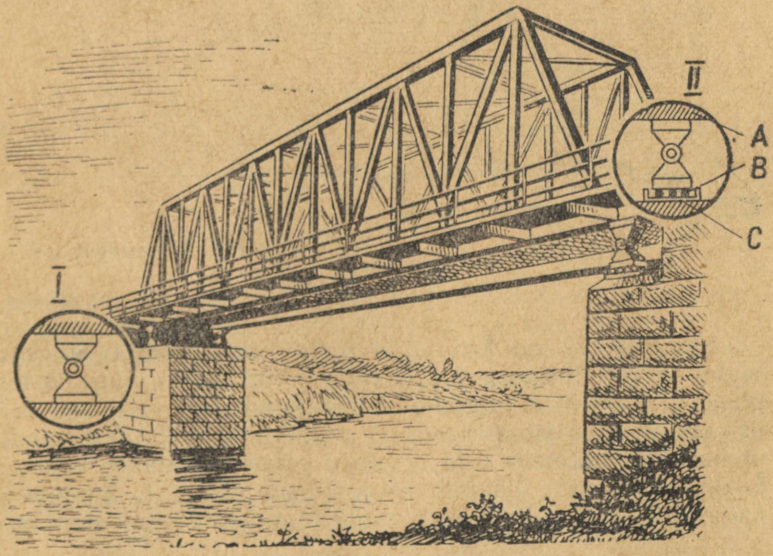


Joon. 130. Aurutorustikku monteeritud kompensaator.

Sildade kandetalad kinnitatakse ainult ühest otsast (joon. 131), teine ots *A* toetatakse rullidele *B*, mis võivad veereda mööda terasplaati *C*.

Mitmekorruseliste hoonete vahelagede terastalasid ei müürita tihedalt kinni, sest temperatuuri kõikumisest tingitud talade pikenemine ja lühenemine lõhuksid muidu hoone seinad.

Tänapäeval kasutatakse ehitustehnikas ulatuslikult raudbetooni. Rauddetailidest monteeritakse kokku tulevase ehituse karkass, mis ümbritsetakse vormidega. Vormidesse valatakse betoon. Kuna raud ja betoon paisuvad soojendamisel ühtemoodi, siis sellise konstruktsiooni tugevus temperatuuri muutumise tõttu



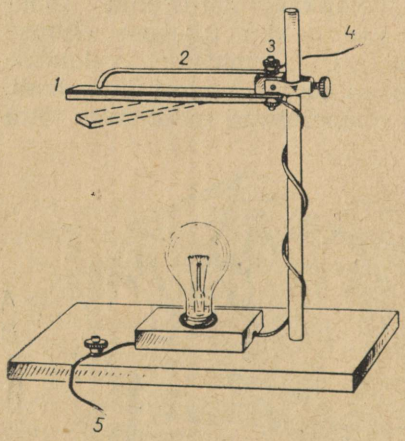
Joon. 131. Silla üks ots (I) on kinnitatud liikumatult, teine ots (II) toetub aga rullidele.

ei vähene. Auto- ja traktorimootorid ei saa töötada ilma jahutuseta, sest tugeval kuumenemisel paisuvad kolvid (ja teised metallosad) tugevasti, kiiluvad endid kinni ning mootor langeb rivist välja.

Tahketes kehades tekivad pinged ka nende ebaühtlasel soojendamisel. Selle tulemusena purunevad sageli teeklaasid ja pudelid, kui nendesse kallata kuuma vett.

Paljudel juhtudel leiab soojuspaisumine ka praktilist kasutamist. Tihti paigaldatakse neete kuumalt. Jahtudes suruvad sellised needid metallplaadid tugevasti teineteise vastu. Masinaehituses kasutatakse ulatuslikult osade kuumpaigaldamist. Lokomotiivi- ja vaguniratastele bandaažid asetatakse kohale kuumalt. Jahtudes suruvad selliselt paigaldatud bandaažid ratta tugevasti kokku. Samal viisil asetatakse muhve ja rõngaid tihedalt võllidele.

Kaasaja tehnikas rakendatakse ulatuslikult *releesid*[1] — seadmeid, mille abil võib automatiseerida mitmesuguste protsesside juhtimist. Laialt rakendatakse selleks bimetallplaadiga soojuslikke releesid, nn. *termoreleesid.*



Joon. 132. Termoregulaator.

Joonisel 132 on kujutatud seade elektrilambi automaatseks sisse- ja väljalülitamiseks. Lambi vooluringi on lülitatud bimetallplaat *1*, mida ülalt puudutab jäme painutatud vasktraat *2*. Traadi üks ots on kinnitatud klemmi *3* alla. Lambi ja kontakttraadi külge ühendatud juhtmete *4* ja *5* vabad otsad lülitatakse elektrivõrku. Lamp süttib ning hakkab soojendama plaati *1*. Soojenev plaat paindub alla ning katkestab vooluringi. Jahtumisel plaat sirgestub

[1] Prantsuskeelsest sõnast *relais* — ümberrakendamine.

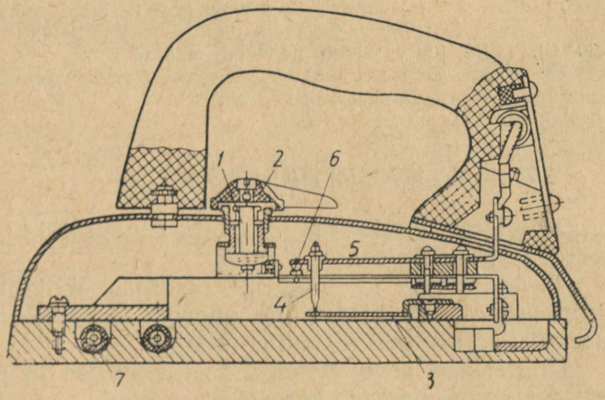
ning suleb uuesti vooluringi. Protsess hakkab perioodiliselt korduma.

Kui asendada lamp mingi küttekehaga, siis saame seadme, mille abil võib hoida konstantsena õhu (pinnase) temperatuuri inkubaatoris (kasvuhoones). Kui lambi asemele paigutada elektrikõlisti, siis signaliseerib see temperatuuri tõusust ruumis, kuhu relee on paigutatud.

Kui bimetallplaati läbib suure tugevusega vool, siis plaat soojeneb, paisub ja katkestab vooluringi. Sel juhul reguleerib termorelee automaatselt voolu tugevust.

Joonisel 133 on kujutatud termoregulaatoriga elektritriikraud.

Kui spiraal *7* kuumendab triikraua plaadi üle lubatud temperatuuri, siis paindub bimetallplaat *3* ning tõstab üles kontaktkruvi *4*. Kontaktkruvi külge kinnitatud lehtvedru *5* eemaldub sel moel kontaktist *6* ning katkestab vooluringi. Triikraua jahtumisel bimetallplaat sirgestub, lehtvedru 5 mõjul surutakse kontaktkruvi alla vastu plaati ning vooluring sulgub. Lüliti 2 abil seatakse kontaktkruvi vastavaks temperatuurile, mis on vajalik antud riidesordi triikimiseks. Termoregulaatoriga triikraud ei põleta riiet ning kulutab 10—15% vähem energiat kui harilik triikraud.



Joon. 133. Bimetallplaadist termoregulaatoriga elektritriikraud.

II. Vedelikud. Ka vedelike soojuspaisumist on tarvis arvestada. Tsisterne ja anumaid ei saa ääreni naftasaadusi täis valada; kütusepaake soovitatakse hoida maasse kaevatud süvendites (miks?).

Erinevalt teistest vedelikest vesi soojendamisel 0° C-st kuni +4° C-ni ei paisu, vaid tõmbub kokku. Alles soojendamisel üle +4° C hakkab vesi paisuma. Veel on seega suurim tihedus temperatuuril +4° C.

Sellel vee omadusel on määratu suur tähtsus kalade ja teiste veekogudes elavate loomade ning taimede elu säilitamisel talvisel ajal. Külmade saabumisel jahtuvad veekogude ülemised veekihid ning langevad põhja, sest nende tihedus on ülejäänud veekihtidest suurem. Põhjavajunud kihtide asemele tõusevad alt

väiksema tihedusega veekihid (tuletage meelde ujumise tingimust). Nii toimub veekihtide ümberpaiknemine seni, kuni vee temperatuur saab lähedaseks +4° C.

Õhu edasisel jahenemisel jahtuvad ka veekogude ülemised kihid, kuid kuna nende tihedus seejuures väheneb, siis nad ei lange enam põhja, vaid külmuvad järk-järgult. Veekogu põhjas aga püsib temperatuur umbes +4° C.

Selline soojuspaisumise iseärasus ei esine ainult vee juures. Ka teemant, mida jahutatakse alla —42° C, hakkab paisuma.

Harjutus 20.

1. Miks jäetakse raudteerööbaste otste vahele pilud, trammirööpad aga paigutatakse tihedalt üksteise vastu ning koguni keevitatakse kokku?
2. Kas kuulike läheb rõngast läbi, kui kuumutada mitte kuulikest, vaid rõngast (joon. 121)?
3. Miks jäetakse betoonkattega teesse praod, mis bituumeniga kinni valatakse?
4. Selgitage kupuklaaside kasutamise põhimõtet.
5. Kaaludel on tasakaalus kaks ühesuguse ruumalaga anumat. Kas tasakaal jääb püsima, kui üks anum täita kuuma ja teine külma veega?
6. Miks märgitakse täpsetele pikkuse mõõteriistadele temperatuur (harilikult 20° C), mille juures tuleb nendega mõõta?
7. Millise aine, kas tahke, vedela või gaasilise juures on kõige märgatavam aine tiheduse muutumine soojendamisel?

§ 75. KEHA SISEENERGIA MÕISTE.

Vaatleme, kuidas muutub keha molekulide liikumine soojendamisel ja jahutamisel.

Paragrahvis 73 räägiti, et igal molekulil on liikumise kiirusest olenev kineetiline energia ja molekulide vastastikusest asendist sõltuv potentsiaalne energia.

Hiiglasliku arvu molekulide kineetilise ja potentsiaalse energia summa moodustab keha siseenergia.[1]

Keha siseenergia ei ole konstantne suurus. Keha soojendamisel tema molekulide liikumise kiirus kasvab, see tähendab aga, et suureneb keha siseenergia.

Soojendamisel kõik kehad paisuvad. Selle tulemusena muutuvad molekulidevahelised kaugused, nende vastastikune asend. Vastastikuse asendi muutumisel muutub ka molekulide potentsiaalne energia, seega ka keha siseenergia. Jahutamisel keha siseenergia väheneb, sest väheneb molekulide kineetiline energia ja ka potentsiaalne energia (keha tõmbub kokku).

---

[1] Siseenergia mõistesse kuulub ka aatomite vastastikuse mõju energia, aatomi koostisse kuuluvate osakeste vastastikuse mõju energia jne. Meie vaatleme ainult ühte osa siseenergiast — keha molekulide kineetilist ja potentsiaalset energiat. Seda siseenergia osa nimetatakse sageli *soojusenergiaks*.

Seega, *keha soojendamisel ja jahutamisel muutub keha siseenergia.*

Keha deformeerimine muudab samuti keha siseenergiat, sest muutuvad molekulide vastastikused asendid.

§ 76. SISEENERGIA ÜLEKANNE.

Igapäevase elu kogemustest teame, et igasugune ümbritsevatest kehadest soojem keha järk-järgult jahtub. Seejuures antakse osa soojema keha siseenergiast külmematele kehadele.

Siseenergia üleandmist ühelt kehalt teisele või ühelt kehaosalt teisele nimetatakse soojusvahetuseks ehk soojusülekandeks.

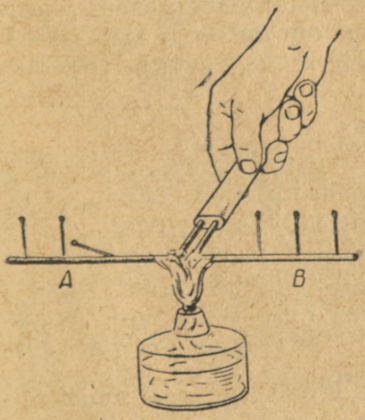
Igapäevase elu kogemused ning teooria kinnitavad, et *energia antakse alati kõrgema temperatuuriga kehadelt madalama temperatuuriga kehadele senikaua, kuni kehade temperatuurid võrdsustuvad.*

Soojusvahetus võib toimuda kolmel viisil — soojusjuhtivuse, konvektsiooni ja soojuskiirguse teel.

Soojusjuhtivus. Kui pista põleti leeki mingi metallvarda ots, siis soojeneb kiiresti kogu varras. Siseenergia antakse varda ühelt osalt edasi teistele osadele.

Siseenergia üleandmist keha ühelt osalt teisele keha osakeste vastastikuse mõju tulemusena nimetatakse soojusjuhtivuseks. Siseenergia edasiandmise kiiruse järgi jagatakse kehad headeks ja halbadeks soojusjuhtideks.

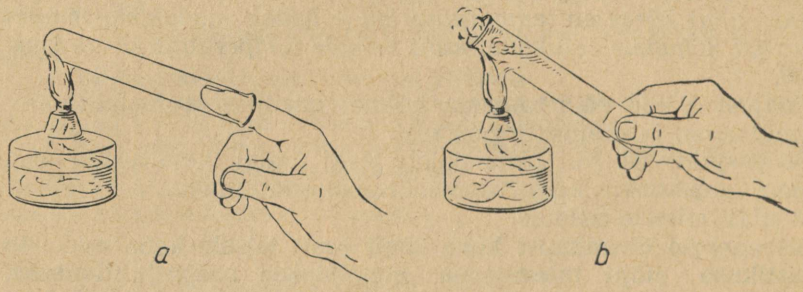
Kõik metallid on head soojusjuhid, kuid erinevate metallide soojusjuhtivus on erinev. Võrdleme näiteks terase ja vase soojusjuhtivust (joon. 34). Viime piirituslambi leeki hoidjasse kinnitatud teras- ja vasktraadi painutuskohad. Traatidele on ühesugus-



Joon. 134. Metallid juhivad soojust erinevalt: *A* — vasktraat, *B* — terastraat.

tele kaugustele vaha või parafiini abil kinnitatud tikud. Traatide soojenemisel parafiin või vaha sulab ning tikud kukuvad maha. Vasktraadilt kukuvad tikud tunduvalt kiiremini kui terastraadilt. Katsest järgneb, et vask juhib paremini soojust kui teras. See tähendab, et vases antakse energiat ühelt molekulilt teisele kiiremini kui terases. Metallidest on kõige paremad soojusjuhid hõbe ja vask.

Veenduge katseliselt selles, et vesi ja õhk on halvad soojusjuhid. Sulgege katseklaas sõrmega ning soojendage katseklaasi põhja nii, nagu on näidatud joonisel 135, *a*. Katseklaasi põhi kuumeneb seejuures tugevasti, sõrm aga mingit temperatuuri tõusu ei tunne.



Joon. 135. *a* — õhk on halb soojusjuht; *b* — vesi on halb soojusjuht.

Valage katseklaasi $^2/_3$ kõrguseni vett ning hoidke klaasi kaldu piirituslambi leegis (joon. 135, *b*). Vesi hakkab katseklaasi ülaosas kiiresti keema, käsi aga ei tunne mingit vee soojenemist.

Halvad soojusjuhid on puu, klaas, vesi, õhk ja kõik õhku sisaldavad poorsed ained — vatt, vill, karusnahk, paber, asbest, kork, penoplast, tellis jt. Õhu soojusjuhtivus on umbes 25 korda väiksem kui klaasi soojusjuhtivus ja 15 000 korda väiksem vase soojusjuhtivusest.

Nimetage häid ja halbu soojusjuhte.

Konvektsioon. Laseme veeklaasi mõned kaaliumpermanganaadikristallid. Kuumutades klaasi piirituslambil (joon. 136), näeme, kuidas põhjast kerkivad pinnale värvilised veejoad. Klaasi kuuma põhjaga kokkupuutuvad veekihid soojenevad ja paisuvad. Sooja vee tihedus väheneb ning ta tõuseb pinnale, üleskerkiva vee asemele laskuvad aga külmemad veekihid. Selline soojade ja külmade veekihtide ümberasetumine kiirendab kogu veemassi ühtlast soojenemist.

Täpselt samuti soojenevad gaasid. Põleti leegi või sooja ahju

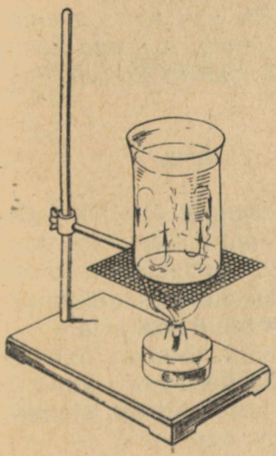
poolt soojendatud õhk tõuseb üles, selle asemele voolab aga külmem.

Siseenergia edasiandmist temperatuuride vahest tingitud vedeliku- või gaasiosakeste voolamise teel nimetatakse konvektsiooniks.

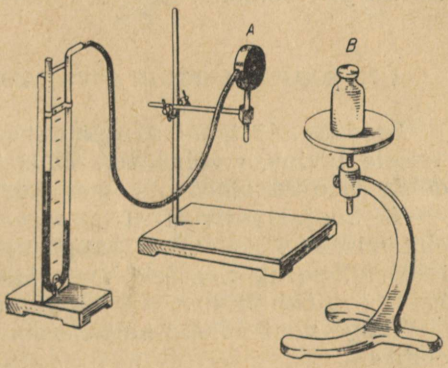
Mõelge, kas konvektsioon on võimalik ka tahketes kehades.

Kiirgus. Maa põhiliseks energiaallikaks on Päike. Kuidas antakse see energia Päikeselt Maale, kui nende vahel on umbes 150 miljoni kilomeetri pikkune õhutühi ruum? Õhutühjas ruumis pole ju võimalik ei konvektsioon ega soojusjuhtivus.

Ilmneb, et Päike, lõke, soe ahi ja teised kuumad kehad saadavad välja soojuskiiri. Kiired annavad energia edasi nendele kehadele, millele nad langevad. Soojuskiired on silmale nähtamatud, nende olemasolus võib aga veenduda katseliselt (joon. 137).



Joon. 136. Konvektsioon vedelikes.



Joon. 137. Kuum viht *B* kiirgab soojuskiiri, mis neelatakse karbikese *A* poolt.

Joonisel on kujutatud kinnise karbikesega *A* ühendatud manomeeter. Karbikese üks sein on must ning mati pinnaga, teine aga sile ja läikiv.

Pöörame karbikese musta seina tugevasti kuumutatud eseme poole (joonisel 137 on selleks viht *B*). Karbikesega ühendatud manomeetriharus vedelikusammas langeb. Selle põhjuseks on karbikeses oleva õhu paisumine. Kui karbikese ja vihi vahele asetada mingi ekraan (papi- või vineeritükk), siis läheb vedelik manomeetris tagasi oma esialgsesse asendisse. Ekraan takistab vihilt lähtuvate soojuskiirte levikut ning soojenemine katkeb.

Siseenergia edasiandmist soojuskiirte abil nimetatakse kiirguseks.

Iga keha kiirgab. Mida kõrgem on keha temperatuur, seda tugevam on kiirgus. Kõrgete temperatuuride juures (mis on erinevatel kehadel erinevad) hakkavad kehad nähtamatute soojuskiirte kõrval kiirgama ka nähtavaid kiiri (valgust).

Arvukad katsed tõendavad, et mustad matid pinnad kiirgavad tugevamini kui sama temperatuuriga heledad siledad pinnad. Kiirgav keha jahtub.

Kehadele langevad soojuskiired neelduvad. Ülalkirjeldatud katses kiirgas kuum viht soojuskiiri, karbike aga neelas neid. *Soojuskiiri neelav keha soojeneb.* Katsed näitavad, et *tumedad konarlikud (matid) pinnad neelavad rohkem soojuskiiri kui siledad heledad pinnad.* Pöörates vihi poole karbikese läikiva külje (joon. 137) näeme, et sel juhul langeb vedelik manomeetri parempoolses harus väga vähe.

Iga keha kiirgab ja neelab kiiri üheaegselt. Kui keha neelab kiiri rohkem, kui ta ise kiirgab, siis keha soojeneb. Kui aga keha ise kiirgab rohkem, kui ta samal ajal neelab, siis ta jahtub.

§ 77. SOOJUSVAHETUSE ARVESTAMINE JA KASUTAMINE.

Looduses ja tehnikas tuleb arvestada siseenergia ühelt kehalt teisele levimise võimalust. Tihti tuleb selle nähtuse vastu võidelda (soojusisolatsioon), teinekord aga jälle soodustada.

I. Soojusjuhtivust tuleb arvestada ehitustehnikas. Elamute ehitamiseks kasutatakse soojust halvasti juhtivaid materjale — telliseid, puitu, poorseid materjale (vahtbetoon). Nende ainete halva soojusjuhtivuse põhjuseks on keha poorides asuv õhk.

Tooge veel näiteid halbade soojusjuhtide kasutamisest elamuehituses.

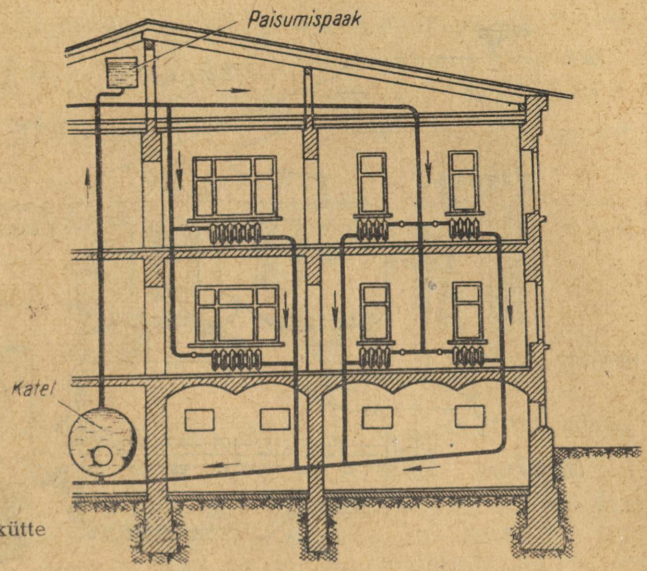
Külmade saabumisel riietuvad inimesed villadest, karusnahast ja vatist valmistatud soojadesse riietesse. Villa või vati kiudude vahel asuv õhk kaitseb inimese keha jahtumise eest.

Kartulite ja teiste juurviljade hoidmiseks kasutatakse talvel õlgi, mulda ja okaspuuoksi.

Soojusjuhtivuse suurendamiseks aga kasutatakse soojust hästi juhtivaid materjale. Nii näiteks tehakse vasest autoradiaatorid, jootetõlvikud jne.

II. Konvektsiooninähtust kasutatakse näiteks vesikeskküttes. Joonisel 138 on toodud maja vesikütte skeem.

Maja keldrikorrusele paigutatakse katel, milles soojendatakse vett. Katlast läheb jäme toru pööningule, kust ta suubub paisumispaaki. Sellesse paaki voolab vee soojenemisel paisunud vesi. Paisumispaagist algavad torud, mida mööda vesi läheb radiaatoritesse. Viimased paigutatakse harilikult akende alla (miks?).



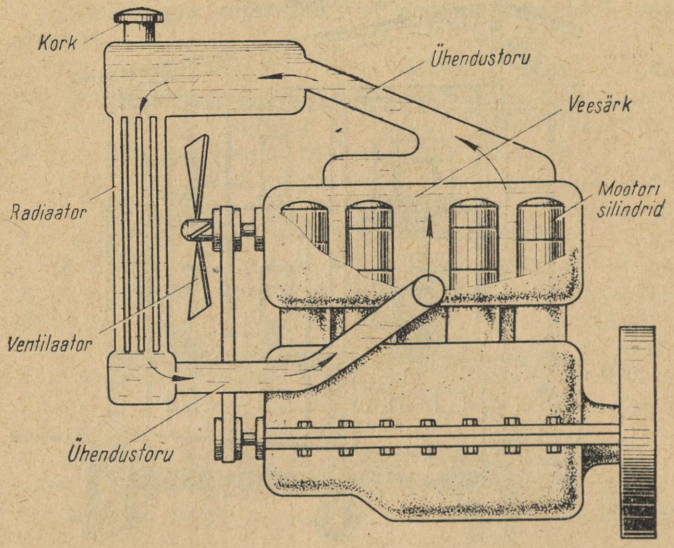
Joon. 138. Vesikeskkütte skeem.

Kuum vesi annab osa oma siseenergiast ruumidele, milles asuvad radiaatorid. Radiaatorites jahtuva vee tihedus (ja erikaal) muutub suuremaks kui kuuma vee tihedus. Seetõttu langebki jahe vesi mööda tagasivoolutorusid alla ning voolab uuesti katlasse.

Vees toimuvate konvektsioonivoolude abil jahutatakse autode ja traktorite mootoreid. Mootori töötamisel tõuseb gaaside temperatuur silindris 1800—2000° C. Silindriseinte kuumenemine halvendab mootori tööd (miks?). Mootori silindreid jahutatakse veega, talvel aga vee ja madala külmumistemperatuuriga vedelike seguga.

Vesi voolab pidevalt mööda jahutussüsteemi, mis koosneb veesärgist (kanalid silindriplokis ja plokikaanes), radiaatorist ja ühendustorudest (joon. 139). Veesärgis kuumenenud vesi tõuseb radiaatorisse, kus ta jahtub ventilaatori õhujoa ja sõidul tekkiva vastutuule mõjul. Kaasaegsetes mootorites kiirendatakse jahutusvee ringvoolu spetsiaalsete pumpadega, mis tavaliselt asetatakse ventilaatoriga ühele võllile.

Tuul pole midagi muud kui atmosfääri erineva temperatuuriga kihtide vahel toimuv konvektsioon. Selgetel päevadel soojeneb rannikul maapind päikesekiirte mõjul tugevamini kui vesi (miks?). Päeval tõuseb maapinnal soojenenud õhk üles, selle asemele liigub aga merelt külmem õhk. Öösel jahtub aga maapind kiiremini kui vesi ning tuul puhub nüüd maalt merele. Nii moodustuvad püsiva suunaga tuuled, mida nimetatakse *briisideks.*



Joon. 139. Sisepõlemismootori jahutussüsteem.

Konvektsioonivoolud kindlustavad õhu pideva liikumise. Selle tulemusena on kõikides maakohtades õhul praktiliselt ühesugune koostis.

Ka merehoovused kujutavad endast konvektsioonivoole.

III. Soojuse kiirgamine ja neelamine. Et kaitsta viljapuid kevad- ja sügiskülmade eest, tehakse aedadesse lõkked. Suitsune õhk neelab maapinnalt lähtuvaid soojuskiiri tugevamini kui puhas õhk ning moodustab seetõttu omapärase soojuskatte.

Viljasaak valmib kiiremini lõunapoolsetel nõlvakutel, sest siin soojeneb maapind päikesekiirte mõjul tugevamini.

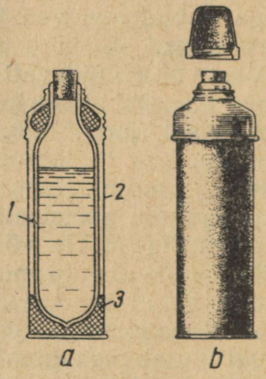
Harjutus 21.

1. Miks tehakse triikraua, teekannu ja välisuste käepidemed puust või plastmassist, mitte aga metallist?

2. Miks kasutatakse talvel kahekordsete raamidega aknaid, mitte aga kahekordse paksusega klaasi?

3. Joonisel 140 on kujutatud termose ehitus. Termos koosneb kahekordsete seintega klaasballoonist *1*, mille sisepinnad on hõbetatud. Seintevahelisest ruumist on õhk välja pumbatud. Ballooni kaitsmiseks mehhaaniliste mõjutuste eest asetatakse see metallkorpusesse *2* ning toestatakse alt paksu kummiseibiga *3*.

Miks ei muutu termoses oleva vedeliku temperatuur ka pika aja jooksul? Miks on ballooni



Joon. 140. *a* — termose ehitus; *b* — termose välisvaade.

seinad muudetud peegelpindadeks (hõbetatud)? Miks pumbatakse õhk ballooni seinte vahelt välja?

4. Miks kaitseb lumekiht taliviljakülve pakase eest?

5. Miks kaetakse külmutusvagunite seinad seest vildiga, väljast aga värvitakse valgeks?

6. Miks on keskküttega majade ülemistel korrustel soojem kui alumistel korrustel?

7. Miks sulab tahmane lumi päikese käes kiiremini kui puhas lumi?

8. Kummas teekannus jahtub vesi kiiremini, kas tahmases või läikivas? Kannude massid ja mõõtmed on ühesugused.

X PEATÜKK.

TÖÖ JA SOOJUS.

§ 78. KEHADE SISEENERGIA MUUTUMINE TÖÖ JA SOOJUSVAHETUSE TULEMUSENA.

Paragrahvis 76 tegime kindlaks, et soojusvahetuse teel antakse siseenergia üle ühelt kehalt teisele. Kehade siseenergia võib aga muutuda ka teisel teel. Igapäevase elu kogemustest teame, et puude saagimisel saag soojeneb, rongi pidurdamisel kuumenevad piduriklotsid, traktori töötamisel kuumenevad laagrid, mõnikord sulavad koguni üles, vasaralöökide mõjul kuumeneb rauatükk jne.

Nimetatud näidetes on siseenergia muutumise põhjuseks töö.

Kontrollime tehtud järeldust katse abil.

Valame metallsilindrisse veidi eetrit ning suleme silindri tihedalt korgiga. Kinnitame silindri kruustangide vahele (joon. 141) ning keerame siis silindri ümber nööri. Liigutades nööri otsi kiiresti edasi-tagasi, me kuumutame eetrit. See aurustub ning lükkab korgi silindri pealt ära. Eetri siseenergia muutus nööri vedamisel tehtud töö arvel. Kehade kuumenemist hõõrdumise tulemusena kasutasid ürginimesed tule saamiseks. Tuletiku süütamisel kasutatakse siseenergia muutmiseks sama moodust.

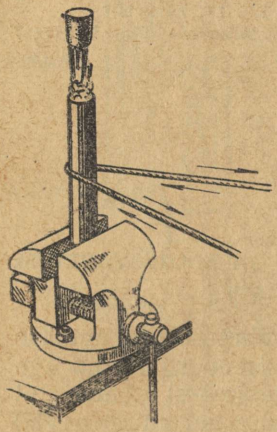
Tööd tehes kulutatakse mehhaanilist energiat, mis muutub vastastikku mõjuvate kehade siseenergiaks. *Tehtud töö hulk näitab, kui palju muutus protsessist osavõtnud kehade siseenergia.*

Siseenergia võib muunduda ka mehhaaniliseks energiaks. Kuumutame katseklaasi, millesse on valatud vett ning suletud korgiga (joon. 142). Peagi läheb vesi keema, tekib aur, mis tõukab korgi katseklaasilt minema. Seejuures vähenevad auru rõhk ja temperatuur. Auru siseenergia muundus siin korgi mehhaaniliseks energiaks. Auru siseenergia muundumist mehhaaniliseks energiaks kasutatakse mitmesugustes soojusmasinates.

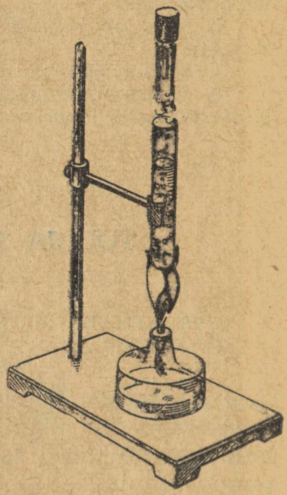
Keha siseenergia muutumine soojusvahetuse teel ei ole seotud siseenergia muundumisega teisteks energialiikideks.

Soojusvahetuse protsessis keha poolt juurdesaadavat või äraantavat siseenergiat mõõdab *soojushulk*. Kui keha siseenergia

soojusvahetuse protsessis suureneb, siis öeldakse, et keha sai juurde mingisuguse soojushulga. Kui keha siseenergia väheneb, siis räägitakse, et keha andis mingi soojushulga ära.



Joon. 141. Metallsilindri ja eetri soojendamine hõõrdumisjõu ületamiseks tehtava töö arvel.



Joon. 142. Siseenergia muutumisel teeb aur tööd (surub korgi ära).

Soojushulk näitab, kuidas muutub soojusvahetuse protsessis keha siseenergia, analoogiliselt sellega, kuidas mehhaaniline töö näitab keha mehhaanilise energia muutumist.

Keha siseenergia võib muutuda: 1) mehhaaniliseks energiaks muutumise teel (või vastupidi), 2) soojusvahetuse protsessis, kus toimub energia edasiandmine teistele kehadele.

Siseenergia muutumist mitmesugustes protsessides mõõdab kas tehtud töö või soojushulk.

§ 79. SISEENERGIA MUUTUSE MÕÕTMINE.

Siseenergia muutumist mõõdetakse samade ühikutega millega mehhaanilist energiatki. Seega võib soojushulka mõõta kas džaulides või kilogramm-meetrites. Ajalooliselt on spetsiaalseks soojushulga mõõtühikuks kujunenud *kalor*[1] (cal).

Kalor on selline soojushulk, mis läheb tarvis 1 g vee soojendamiseks 1° C võrra. Jahtumisel 1° C võrra annab 1 g vett ära kaloriga võrdse soojushulga.

[1] Ladinakeelsest sõnast *calor* — soojus.

Kalor näitab, kui palju muutub 1 g vee siseenergia temperatuuri muutumisel 1° C võrra.

Tehnikas kasutatakse suuremat soojushulga ühikut — *kilokalorit* (kcal). Kilokalor on soojushulk, mis läheb vaja 1 kg vee soojendamiseks 1° C võrra. 1 kcal = 1000 cal.

Katseliselt on tehtud kindlaks, et 1 cal ≈ 4,2 J; 1 kcal ≈ ≈ 4200 J[1].

Tänapäeval on põhiliseks energia (sealhulgas ka siseenergia) mõõtühikuks džaul. Lubatav on aga ka kalori ja kilokalori kasutamine.

N ä i d e. Kui palju suureneb 3 kg vee siseenergia soojenemisel 20° C-st 100° C-ni?

L a h e n d u s.

1 kg vee soojendamiseks 1° C võrra kulub 4200 J.
3 kg „ „ 1° C „ „ $3 \cdot 4200 = 12\,600$ J.
3 kg „ „ 80° C „ „ $3 \cdot 80 \cdot 4200 =$
$= 1\,008\,000$ J.

Kui kasutada kilokaloreid, siis saame järgmise lahenduse.

1 kg vee soojendamiseks 1° C võrra kulub 1 kcal;
3 kg „ „ 1° C „ „ $1 \cdot 3 = 3$ kcal;
3 kg „ „ 80° C „ „ $1 \cdot 3 \cdot 80 = 240$ kcal.

§ 80. AINE ERISOOJUS.

Soojuslike arvutuste läbiviimisel on tarvis teada, kui palju muutub 1 kg mingi aine siseenergia tema soojendamisel 1° C võrra. Katsed näitavad, et erinevatel ainetel on see siseenergia muutus erinev.

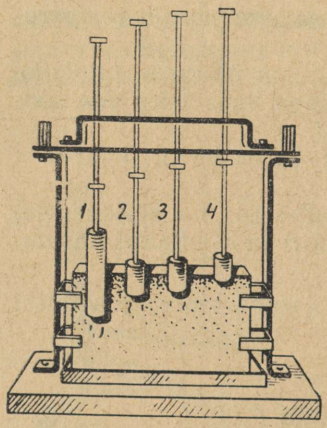
Võtame kaks ühesugust õhukest keeduklaasi. Paneme ühte neist rauatüki ning valame sinna vett, et rauatükk oleks üleni vees. Teise klaasi kallame vett seni, kuni selle mass saab võrdseks esimeses klaasis oleva vee ja rauatüki masside summaga. Asetame klaasid elektripliidile. Rauatükiga klaasis hakkab vesi varem keema kui teises klaasis.

Mõlemad klaasid said pliidilt ühesuguse hulga soojust. Seepärast saab katsest teha järelduse, et rauatüki soojendamiseks läheb vähem soojust kui samasuguse hulga (näiteks 1 kg) vee soojendamiseks sama kraadide arvu võrra.

Jahutamisel ühe ja sama kraadide arvu võrra annavad 1 kg suuruse massiga ained ära erinevad soojushulgad.

Kontrollime seda katseliselt (joon. 143).

[1] Täpsemalt — 1 kg vee soojendamiseks 19,5° C-st 20,5° C-ni läheb vaja 4187,6 J.



Joon. 143. Katse, mis kinnitab metallide erinevat erisoojust: *1* — alumiinium; *2* — teras; *3* — vask; *4* — plii.

Soojendame kuumas vees ühesuguse temperatuurini ühesuguse massiga erinevatest metallidest silindrid. Asetame hoidjatesse paigutatud silindrid kiiresti parafiin- või vahaplaadile. Jahtudes sulatab iga silinder erineva hulga parafiini. Siit järgneb, et 1 kg suuruse massiga kehade siseenergia väheneb jahtumisel 1° C võrra erinevalt.

Suurust, mille võrra muutub 1 kg massiga keha siseenergia tema soojendamisel või jahutamisel 1° C võrra, nimetatakse keha aine erisoojuseks.

Aine erisoojus tehakse kindlaks katseliselt. Erisoojust märgitakse harilikult tähega *c*. Erisoojuse ühiku nimetus sõltub sellest, millistes ühikutes mõõdetakse siseenergia muutust ja keha massi, näiteks:

$$\frac{J}{kg \cdot deg}\ ^{1};\quad \frac{kcal}{kg \cdot deg}\quad \text{või}\quad \frac{cal}{g \cdot deg}.$$

$$\text{Vee erisoojus } c = 4200\ \frac{J}{kg \cdot deg} = 1\ \frac{kcal}{kg \cdot deg} = 1\ \frac{cal}{g \cdot deg}.$$

Mõne aine erisoojuse ligikaudsed väärtused

Aine	Erisoojus		Aine	Erisoojus	
	$\frac{J}{kg \cdot deg}$	$\frac{kcal}{kg \cdot deg}$ $\frac{cal}{g \cdot deg}$		$\frac{J}{kg \cdot deg}$	$\frac{kcal}{kg \cdot deg}$ $\frac{cal}{g \cdot deg}$
Alumiinium	880	0,21	Vask	380	0,090
Raud, teras	460	0,11	Plii	130	0,030
Petrooleum	2100	0,50	Hõbe	240	0,057
Messing	380	0,09	Klaas	840	0,20
Jää	2100	0,50	Malm	550	0,13

Maapind koosneb veest väiksema erisoojusega ainetest. Seepärast on veekogudel suvel madalam temperatuur kui maapinnal, vaatamata sellele, et nad mõlemad saavad Päikeselt ühesugusel hulgal soojust. Külmade saabumisega jahtub vesi aeglasemalt kui maapind. Seepärast ei ole merelähedastel aladel selliseid teravaid temperatuuride kõikumisi, nagu neid esineb sügaval sisemaal, kaugel meredest.

[1] GOST 8550-61 alusel kasutatakse Kelvini või Celsiuse kraadides väljendatud temperatuuride vahe tähistamisel rahvusvahelist lühendit «deg».

§ 81. SOOJUSVAHETUSE PROTSESSIS TOIMUVA SISEENERGIA MUUTUMISE ARVESTAMINE.

Ehitustehnikas tuleb sageli arvestada hoonete soojapidavust, küttesüsteemi poolt äraantavat soojushulka, aga samuti ka siseenergia muutumist sellistes soojusvahetuse protsessides, mis toimuvad kasvuhoonetes, lavades, külmutusseadmetes jne.

Vaatleme mõnda näidet.

Näide 1. Kuidas muutub 5 kg massiga terastoote siseenergia selle kuumutamisel 20° C-lt kuni punase hõõgumiseni (600° C)?

Lahendus.

1 kg terase kuumutamiseks 1° C võrra läheb 460 J.
5 kg „ „ 1° C „ „ $5 \cdot 460$ J $= 2300$ J.
5 kg „ „ (600—20)° C „ „ $5 \cdot 460 \cdot 580 =$
$= 1\,300\,000$ J.

Näide 2. Kui palju on tarvis soojust selleks, et 1,4 kg massiga messingkastrulis keema ajada 15 liitrit 15° C vett?

1,0 kg messingi soojendamiseks 1° C võrra läheb 0,090 kcal;
1,4 kg „ „ 1° C „ „ $0{,}09 \cdot 1{,}4$ kcal;
1,4 kg „ „ (100—15)° C „ „ $0{,}09 \cdot 1{,}4 \cdot 85 \approx$
≈ 107 kcal.

Seega kastruli soojendamiseks läheb $0{,}090 \cdot 1{,}4 \cdot 85 \approx 107$ kcal.

1 kg vee soojendamiseks 1° C võrra läheb 1,0 kcal;
15 kg „ „ 1° C „ „ $1{,}0 \cdot 15$ kcal;
15 kg „ „ (100—15)° C „ „ $1{,}0 \cdot 15 \cdot 85 \approx$
≈ 1280 kcal.

Üldse läheb kastruli ja vee soojendamiseks vaja soojust

$$107 \text{ kcal} + 1280 \text{ kcal} \approx 1400 \text{ kcal}.$$

Lepime kokku kasutada edaspidi järgmisi tähiseid: Q — soojusvahetuse protsessis keha poolt juurdesaadud või äraantud siseenergia hulk; m — keha mass; c — aine erisoojus; t_1° — keha algtemperatuur; t_2° — keha lõpptemperatuur.

Toodud tähiseid kasutades võib soojusvahetuse protsessis toimuva keha siseenergia muutuse märkida järgmiselt:

$$Q = cm(t_2^\circ - t_1^\circ).$$

Leidke antud valemi abil erisoojuse mõõtühikud.

§ 82. AINE ERISOOJUSE KATSELINE MÄÄRAMINE.

Selleks et määrata aine erisoojust, soojendatakse uuritavast materjalist keha massiga m_1 temperatuurini t_1°, siis aga asetatakse külma vee anumasse. Külma vee mass olgu m_2, temperatuur aga t_2°. Vette asetatud keha jahtub ning annab osa oma siseenergiast veele. Vesi soojeneb seni, kuni keha ja vee temperatuurid võrdsustuvad. Märgime selle lõpptemperatuuri tähega Θ. Keha siseenergia vähenemine

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_1^\circ - \Theta).$$

Vee siseenergia suurenemine

$$Q_2 = c_2 m_2 (\Theta - t_2^\circ).$$

Täpsed katsed näitavad, et *soojusvahetuse protsessis on jahtuvate kehade poolt antav siseenergia hulk alati võrdne soojenevate kehade poolt saadava siseenergia hulgaga.*

Järelikult $Q_1 = Q_2$

ehk

$$c_1 m_1 (t_1^\circ - \Theta) = c_2 m_2 (\Theta - t_2^\circ).$$

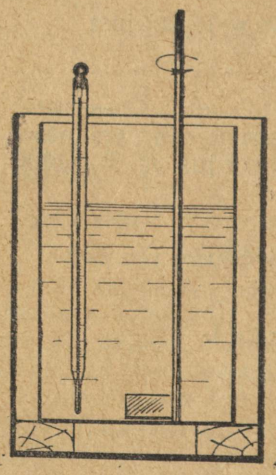
Seda võrdust nimetatakse *soojusliku tasakaalu võrrandiks.* See võrrand räägib soojusvahetusest osavõtvate kehade siseenergia jäävusest.

Soojusliku tasakaalu võrrandist avaldame uuritava aine erisoojuse:

$$c_1 = \frac{c_2 m_2 (\Theta - t_2^\circ)}{m_1 (t_1^\circ - \Theta)}.$$

Katse läbiviimisel ei tohi lubada energiakadusid ümbritsevasse ruumi. Seepärast paigutatakse anum, kus toimub keha ja vee soojusvahetus, veel teise nõusse. Nõude vahele jääb õhuvahe (joon. 144). Milleks on see vajalik? Sisemine anum toetub puust või korgist klotsidele (miks?). Sellist kahekordsete seintega ja segajaga varustatud anumat nimetatakse *kalorimeetriks.* Täpsetes arvutustes võetakse harilikult arvesse ka kalorimeetri sisemise anuma poolt saadav energiahulk.

Veenduge laboratoorse töö käigus (§ 83) soojusliku tasakaalu võrrandi tõepärasuses.



Joon. 144. Kalorimeetri ehitus.

§ 83. LABORATOORNE TÖÖ NR. 5.

Sooja ja külma vee segamisel saadud ja antud siseenergia hulkade võrdlemine.

Tööriistad: kalorimeeter, keemiline klaas, termomeeter, kangkaalud koos vihtide komplektiga, külm vesi ja kuum vesi.

Töö käik.

1. Tasakaalustage kangkaaludel klaas ning kallake siis sinna 100—150 g külma vett (m_1). Kallake vesi seejärel kalorimeetri sisemisse anumasse ning mõõtke vee temperatuur (t_1°).

2. Määrake sama klaasi ja kaalude abil kuuma vee mass (m_2). Võtke mõlemat vett enam-vähem ühesugused hulgad. Mõõtke ka kuuma vee temperatuur (t_2°).

3. Valage kuum vesi kalorimeetrisse, segage vett segajaga ning mõõtke segu temperatuur (Θ).

4. Arvutage kuuma vee siseenergia vähenemine (Q_2) ja külma vee siseenergia suurenemine (Q_1). Võrrelge saadud tulemusi. Kas Q_1 ja Q_2 väärtustes on suur erinevus? Mõelge, mis on nende suuruste väikese erinevuse põhjus? Tehke tööst järeldus.

Mõõtmistulemused ning arvutused vormistage järgmise tabeli kujul:

Kuum vesi (annab energiat)	Külm vesi (saab energiat)
mass m_2 = algtemperatuur t_2° = lõpptemperatuur Θ = äraantud siseenergia $Q_2 = 1 \cdot m_2(t_2^\circ - \Theta)$	mass m_1 = algtemperatuur t_1° = lõpptemperatuur Θ = saadud siseenergia $Q_1 = 1 \cdot m_1(\Theta - t_1^\circ)$

§ 84. KÜTUSE KÜTTEVÄÄRTUS. SOOJENDAJA KASUTEGUR.

Kehade soojendamiseks kasutatakse mitmesuguseid kütteaineid (puitu, kivisütt, naftat jt.). Põlemisel eraldab kütus energiat kuumade gaaside siseenergia näol.

Soojushulka, mis eraldub 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse selle kütuse küttevääruseks.

Kütuse küttevääruset märgitakse tähega q ning mõõdetakse $\frac{J}{kg}$-des, $\frac{kcal}{kg}$-des või $\frac{cal}{g}$-des.

Arvutame kütuse täielikul ärapõlemisel eralduva energiahulga.

Näide. Kui palju energiat annab 2 tonni kivisütt täielikul ärapõlemisel?

Lahendus. 1 kg kivisütt annab täielikul ärapõlemisel $29 \cdot 10^6$ J energiat. 2 tonni kivisütt eraldab $29 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 1000 = 58 \cdot 10^9$ J energiat ehk $14 \cdot 10^6$ kcal energiat.

Mõne kütuse ligikaudne kütteväärtus

Kütus	Kütteväärtus $\frac{J}{kg}$	Kütteväärtus $\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$	Kütus	Kütteväärtus $\frac{J}{kg}$	Kütteväärtus $\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$
Petrooleum, bensiin, nafta	$46 \cdot 10^6$	11 000	Piiritus	$29 \cdot 10^6$	7000
Diiselkütus	$43 \cdot 10^6$	10 000	Kuiv puit	$10 \cdot 10^6$	2500
Kivisüsi	$29 \cdot 10^6$	7 000	Looduslik gaas	$36 \cdot 10^6$	8500
			Turvas	$15 \cdot 10^6$	3500

Kui põletatava kütuse mass on m kg, kütteväärtus aga q, siis võib antud kütuse täielikul ärapõlemisel eralduva energiahulga arvutada valemi

$$Q = qm$$

järgi.

Mistahes kütuse põlemisel eralduvat energiat ei ole kunagi võimalik täielikult ära kasutada. Osa energiat läheb õhku koos suitsuga, osa kulub ümbritseva õhu jt. kehade soojendamiseks. Seepärast iseloomustab igat soojendusseadet (ehk soojendajat) *kasutegur*.

Kasutegur näitab, milline osa kütuse põlemisel saadavast energiast kulutatakse kasulikult.

Soojendaja kasutegur on võrdne kasulikult rakendatud energia (Q_1) ja kogu kulutatud energia (Q_2) suhtega. Kasutegurit märgitakse tavaliselt tähega η ning avaldatakse protsentides:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\% .$$

Näide 1. Arvutage 350-liitrise mahuga söödaauruti 3K-1,0 kasutegur, kui 10° C vee keemaajamiseks tuleb põletada 25 kg kuivi küttepuid.

Lahendus.

Vee soojendamiseks kuluv energia

$$Q_1 = cm\,(t_2^\circ - t_1^\circ);$$

$$Q_1 = 4200\ \frac{J}{kg \cdot deg} \cdot 350\ kg \cdot (100-10)^\circ = 132 \cdot 10^6\ J.$$

Puude põlemisel saadav energia

$$Q_2 = qm_1;$$

$$Q_2 = 10 \cdot 10^6 \frac{J}{kg} \cdot 25\ kg = 250 \cdot 10^6\ J.$$

Auruti kasutegur

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\%;$$

$$\eta = \frac{132 \cdot 10^6\ \text{J}}{250 \cdot 10^6\ \text{J}} \cdot 100\% \approx 55\%.$$

Soojendaja kasutegur oleneb tema konstruktsioonist, kasutatava kütuse liigist ning samuti ka soojendatava keha kujust, mõõtmetest ja asendist.

§ 85. LABORATOORNE TÖÖ NR. 6.

Piirituslambi kasuteguri määramine

Tööriistad: kaalud koos kaaluvihtidega, piirituslamp, keemiline klaas, mensuur, termomeeter.

Töö käik.

Piirituslambi kasuteguri määramiseks tuleb kindlaks määrata vee soojendamiseks kulutatud energia (Q_1) ja piirituse põlemisel eraldunud energia (Q_2).

1. Kaaluge enne katset piirituslamp täpsusega 0,1 g (m_1). Mõõtke vee algtemperatuur t_1°.
2. Mõõtke mensuuri või kaalude abil 200—300 g vett (m).
3. Soojendage piirituslambiga vett ning jälgige termomeetri abil temperatuuri tõusu. Pärast temperatuuri tõusmist 30—40°C võrra kustutage piirituslamp ning kirjutage üles vee lõpptemperatuur t_2°.
4. Kaaluge pärast katset uuesti piirituslamp (m_2). Kaalude vahe $m_2 - m_1$ annab ärapõletatud piirituse massi.
5. Teades ärapõletatud piirituse massi ja piirituse küttevääртust, arvutage põlemisel eraldunud soojushulk Q_2.
6. Arvutage soojushulk Q_1, mis läks vee soojendamiseks.
7. Arvutage piirituslambi kasutegur.

§ 86. ENERGIA JÄÄVUSE JA MUUNDUMISE SEADUS MEHHAANILISTES JA SOOJUSLIKES PROTSESSIDES.

Me teame, et mehhaanilistes protsessides muundub kehade kineetiline energia potentsiaalseks ja vastupidi. Seejuures kehtib põhiline loodusseadus — energia jäävuse ja muundumise seadus.

Kas kehtib see seadus ka mehhaanilise energia muundumisel keha siseenergiaks?

Hoolikalt läbiviidud katsetega tehti kindlaks, et see seadus on kehtiv ka kõikide soojuslike protsesside kohta. Soojusvahetuse protsessis on soojemalt kehalt äraantav siseenergia hulk alati võrdne selle siseenergia hulgaga, mille saab juurde külmem keha. Selles veendusite laboratoorse töö puhul, kus te segasite külma ja kuuma vett. *Soojusliku tasakaalu võrrand väljendabki energia jäävuse ja muundumise seadust soojusvahetuse protsessi kohta.*

Kui kehade siseenergia suureneb mehhaanilise energia arvel

(hõõrdumise, löögi jm. näol), siis on kulutatud mehhaaniline energia alati võrdne vastastikku mõjuvate kehade siseenergia kasvuga.

Ka teiste energialiikide (elektrienergia, kiirgusenergia, aatomienergia) ning nende vastastikuste muundumiste uurimisel tehti kindlaks, et alati kehtib seejuures energia jäävuse ja muundumise seadus:

energia ei hävi kunagi ega teki ka uuesti. Ta läheb ainult ühelt kehalt teisele või muundub ühest liigist teiseks, kuid ei muuda oma hulka.

Rakendades energia jäävuse ja muundumise seadust mitmesuguste loodusnähtuste selgitamiseks, tuleb arvestada **kõiki kehi**, mis võtavad nähtusest osa ning mõjuvad üksteisele. *Kui vaadelda kõiki mingist protsessist osavõtvaid kehi, siis jääb nende koguenergia muutumatuks.*

Energia jäävuse ja muundumise seaduse kindlaksmääramisel olid suure tähtsusega katsed ja vaatlused, mida XIX sajandil viisid läbi inglise õpetlane James Joule (1818—1889) ja saksa õpetlane Robert Mayer (1814—1878). Mitmesuguste loodusnähtuste teoreetilisel analüüsimisel jõudis saksa õpetlane Hermann Helmholtz (1821—1894) järeldusele, et energia on hävimatu. Tema sõnastaski *energia jäävuse kui looduse põhiseaduse.* Energia jäävuse seaduse idee oli aga juba pikka aega enne seda tuntud M. V. Lomonossovile, kes juhindus sellest oma soojusnähtuste kohta läbiviidud töödes.

Energia jäävuse ja muundumise seadus on loodusnähtuste kaasaegse tunnetamise aluseks. See seadus räägib, et ei ole võimalik ehitada igavesi jõumasinaid, mis teeksid mehhaanilist tööd või soojendaksid kehi ilma mingit energialiiki kulutamata.



Hermann Helmholtz (1821—1894) — XIX sajandi üks suurimaid looduseuurijaid. Hariduselt meedik. Ta töötas läbi rea nägemise ja kuulmise füsioloogia küsimusi ning tegi väljapaistvaid avastusi mitmesugustes füüsika osades. Sõltumatult J. Joule'ist ja R. Mayerist jõudis ta energia jäävuse seaduseni ning põhjendas seda teoreetiliselt.

Energia jäävuse seadus kummutab religioossed müüdid maailma loomisest. Maailm on igavene. Maailmas pidevalt toimuvates muutustes on alati tegemist mitmesuguste energialiikide muundumisega. Kõik need muundumised alluvad energia jäävuse ja muundumise seadusele.

Mitmesugused Maal toimuvad energia muundumised, mida ulatuslikult rakendatakse tehnikas, on oma tekkelt seotud Päikese tegevusega. Vee ja tuule energia, mis on seotud vee ringkäiguga looduses ja õhu konvektsiooniga, on Päikese tegevuse tulemus. Tehnikas kasutatav kütus (nafta, kivisüsi, puud jne.) on tekkinud päikesekiirte mõjul elusorganismides toimuvate protsesside tulemusena. Päike on Maa peamine energiaallikas. Muundatud päikeseenergia ja aatomienergia on kaasaja energeetika aluseks.

Harjutus 22.

1. Miks võib peopesad ära põletada, kui end kiiresti mööda latti või köit alla libistada?
2. Instrumendi teritamisel lendavad käialt sädemed. Selgitage seda nähtust.
3. Miks soojenevad kuullaagrid vähem kui liugelaagrid?
4. Milline on 5 kg vee siseenergia muutus soojenemisel 20° C-st keemiseni?
5. Kui suure hulga vett saab soojendada 15°-st 80°-ni $63 \cdot 10^3$ J suuruse energiahulgaga?
6. Mitme kraadi võrra saab soojendada 1 l vett 65 kilokalori suuruse soojushulgaga?
7. Kui palju soojust eraldub teeklaasi vee (250 g) jahtumisel 100°-st toatemperatuurini (18° C)?
8. Jää erisoojus on 2100. Mida see tähendab? Milline on selle suuruse mõõtühik?
9. 400 g massiga alumiiniumkastrulisse on valatud 2 l vett. Kui palju on vaja soojust vee ja kastruli soojendamiseks 22°-st 100°-ni? Avaldage vee siseenergia suurenemine džaulides.
10. Terasvasar kuumutati karastamisel 700°-ni, siis aga jahutati kiiresti 20°-ni. Seejuures eraldus 60 kcal. Kui suur oli vasara mass?
11. Mitme kraadi võrra saab soojendada 200 g massiga vasest jootetõlvikut, kui sellele anda 23 400 J energiat?
12. Leidke petrooleumpõleti kasutegur, kui 4 l vee soojendamiseks 20°-st keemiseni kulus 710 kcal soojust.
13. Boileri tootlikkus on 200 l keeva vett tunnis. Kui palju puid on tarvis boileri kütmiseks 8 tunni vältel, kui vesi läheb boilerisse 10° C juures ning seadise kasutegur on 60%?

XI PEATÜKK.

AINE AGREGAATOLEKU MUUTUMINE SOOJENDAMISEL JA JAHUTAMISEL.

Soojendamisel läheb aine tahkest olekust vedelasse, vedelast aga gaasilisse (aur).[1] Jahutamisel peaaegu kõik gaasilised ained muutuvad vedelikeks, vedelikud aga tahketeks kehadeks.

Aine üleminekut tahkest olekust vedelikuks nimetatakse *sulamiseks*, vedelast olekust tahkesse aga *tahkestumiseks*.

Aine üleminekut vedelast olekust auruks nimetatakse (olenevalt tingimustest) *aurustumiseks* või *keemiseks*, vastupidist üleminekut aga *kondenseerumiseks*[2].

I. AINE ÜLEMINEK TAHKEST OLEKUST VEDELASSE JA VASTUPIDI.

§ 87. KRISTALLILISED JA AMORFSED AINED.

Tahked kehad on kas kristallilised või amorfsed.

Kristallilistes ainetes on aatomid ja molekulid ühendatud gruppideks — kristallideks, kus molekulid ja aatomid paigutuvad kindlas korras. *Aine kristallil on korrapärane geomeetriline, antud kehale iseloomulik kuju.* Nii näiteks on keedusoola kristallil kuubi kuju, vilgukivi kristallil õhukese lehekese kuju jne. Igaühele on tuntud väga mitmesuguse kujuga lumehelbed — jääkristallid. Osakeste asetus kristallis määrab kristalli kuju ning vastava aine omadused.

Kristallilised on enamik mineraale, metallid, jää, naftaliin, tahm, inimeste ja loomade kondid, villakiud, siid, tselluloos jne.

Vaadelge luubi abil suhkruterakesi, naftaliini. Nende ainete iga osakene kujutab endast kindlakujuliste, just nagu lihvitud tahkudega kristalli.

Üksikuid kristalle nimetatakse *monokristallideks*[3] ehk lihtsalt kristallideks. Looduses esineb mitmesuguste ainete monokristalle, mis sageli on väga suurte mõõtmetega.

Kõige sagedamini koosnevad kristallilised ained suurest arvust väikestest kristallidest, mis asetsevad üksteise suhtes korrapäratult, kuid on seejuures tugevasti üksteisega seotud. Selliseid aineid

---

[1] Mõned tahked ained, näiteks puit, muudavad soojendamisel oma keemilist koostist ning vedelasse olekusse ei lähe. Mõned ained aga lähevad tahkest olekust otse gaasilisse, näiteks jood.

[2] Ladinakeelsest sõnast *condensare* — tihendama.

[3] Kreekakeelsest sõnast *monos* — ainus.

nimetatakse polükristallilisteks[1]. Sellisteks aineteks on metallid, rafinaadsuhkur jt. Väikeste kristallide helkivaid tahke võib jälgida metallitükkide murdekohtades.

Metalli kristallide struktuur muutub temale mõjuvate mehhaaniliste pingete mõjul. Nii näiteks muutuvad raua ja terase väikesed kristallid (raudteerööbaste, vagunitelgede jne. juures) järk-järgult suuremaks. Sellist nähtust nimetatakse *metallide väsimuseks*, sest suurema kristalli struktuur on nõrgem.

Amorfsed on klaas, pigi, mitmesugused vaigud, hangunud suhkur (pärast sulatamist), parafiin, kirjalakk, vaha jt. Neil ainetel ei ole korrapärast kuju. *Amorfsete ainete molekulid on paigutatud korrapäratult.* Seepärast erinevad ka amorfsete ainete omadused tunduvalt kristalliliste ainete omadustest.

Amorfne olek ei ole püsiv. Aja jooksul muutuvad amorfsed ained kristallilisteks. Nii näiteks tekivad klaasile matid laigud (kristallilised piirkonnad), hangunud suhkrumass kristalliseerub. Erinevate amorfsete ainete kristalliseerumise aeg on erinev, ulatudes mõnest kuust (suhkrumass) miljonite aastateni (näiteks kivimid).

§ 88. SULAMINE JA KRISTALLISEERUMINE.

Katsed näitavad, et *iga kristalliline aine sulab temale omasel kindlal temperatuuril.*

Temperatuuri, mille juures aine sulab, nimetatakse selle aine sulamistemperatuuriks ehk sulamispunktiks (ka sulamistäpiks).

Paigutame veeanumasse mõned erinevate ainetega, näiteks jääga, naftaliiniga, hüposulfiidiga ja vasega, täidetud katseklaasid. Kuumutame veeanumat piirituslambil. Kõige esimesena sulab jää. Tema sulamistemperatuur on 0° C. Kui temperatuur veeanumas on tõusnud 48° C-ni, hakkab sulama hüposulfiit. 80° C juures sulab naftaliin, vask jääb aga endiselt tahkeks.

Võtame katseklaasid kuumast veest välja ning jälgime neis olevate ainete jahtumist. 80° C juures hakkab tahkestuma naftaliin, 48° C juures aga hüposulfiit.

Järelikult *kristallilised ained tahkestuvad (kristalliseeruvad) samal temperatuuril, mille juures nad sulasid.*

Temperatuuri, mille juures ained kristalliseeruvad, nimetatakse antud aine kristalliseerumistemperatuuriks või kristalliseerumispunktiks (ka kristalliseerumistäpiks).

Sulamisprotsessi vaatlemiseks võtame katseklaasi, kuhu on paigutatud väike kogus naftaliini. Asetame selle katseklaasi suuremasse nõusse (joon. 145). Valame suuremasse nõusse vett, kuu-

[1] Kreekakeelsest sõnast *poly* — palju.

mutame nõud piirituslambil ning jälgime termomeetri abil naftaliini temperatuuri.

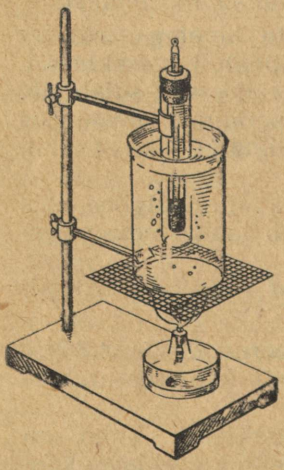
80° C juures hakkab naftaliin sulama. Seni, kuni kogu naftaliin pole sulanud, püsib temperatuur muutumatuna. Alles vedela naftaliini edasisel soojendamisel hakkab temperatuur uuesti tõusma. Kui katkestada naftaliini soojendamine, siis hakkab ta 80° C juures kristalliseeruma. Kogu tahkestumise ajal naftaliini temperatuur ei muutu.

Mõne aine sulamis- ja kristalliseerumistemperatuurid normaalrõhu juures.

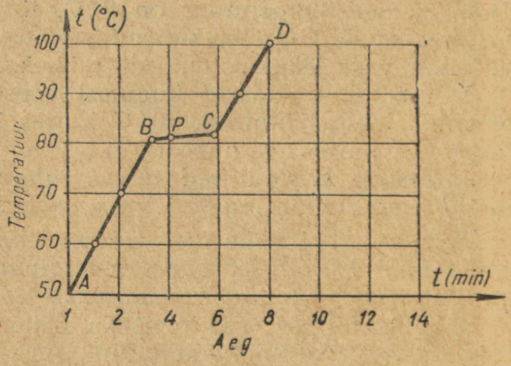
Aine	Sulamistemperatuur °C	Aine	Sulamistemperatuur °C
Vesinik	—257	Alumiinium	658
Hapnik	—219	Kuld	1063
Merevesi	—2,5	Vask	1083
Tina	232	Teras	1300—1400
Plii	327	Plaatina	1774
Tsink	419	Volfram	3370

Kristallilise aine sulamise ja tahkestumise ajal tema temperatuur ei muutu.

Kui kujutada naftaliini temperatuuri muutumist olenevalt ajast (oletades, et soojendaja annab igas minutis ühesuguse ener-



Joon. 145. Katseseade naftaliini sulamise ja tahkestumise jälgimiseks.



Joon. 146. Naftaliini soojenemise ja sulamise graafik.

giahulga), siis saame joonisel 146 kujutatud graafikuga analoogilise graafiku.

Graafiku lõik *AB* näitab, et kuni sulamiseni kasvab naftaliini temperatuur ühtlaselt. Sulamise ajal püsib temperatuur konstantsena (graafiku lõik *BC*). Sulamise lõppedes hakkab temperatuur jälle ühtlaselt tõusma (graafiku lõik *CD*).

Tehke graafiku järgi kindlaks, millisele naftaliini olekule vastavad graafiku lõigud *AB*, *BC* ja *CD*. Millisele naftaliini olekule vastab graafiku punkt *P*?

Vaatleme aine sisemise ehituse muutumist sulamisel ja tahkestumisel.

Soojendamisel hakkavad aatomid ja molekulid kristallides võnkuma kiiremini ja suurema amplituudiga. Suureneb nende kineetiline ja potentsiaalne energia, s. t. suureneb aine siseenergia. Igale ainele omasel kindlal temperatuuril saab molekulide energia nii suureks, et suudab ületada molekulidevahelisi tõmbejõude. Kristallid purunevad, see tähendab — tahke keha hakkab sulama.

Sulamise kestel püsib aine temperatuur konstantsena. Kogu seejuures saadav energia läheb tervenisti molekulaarsete tõmbejõudude ületamise tööks ehk teiste sõnadega aine kristallilise struktuuri lõhkumiseks. Molekulide potentsiaalne energia seejuures suureneb, sest sulamisel suurenevad molekulidevahelised keskmised kaugused.

Pärast aine täielikku sulamist hakkab molekulide kaootilise liikumise kiirus uuesti kasvama, suureneb seega molekulide kineetiline energia. Vedeliku temperatuur tõuseb. Vedeliku jahtumisel toimub aga vastupidine protsess.

Amorfsetel kehadel, millel ei ole korrapärast molekulaarset struktuuri, läheb soojendamisel saadav energia molekulide liikumiskiiruse suurendamiseks. Seejuures suurenevad molekulide võnkumised oma tasakaaluasendite ümber, molekulidevahelised tõmbejõud nõrgenevad, keha pehmeneb ning muutub järk-järgult vedelaks. Amorfse keha temperatuur kasvab soojendamisel pidevalt. Amorfsete kehade kõvastumisel väheneb molekulide liikuvus järk-järgult ning aine tiheneb ikka enam ja enam.

Tahked amorfsed ained on oma omadustelt lähedased väga paksudele vedelikele.

§ 89. LABORATOORNE TÖÖ NR. 7.

Kristallilise aine tahkestumise uurimine.

Tööriistad: katseklaas naftaliiniga, termomeeter, soojendaja, kuum vesi.

Töö käik.

1. Kinnitage katseklaas statiivi näpitsa külge ning asetage kuuma vette nii, nagu on kujutatud joonisel 145. Kirjutage üles temperatuur, mille juures naftaliin sulab.

2. Pärast naftaliini täielikku sulamist võtke katseklaas kuumast veest välja ning jälgige naftaliini jahtumist. Märkige naftaliini temperatuur iga poole minuti tagant.

3. Joonistage naftaliini tahkestumise graafik. Graafiku vertikaalteljele märkige temperatuur, horisontaalteljele aga jahtumise aeg.

4. Vastake järgmistele küsimustele: 1. Millisel temperatuuril naftaliin sulab ja tahkestub? 2. Kas sulamise ja tahkestumise ajal naftaliini temperatuur muutub? 3. Milliseid naftaliini olekuid iseloomustavad teie graafiku eri osad?

§ 90. SULAMISSOOJUS.

Katsed näitavad, et ühesuguste massidega erinevate ainete sulatamiseks on tarvis erinevaid soojushulki. Nii näiteks on sulamistemperatuuril oleva 1 kg tina sulatamiseks vaja 59 000 J energiat, 1 kg sulamistemperatuuriga plii sulatamiseks aga 25 000 J. See näitab, et molekulidevahelised tõmbejõud on iga aine juures erinevad ning nende ületamiseks vajalikud energiahulgad samuti.

Suurust, mis näitab 1 kg massiga aine siseenergia suurenemist üleminekul tahkest olekust vedelasse konstantsel temperatuuril, nimetatakse selle aine sulamissoojuseks.

Sulamissoojuse mõõtühikuteks on: $\frac{J}{kg}$, $\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$.

Mõne aine sulamissoojused normaalrõhu juures.

Aine	Sulamissoojus		Aine	Sulamissoojus	
	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$		$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$
Alumiinium	390 000	92,4	Vask	180 000	42,0
Jää	340 000	80,0	Plii	26 000	6,3
Raud	270 000	65,0	Elavhõbe	12 000	2,8

Tahkestumisel keha temperatuur ei muutu, kuigi keha annab ära energiat teda ümbritsevatele kehadele. Kust see energia saadakse?

Paragrahvis 88 selgitati, et vedelas olekus on aine siseenergia suurem kui tahkes olekus. Nii näiteks on 1 kg vedela vase siseenergia 180 000 J suurem kui 1 kg tahke vase energia samal temperatuuril.

See energia vahe eraldubki aine kristalliseerumisel. Vedeliku molekulid ühinevad kristalliseerumisel tugevateks gruppideks — kristallideks. Nende potentsiaalne energia seejuures väheneb, energia ülejääk antakse ümbritsevale keskkonnale. Täpsete kat-

setega on kindlaks tehtud, et *kristalliseeruv aine eraldab sellise energiahulga, mis kulus sama aine sulatamiseks konstantsel temperatuuril.*

Lumesaju ajal õhu temperatuur alati veidi tõuseb. Selle põhjuseks on lume moodustumisel vabanev energia, mis antakse ümbritsevale õhule. Samal põhjusel ei esine suurte jõgede või järvede ääres nende jäätumise ajal tugevat külma. Jäämineku ajal aga on jõgede ääres külmem, sest jää sulatamiseks vajalikud suured energiahulgad võetakse ümbritsevast õhust.

Sulamissoojus (ja kristalliseerumisel vabanev soojus) märgitakse tavaliselt tähega λ (lambda). Energiat, mis läheb m kg mingi sulamistemperatuuril oleva aine sulatamiseks või mis vabaneb m kg sulamistemperatuuril oleva vedeliku kristalliseerumisel, võib arvutada valemi

$$Q = \lambda m$$

abil.

Näide. Kui palju on tarvis energiat 6,0 kg 20-kraadise vase sulatamiseks?

Lahendus.

1. Energiahulk, mis on vajalik vasemassi soojendamiseks sulamistemperatuurini ($t_s = 1083^\circ$ C):

$$Q_1 = cm\,(t_s - t_1^\circ);$$

$$Q_1 = 380\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}} \cdot 6\ \text{kg}\ (1083^\circ - 20^\circ) = 380 \cdot 6 \cdot 1063\ \text{J} \approx$$

$$\approx 2\,420\,000\ \text{J}.$$

2. Sulamistemperatuuril oleva vasemassi sulatamiseks vajalik energiahulk

$$Q_2 = \lambda m. \quad Q_2 = 180\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 6\ \text{kg} = 1\,080\,000\ \text{J}.$$

3. Vase soojendamiseks ja sulatamiseks vajalik energiahulk

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm\,(t_s^\circ - t_1^\circ) + \lambda m;$$

$$Q = 2\,420\,000\ \text{J} + 1\,080\,000\ \text{J} = 3\,500\,000\ \text{J}.$$

§ 91. KEHADE RUUMALA MUUTUMINE SULAMISEL JA KRISTALLISEERUMISEL.

Sulamisel ja tahkestumisel muutuvad kehade ruumalad. Üldreegliks on, et kehad sulamisel paisuvad, tahkestumisel aga tõmbuvad kokku. Tahke keha molekulid on kristallidesse «tihedamalt pakitud» kui vedeliku kaootiliselt liikuvad molekulid. Seepärast on ka vedela aine ruumala suurem kui sama aine ruumala tahkes olekus. Eranditeks on siin jää, malm ja vismut.

Igapäevasest elust on kõigile hästi teada, et jää ujub vee peal. Jää erikaal on $0{,}9 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, vee oma aga $1{,}0\ \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$. Tähendab, jää ruumala on suurem kui sama

massiga vee ruumala. Kui kallata pudel ääreni vett täis, sulgeda see tihedalt korgiga ning asetada külma kätte, siis vesi jäätub, suurendab oma ruumala ning lõhub pudeli. Jää ruumala on umbes 8,3% suurem sama massiga vee ruumalast. Kivide ja kaljude pragudes jäätuv vesi lõhub neid.

Ainete sulamistemperatuur muutub olenevalt ainele avaldatava rõhu muutusest.

Enamiku ainete sulamistemperatuur tõuseb rõhu suurendamisel, s. t. nad sulavad kõrgemal temperatuuril. Jää, malmi ja vismuti sulamistemperatuur aga rõhu suurenemisel veidi langeb. Selle tulemusena «voolavad» liustikud mägedes. Jää alumised kihid asuvad ülemiste kihtide suure rõhu all ning sulavad selle tulemusena nullist madalamal temperatuuril.

§ 92. SULAMID JA NENDE KASUTAMINE TEHNIKAS.

Metallide sulamine ja tahkestumine on musta ja värvilise metallurgia aluseks. Maagist metalli saamiseks ning toodangu valmistamiseks sulametallist kasutatakse sulamis- ja tahkestumisprotsessi. Metallide sulatamist kasutatakse tehnikas laialt rakendamist leidnud *sulamite* saamiseks.

Aine sisemise struktuuri tundmine võimaldab tänapäeval saada meile vajalike omadustega sulameid. Sellisteks omadusteks võivad olla näiteks suur mehhaaniline tugevus või plastilisus, väike erikaal, kuid suur mehhaaniline tugevus, oksideerumiskindlus (roostevabad sulamid), suurendatud magnetilised omadused jne.

Kõige ulatuslikumalt levinud sulamid, nimelt teras ja malm, kujutavad endast raua ja süsiniku sulamit. Lisades terasele kroomi ja niklit saame roostevaba terase. Lisades terasele väikeses koguses kroomi, niklit, molübdeeni ja titaani, saame ülitugeva sulami, mida kasutatakse lõiketerade, puuride jt. instrumentide valmistamiseks. Nii saadakse ka kõrgeid temperatuure taluvaid sulameid (kuumuskindlaid sulameid).

Lennunduses ja teistes tehnikaharudes kasutatakse ulatuslikult alumiiniumi sulameid teiste metallidega, näiteks duralumiiniumi (94% alumiiniumi, 5% vaske, 0,5% magneesiumi, 0,5% mangaani), mille erikaal on 2 $\frac{G}{cm^3}$, tugevus aga ei jää alla parimate terasesortide tugevusele.

Toodetakse sulameid, mis soojendamisel peaaegu üldse ei paisu. Selliseks sulamiks on näiteks invar (64% rauda ja 36% niklit). On loodud suure elektrilise takistusega sulameid, näiteks nikroom, fekraal, kromeel jt.

Sulami sulamistemperatuur on tavaliselt madalam tema koostisosade sulamistemperatuurist. Nii näiteks on metallide kokkujootmiseks kasutatav jootetina (2 osa tina ja 1 osa pliid) sulamistemperatuur 180° C, kuigi tina sulamistemperatuur on 232° C ja pliil 327° C. Kõige kergemini sulava sulami (50% vismutit, 25% pliid, 12,5% kaadmiumi ja 12,5% tina) sulamistemperatuur on ainult 68° C, s. t. selline sulam sulab juba kuumas vees. Taolisi sulameid

kasutatakse mitmesugustes kaitsmetes, kahjutule-vastastes seadmetes ja mujal.

Tutvuge tööstuses kasutatavate mitmesuguste sulamite, nende omaduste ning kasutamisaladega.

Harjutus 23.

1. Tooge näiteid kristallilistest ja amorfsetest ainetest. Mille poolest erinevad nende sisemised struktuurid?
2. Millised on kristalliliste ja amorfsete ainete iseärasused sulamisel ja tahkestumisel?
3. Tutvuge tööstuses valutsehhi tööga, mitmesuguste esemete valamisega sulametallist ning metallisulatusahju töörežiimiga.
4. Millises olekus on elavhõbe temperatuuril —55° C, —39° C, 60° C?
5. Kas sulavaske visatud terasnael sulab üles või mitte?
6. Miks kasutatakse elektrivõrgu kaitsmetes pliitraati, elektrihõõglampides volframtraati, välistermomeetrites piiritust, mitte aga elavhõbedat?
7. Kui palju energiat tuleb anda sulatamiseks 5 kg 0-kraadisele jääle?
8. Kui palju energiat vabaneb 80 liitri 0-kraadise vee jäätumisel?
9. Kui palju on vaja soojust 6 kg massiga rauatüki sulatamiseks, kui algtemperatuur on 20° C?
10. Kui palju 0-kraadist lund sulatab kilogrammine messingviht, mille temperatuur on 100° C?
11. Koduses majapidamises kasutatava külmutuskapi jää tootmise seadme maht on 300 cm^3. Millise soojushulga annab seadmes olev vesi ümbritsevale keskkonnale, kui vee algtemperatuur on 20° C, jää temperatuur aga —5° C?

II. AINE ÜLEMINEK VEDELAST OLEKUST AURUKS JA VASTUPIDI.

§ 93. AURUSTUMINE JA KONDENSEERUMINE.

Igapäevase elu kogemustest teame, et vedeliku muutumine auruks toimub kogu aeg. Pärast vihma muutuvad tänavad varsti kuivaks, kuivab märg pesu, jõed muutuvad kuivaga madalaks jne.

Vedeliku üleminekut auruks saab selgitada molekulaar-kineetilise teooriaga.

Kuna vedeliku molekulide kiirused on erinevad, siis osa molekule, mille kiirus ja seega ka kineetiline energia on küllalt suur, lendavad vedelikust välja ning moodustavad auru.

Auru tekkimist vedeliku vabalt pinnalt nimetatakse aurustumiseks.

Aurustuvad kõik vedelikud. Vaatleme aurustumise seadusi.

1. Vedelik aurustub igasugusel temperatuuril, temperatuuri tõusmisel aurustumine intensiivistub.

Kõik teavad, et kuuma ilmaga kuivab pesu kiiremini kui külma ilmaga; pestud põrand kuivab soojas toas kiiremini kui külmas toas. Selle põhjuseks on asjaolu, et temperatuuri tõusmisel suureneb sellise kineetilise energiaga molekulide hulk, mis suuda-

vad ületada molekulide külgetõmmet ning lennata vedelikust välja.

2. Mida suurem on vedeliku vaba pind, seda kiiremini toimub aurustumine.

Kui kallata vett teeklaasi ja niisama palju ka põrandale, siis aurustub põrandale kallatud vesi kiiremini, sest mida suurem on vedeliku vaba pind, seda suurem arv molekule saab vedelikust välja lennata.

3. Tuule käes aurustub vedelik kiiremini.

Osa molekule jätkab pärast vedelikust väljalendamist kaootilist liikumist vedeliku pinna läheduses ning mõned neist võivad sattuda vedelikku tagasi. See aeglustab aurustumisprotsessi. Tuul kannab aga kõik vedelikust väljalennanud molekulid vedeliku pinnalt eemale ning sellega kiirendab aurustumist. Näiteks metsas, kus tuult on vähem, seisab pinnas kaua niiske. Seepärast kasutatakse metsavööndeid pinnase niiskuse hoidmiseks.

4. Ühtede ja samade tingimuste juures aurustuvad erinevad vedelikud erinevalt.

Tilgutame klaasile (erinevatesse kohtadesse) vett, piiritust, eetrit ja petrooleumi. Kõigepealt aurustub eeter, siis piiritus, seejärel vesi ja alles tükk aega hiljem ka petrooleum. Sellise erinevuse põhjuseks on asjaolu, et erinevate vedelike molekulaarjõud on erineva suurusega. Mida suuremad on molekulaarjõud, seda raskem on molekulidel neid ületada, seda suurem peab olema molekulide kineetiline energia.

5. Aurustumise protsessis vedeliku temperatuur langeb.

Kui näiteks niisutada käsi eetri või piiritusega, siis hakkab kätel jahe. Kui mähkida termomeetri kuulikese ümber piirituse või eetriga niisutatud marli- või vatitükk, siis väheneb termomeetri näit esialgsega võrreldes mitme kraadi võrra. Kui seejuures puhuda kuulikesele, siis võib termomeetri kuulikese temperatuuri viia allapoole 0°. Sel juhul kattub marli või vatt härmatisega.

Vedeliku temperatuuri langemist aurustumise käigus saab seletada järgmiselt. Aurustumisel lahkuvad vedelikust kiiresti liikuvad molekulid, mis omavad suuremat kineetilist energiat. Vedelikku jäävad väiksema kineetilise energiaga molekulid. Seega vedeliku üldine siseenergia väheneb, mis avaldubki temperatuuri languses.

6. Aurustuvad mitte ainult vedelikud, vaid ka tahked kehad.

Pesu kuivab ka külmaga. Seejuures aurustub jää. Naftaliin, mida kasutatakse riiete kaitsmiseks koide vastu, aurustub aja jooksul samuti. Kui kuumutada kolbi, milles asuvad mõned joodi kristallid, siis täitub see violetse auruga. See on joodi aur. Tahkete kehade aurustumist nimetatakse *sublimatsiooniks.*

Kõrvuti aurustumisega eksisteerib looduses ka vastupidine protsess — auru muutumine vedelikuks. *Aine üleminekut gaasitaolisest olekust vedelasse olekusse nimetatakse kondenseerumiseks ehk veeldumiseks.*

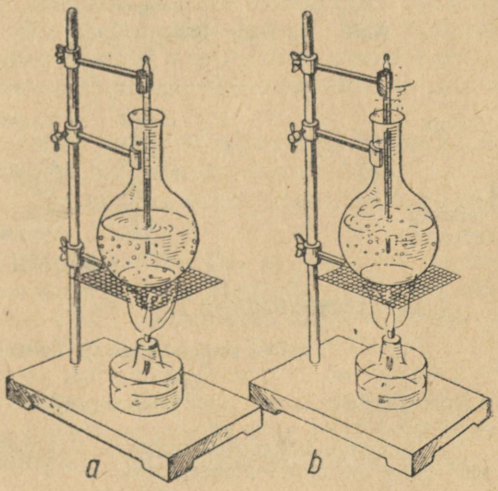
Kaste tekkimine jahedatel õhtutel pole midagi muud kui õhus oleva veeauru kondenseerumine. Ka vihm tekib suures kõrguses toimuva veeauru kondenseerumise tulemusena.

Molekulid lendavad vedelikust välja pidevalt. Samal ajal aga osa juba väljalennanud molekule pöördub vedelikku tagasi. *Kui vedelikust lendab välja rohkem molekule, kui neid tagasi tuleb, siis vedelik aurustub. Kui aga vedelikku pöördub tagasi rohkem molekule, kui neid välja lendab, siis toimub auru kondenseerumine. Kui vedelikust väljalendavate molekulide arv on võrdne vedelikku tagasipöörduvate molekulide arvuga, siis on vedelik ja aur liikuvas tasakaalus.*

§ 94. KEEMINE.

Auru moodustumise teiseks protsessiks on keemine. Valame kolbi külma vett ning hakkame kolbi kuumutama (joon. 147, *a*). Alguses tekivad kolvi põhjale ja seintele vees lahustunud õhuosakestest mullikesed. Soojenemisel need mullikesed suurenevad ning tõusevad ülespoole (miks?). Vee temperatuuri tõusmisel 100° C-ni (normaalrõhu juures) suureneb mullikeste ruumala järsult, sest neisse toimub vee aurustumine. Mullikesed tõusevad pinnale ja lõhkevad, pannes veepinna lainetama. Vesi keeb (joon. 147, *b*).

Keemiseks nimetatakse sellist aurustumisprotsessi, mis toimub mitte ainult vedeliku vabalt pinnalt, vaid ka vedeliku sees.



Joon. 147. Vee keemine.

Vedeliku temperatuur keemisel on muutumatu. Keemise ajal vedelikule antav energia läheb vedeliku molekulide vahel mõjuvate jõudude ületamiseks.

Kui paigutada termomeetri reservuaar veepinna kohal olevasse auru, siis selgub, et ka auru temperatuur on 100° C. Keeva vee ja seejuures tekkiva auru temperatuuride võrdsus viitab sellele, et molekulide kineetiline energia keemisel ei muutu. *Siseenergia aga aurustumise protsessis suureneb,* sest suureneb molekulide potentsiaalne energia.

Olenevalt molekulaarjõudude suurusest *keevad erinevad vedelikud erinevatel temperatuuridel.*

Paigutame sooja veega täidetud klaasi katseklaasid mitmesuguste vedelikega — eetri, piirituse, glütseriiniga — ning soojendame klaasi koos veega piirituslambil. Kõigepealt hakkab keema eeter, siis piiritus, glütseriin aga ei kee isegi 100° C juures.

Temperatuuri, mille juures normaalrõhu korral keeb mingi vedelik, nimetatakse selle vedeliku keemistemperatuuriks (ka keemispunktiks, keemistäpiks).

Vedelike keemistemperatuuride erinevust kasutatakse nende eraldamiseks destilleerimise teel. Nafta kujutab endast ainete segu. Nafta soojendamisel hakkavad tema koostisosad üksteise järel keema. Keeva aine aurud juhitakse jahutajasse, veeldatakse ning juhitakse vastavasse reservuaari, kus viiakse läbi veelkordne puhastus. Sellise destilleerimise tulemusena saadakse naftast eetrit, bensiini, ligroiini, petrooleumi, kergeid solaarõlisid ning masuuti.

Ained, mis harilikult on gaasilised (vesinik, hapnik jt.), kujutavad endast madalatel temperatuuridel keevate vedelike aure.

Mõnede vedelike keemistemperatuurid normaalrõhul

Aine	Keemistemperatuur °C	Aine	Keemistemperatuur °C
Vesinik	—253	Elavhõbe	357
Hapnik	—183	Plii	1755
Eeter	35	Alumiinium	2270
Piiritus	78	Vask	2360
Naftaliin	218	Raud	2840
Glütseriin	290	Volfram	5900

§ 95. LABORATOORNE TÖÖ NR. 8.

Vee soojendamise ja keemise vaatlemine.

Tööriistad: kolb, termomeeter, statiiv, vesi, piirituslamp.

Töö käik.

1. Koostage katseseade vastavalt joonisele 147. Valage kolbi ligikaudu 100—150 g vett ning soojendage seda.

2. Jälgige mullikeste tekkimist kolvi põhjal ja seintel. Mida need mullikesed sisaldavad?

3. Pärast seda, kui temperatuur on tõusnud 50—60° C-ni, hakake temperatuuri iga minuti tagant üles kirjutama. Laske veel keeda ning märkige temperatuuri 4—5 minuti jooksul. Pärast seda lõpetage kolvi soojendamine.

4. Pöörake tähelepanu mullikeste suurusele keemise ajal.

5. Milline on vee keemistemperatuur? Tehke baromeetri abil kindlaks õhurõhu suurus ning kirjutage see üles.

6. Katseandmete alusel joonestage graafik. Vertikaalteljele märkige temperatuur, horisontaalteljele aeg.

7. Selgitage, milleks kulus piirituse põlemisel vabanev energia vee soojendamisel ja keemisel.

§ 96. KEEMISTEMPERATUURI SÕLTUVUS RÕHUST.

1. Keemine õhurõhust madalama rõhu juures. Vedelike keemistemperatuuride vaatlemisel selgus, et need temperatuurid muutuvad õhurõhu muutumisel. Kõrgetel mägedel, kus õhurõhk on tunduvalt väiksem kui mägede jalamil, langeb vee keemistemperatuur tunduvalt. Nii näiteks keeb vesi 5,6 km kõrguse Elbruse tipul 82° C juures.

Keedame vett kerakujulises kolvis. Kui lõpetame soojendamise, lakkab kohe ka keemine. Suleme nüüd kolvi kummikorgiga, millest on läbi pandud klaastoru. Toru on ühendatud kummivooliku abil õhupumbaga (joon. 148). Kui õhu väljapumpamisega vähendada rõhku veepinna kohal, siis hakkab vesi uuesti keema, kuigi vee temperatuur on tunduvalt madalam kui 100° C. Kasutades pumpa, mille abil võib saada suuri hõrendusi, võib vee keema panna 0° C juures. Sellise keemise juures muutub vesi jääks.

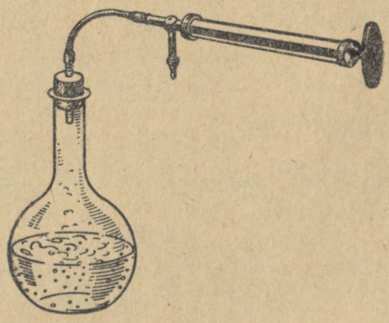
Võtame soojendajalt kerakujulise kolvi keeva veega, suleme selle kiiresti korgiga ning asetame siis statiivirõngale, põhjaga ülespoole. Katame kolvi põhja lumega. Jahtuv aur kondenseerub, rõhk veepinnale väheneb ning vesi hakkab uuesti keema. Kolvi põhja lumega jahutades võib panna vee keema küllalt madalal temperatuuril (joon. 149).

Vedeliku keemistemperatuuri langemist rõhu vähenedes kasutatakse paljudes tööstusharudes. Nii näiteks aurutatakse suhkrutööstuses suhkrut lahusest välja madala rõhu juures. Sellega hoitakse ära suhkru kõrbemine.

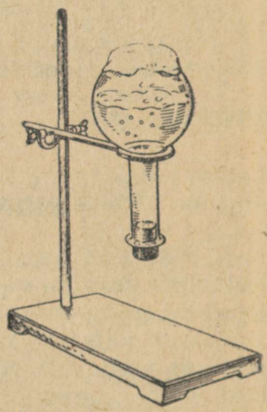
2. Keemine õhurõhust kõrgema rõhu juures. Rõhu suurendamisel vedelike keemistemperatuur tõuseb. Keevale vedelikule mõjuva rõhu suurendamiseks võib neid kuumutada tugevate seintega kinnistes anumates (kateldes). Miks rõhk sel juhul kasvab?

Aurukatlaid, milles asuva auru temperatuur on 115—135° (autoklaave), kasutatakse meditsiiniasutustes ulatuslikult instrumentide ja sidumismaterjali steriliseerimiseks ning riiete, pesu jms. desinfitseerimiseks. Sellise temperatuuri juures mikroobid hävivad.

Tehnikas kasutatakse autoklaave stearriini, glükoosi jne. tootmiseks. Kõige ulatuslikumalt kasutatakse aga tehnikas selliseid võimsaid katlaid, mis toodavad kõrge rõhu ja temperatuuriga auru. Seda auru kasutatakse auruturbiinides.



Joon. 148. Kui kolvist õhku välja pumbata, siis keeb vesi 100° C madalamal temperatuuril.



Joon. 149. Lume abil võib vee keema panna.

Harjutus 24.

1. Milles seisneb põhiline erinevus aurustumise ja keemise vahel?
2. Miks on lahtises anumas oleva vee temperatuur alati madalam kui ümbritseva õhu temperatuur?
3. Miks võib märgades riietes või jalatsites kergesti külmetuda?
4. Toored puud visisevad põledes. Selgitage seda nähtust.
5. Miks sooja tuppa toodud külmad esemed «higistavad»?
6. Kas keevas naftaliinis saab keeta vett? eetrit? sulatsinki? elavhõbedat?
7. Tbilisis keeb vesi 98,5° C juures. Miks?
8. Mida tuleb teha, et vesi keeks 50° juures? 250° juures?

§ 97. AURUSTUMISSOOJUS.

Vedeliku aurustumisel toimuva siseenergia muutumise arvutamiseks tuleb teada vedeliku *aurustumissoojust.*

Aurustumissoojus näitab, kui palju suureneb 1 kg aine siseenergia üleminekul vedelast olekust gaasilisse konstantse temperatuuri juures.

Aurustumissoojust märgitakse tavaliselt tähega r ning mõõtühikuteks on: $\frac{J}{kg}$, $\frac{kcal}{kg}$ või $\frac{cal}{g}$.

Mõne aine aurustumissoojus keemistemperatuuril ja normaalrõhul

Aine	Aurustumissoojus		
	$\frac{J}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$ või	$\frac{cal}{g}$
Vesi	2 300 000	540	
Etüülpiiritus	850 000	204	
Eeter	350 000	84	
Tärpentin	294 000	70	
Elavhõbe	290 000	69	

Energiahulka, mis läheb vaja m kg vedeliku aurustamiseks konstantse temperatuuri juures, arvutatakse valemi

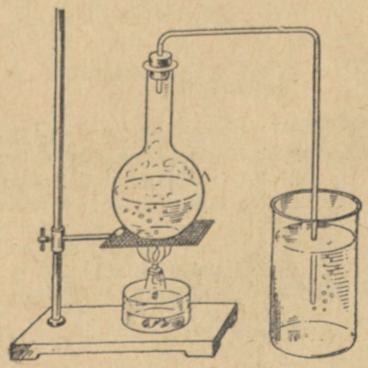
$$Q = rm$$

abil. Selle suuruse võrra kasvab auru siseenergia (keemistemperatuuril) vedeliku siseenergiaga võrreldes. Järelikult on 1 kg veeaurul 100° C juures 540 kcal rohkem siseenergiat kui 1 kg veel samal temperatuuril.

Kondenseerumisel vabaneb niisama suur energiahulk kui kulus auru moodustamiseks. Nii näiteks aur, mis läheb toru kaudu külma vette (joon. 150), kondenseerub ning soojendab vett. Teades külma vee massi enne ja pärast katset (vee mass suureneb kondenseerumisel tekkiva vee arvel) ning selle vee alg- ja lõpptemperatuuri, võib arvutada energia, mille annab 1 kg auru kondenseerumisel ning selle tulemusena tekkinud vesi jahtumisel lõpptemperatuurini.

Katse näitab, et auru kondenseerumissoojus on võrdne aurustumissoojusega.

Auru kondenseerumisel vabanevat energiat kasutatakse ulatuslikult majade kütmiseks ning teisteks elukondlikeks vajadusteks.



Joon. 150. Auru kondenseerumine külmas vees.

Aurustamissoojus oleneb temperatuurist, mille juures vedelik keeb. Mida kõrgem on vedeliku keemistemperatuur, seda nõrgemini on vedeliku molekulid üksteisega seotud ning seda vähem energiat on tarvis vedeliku auruks muutmiseks.

Vedeliku keemistemperatuuri kasvades aurustumissoojus väheneb.

Vee aurustumissoojuse sõltuvus keemistemperatuurist.

Temperatuur °C	0	50	100	150	200	250	300	350	374
Aurustumissoojus $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ või $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$	595	568	539	506	468	408	330	210	0

Temperatuuril 374° C muutub vesi auruks ilma täiendava energia kuluta.

Näide. 2 tunni jooksul kondenseerus aurukütte radiaatoris 4 kg 100°-st auru. Radiaatorist väljuva vee temperatuur oli 80° C. Millise energiahulga sai ruum igas tunnis?

Lahendus.

1. Energiahulk, mille eraldab aur kondenseerumisel:

$$Q_1 = rm; \quad Q_1 = 540 \ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 4 \text{ kg} = 2160 \text{ kcal}.$$

2. Energiahulk, mille eraldab kondenseerumisel tekkinud vesi jahtumisel 100 kraadist 80 kraadini:

$$Q_2 = cm(t_2 - t_1); \quad Q_2 = 1 \ \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}} \cdot 4 \text{ kg} \cdot 20° = 80 \text{ kcal}.$$

3. Kogu energiahulk, mille ruum sai kahe tunniga:

$$Q = Q_1 + Q_2; \quad Q = 2160 \text{ kcal} + 80 \text{ kcal} = 2240 \text{ kcal}.$$

4. Energiahulk, mille ruum sai igas tunnis:

$$2240 \text{ kcal} : 2 = 1120 \text{ kcal}.$$

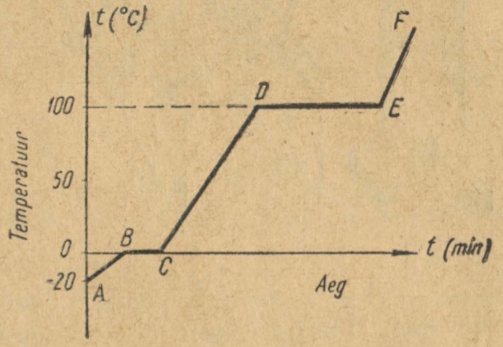
Harjutus 25.

1. Miks põletab 100-kraadine aur tugevamini kui sama temperatuuriga vesi?
2. Kas saab normaalrõhu juures keeta vett 100-kraadise auruga?
3. Kui palju muutub 2,5 kg 100-kraadise veeauru siseenergia kondenseerumisel ning sellele järgneval jahtumisel kuni temperatuurini 20° C? Vastus andke džaulides ja kalorites.
4. Kui palju on vaja soojust 100 g 100-kraadise vee täielikuks aurustamiseks?
5. Kui palju muutub 500 g 20-kraadise eetri siseenergia tema soojendamisel keemistemperatuurini ja sellele järgneval täielikul auruks muutumisel ($c = 0{,}56 \ \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$)?

6. Kui palju läheb vaja soojust 100 g —10-kraadise jää auruks muutmiseks temperatuuril 100° C?

7. Kui palju 20-kraadist vett saab muuta külmutuskapis jääks, kui aurustub 100 g ammoniaaki? Külmutuskapi kasutegur on 50%. Ammoniaagi aurustumissoojuseks võtta 300 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.

8. Joonisel 151 on toodud temperatuuri muutumise graafik jää, vee ja auru soojendamisel. Millistele protsessidele vastavad graafikul lõigud *AB, BC, CD, DE* ja *EF*? Millises olekus on vesi nende protsesside ajal? Kuidas muutub jää, vee ja auru siseenergia?



Joon. 151. Harjutus 25 ülesande 8 juurde.

9. Arvutage energiakulu protsessidele, mis on joonisel 151 kujutatud lõikudega *AB, BC, CD* ja *DE*. Jää massiks võtta 1 kg.

10. Laevadel saadakse magedat vett merevee keetmisel tekkivate aurude kondenseerimise teel. Kui suur on magestaja võimsus, kui ta annab tunnis 120 kg magedat 20-kraadist vett?

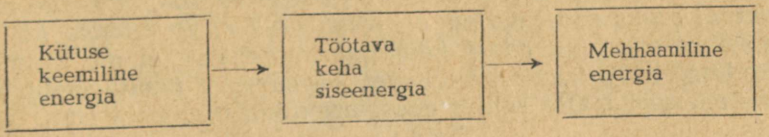
XII PEATÜKK.

SOOJUSMASINAD.

§ 98. SOOJUSMASINATE TÖÖKS VAJALIKUD TINGIMUSED.

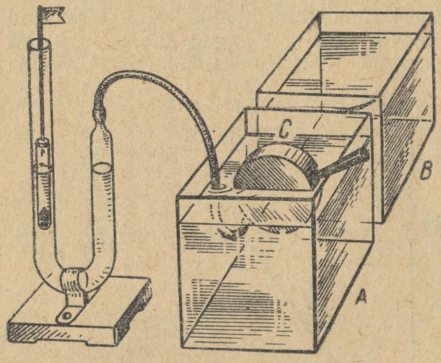
Kaasaegses tehnikas muundatakse siseenergia mehhaaniliseks (vt. § 78) mitmesuguste soojusmasinate (aurumasin, sisepõlemismootor, reaktiivmootor) abil. Need masinad töötavad tugevasti kokkusurutud ning kõrge temperatuuriga veeauru või gaaside siseenergia arvel. Soojusmasinas tööd tegevat keha (auru või gaasi) nimetatakse *töötavaks kehaks.*

Töötava keha siseenergiat suurendatakse tema kuumutamise teel. Selleks põletatakse kütust. Energia muundumist soojusmasinate töötamise protsessis võib graafiliselt kujutada järgmiselt:



Kütuse keemiline energia muundatakse mehhaaniliseks energiaks soojusseadmetes, mille üheks osaks on soojusmasin.

Vaatleme katseliselt soojusseadme tööd (joon. 152).



Joon. 152. Soojusseadme mudel.

Pika, U-kujulise toru üks ots ühendatakse kummivooliku abil silindrilise karbiga *c*. Torusse on valatud vett, toru lahtisesse otsa on paigutatud ujuk (vastava koormusega katseklaas, mis on suletud korgiga). Ujuki jälgimise hõlbustamiseks on korki pistetud traatvarras, mille otsas asub väike lipuke. *A* ja *B* on veeanumad. Anumas *B* on soe (50 — 60°) vesi, anumas *A* aga külm. Katse algul on veenivood U-torus ühesugusel kõrgusel.

Asetame karbi *c* sooja vee anumasse. Karbis olev õhk soojeneb, tema siseenergia kasvab. Veenivoo U-toru vasakus harus (joonisel) tõuseb. Seda näitab ujuki tõus. U-torus oleva vee ja ujuki tõusmine lõpeb, kui õhu temperatuur karbis saab võrdseks vee temperatuuriga anumas.

Meie soojusseadmes on soojendajaks anum sooja veega, töötavaks kehaks aga õhk karbis *c*. Kehaks, mille juures tehakse mehhaanilist tööd, on U-torus olev ujuk.

Selleks et soojusseade töötaks pidevalt, tuleb jahutada õhku karbis *c*. Selleks asetame karbi külma vee anumasse (jahutajasse). Ujuk langeb ja veenivoo mõlemas U-toru harus on nüüd jällegi ühel ja samal kõrgusel. Üks osa töötava keha siseenergiast antakse selle protsessi vältel jahutajale. Asetades karbi *c* kord sooja, kord külma vee anumasse, saame seadme panna tööle pidevalt.

Soojusseadme pidevaks tööks on seega vajalik, et seade mitte ainult ei saaks soojendajalt energiat, vaid et ta annaks ka ühe osa sellest energiast edasi jahutajale. Järelikult ei ole võimalik mitte kogu soojusmasinale antavat siseenergiat muuta mehhaaniliseks energiaks. Osa sellest energiast tuleb tingimata edasi anda

jahutajale. Seepärast on soojusseadme üheks tähtsamaks iseloomustajaks kasutegur.

Soojusjõumasina kasutegur näitab, milline osa kütuse põlemisel saadavast energiast muutub masina tööks. Nii näiteks on auruveduri kasutegur umbes 8%. See tähendab, et ainult 8% kütuse energiast kasutatakse auruveduris rongi vedamisel tehtavaks mehhaaniliseks tööks.

Soojusseadme kasuteguri määramiseks tuleb teada, kui palju energiat saadakse kütuse põlemisel (§ 84) ning milline hulk mehhaanilist energiat läheb masina kasulikuks tööks.

Märgime kütuse põlemisel saadud energia tähega Q_2, masina poolt kasuliku töö tegemiseks kulutatud mehhaanilise energia aga tähega Q_1. Siis

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\%.$$

Mida suurem osa töötava keha siseenergiast muudetakse jõumasina mehhaaniliseks energiaks, seda suurem on masina poolt tehtav kasulik töö.

Kogu soojusmasinate arengu ajalugu on tegelikult kasuteguri tõstmise eest peetud võitluse ajalugu. Esimeste soojusmasinate kasutegurid olid võrdsed protsendi sajandikega. Kaasajal ulatuvad parimate soojusmasinate kasutegurid 40%-ni. Nii on aurumasina kasutegur 8—12%, auruturbiinil 25—40%, auto sisepõlemismootoril umbes 25%, diiselmootoril umbes 40% ja lennuki reaktiivmootoril umbes 20%.

Teooria ja soojusmasina ekspluateerimise kogemuste alusel tehti kindlaks, et **soojusmasina kasutegur on seda suurem, mida kõrgem on soojendaja temperatuur ja mida madalam jahutaja temperatuur.**

Seepärast püütakse tehnikas soojendada töötavat keha võimalikult kõrge temperatuurini. Kui esimesed aurumasinad XVIII sajandil töötasid auruga, mille temperatuur oli 100° C ja rõhk 1 at, siis tänapäeval kasutatakse auru algtemperatuuriga kuni 600° C ja rõhuga kuni 220 at. Juba lähemas tulevikus hakatakse rakendama auru temperatuuriga 650° C ja rõhuga 300 at. Auru või gaasi lõpptemperatuuri alandamiseks koostatakse spetsiaalsed jahutusseadmed.

Konstruktsiooni ning töötava keha energia mehhaaniliseks energiaks muundamise printsiibi järgi jagatakse soojusmasinad kolme rühma, nimelt:

kolbmasinad (aurumasin, sisepõlemismootor), kus kokkusurutud auru või gaasi potentsiaalne energia muundatakse kolvi edasitagasi liikumise energiaks;

turbiinid (auruturbiin ja gaasiturbiin), kus auru- või gaasijoa kineetiline energia kindlustab turbiini tööratta pöörlemise;

reaktiivmootorid, kus väljavoolava gaasijoa kineetiline energia tagab mootori korpuse kulgeva liikumise.

Kujutame soojusmasinate klassifikatsiooni tabelina.

Soojusmasinad.

Kasutatakse töötava keha potentsiaalset energiat	Kasutatakse töötava keha kineetilist energiat	
kolbmasinad: aurumasin, sisepõlemismootor	turbiinid: auruturbiin gaasiturbiin	reaktiivmootorid: kõik tüübid

Tutvume mitmesuguste soojusmasinate ehituse, töötamise ja kasutamisega.

I. KOLBMASINAD.

§ 99. AURUMASIN.

Esimeseks soojusjõumasinaks oli aurumasin, mille leiutamisega avati nn. «aurusajand».

Pidevalt töötava aurumasina ehitas vene soojustehnik-leidur Ivan Polzunov (1727—1766) ja temast 15 aastat hiljem inglane James Watt (1736—1819).

Esimesed aurumasinad kujutasid endast statsionaarseid jõuallikaid mitmesugustele tehastele. XIX saj. alguses hakati aurumasinat kasutama ka transpordis. 1807. a. ehitas ameeriklane Fulton esimese auriku «Clermont», George Stephenson aga 1814. a. esimese auruveduri «Raceta» (Inglismaal). 1834. a. ehitasid Nižni Tagili tehastes isa ja poeg Tšerepanovid auruveduri Venemaa esimese raudtee jaoks.

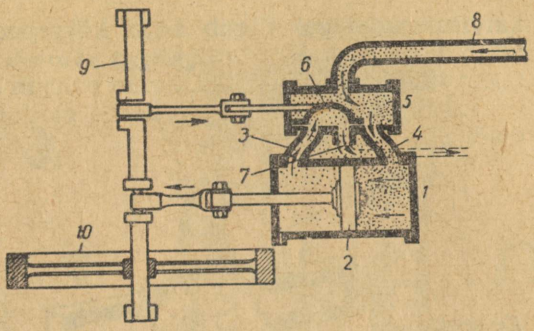
Et muundada auru siseenergia kolvi mehhaaniliseks energiaks, peab aurujõuseadmes olema küttekolle, aurukatel, aurutorustik, aurumasin ja jahutaja.

Küttekoldes põletatakse kütust, seejuures vabanevat energiat kasutatakse kõrgrõhuauru saamiseks. Aurukatlast juhitakse aur torustikku mööda aurumasinasse.

Aurumasina põhiliseks osaks on töösilinder *1* (joon. 153), milles liigub kolb *2*. Selleks et kindlustada masina pidev töö, lastakse auru torude *3* ja *4* kaudu kord ühele, kord teisele poole kolbi.

Aurujaotaja koosneb aurusiibrist *6*, mis liigub siibrikarbis *5*. Aurusiibri liikumine on kolvi liikumisega selliselt kooskõlastatud, et see tagab auru automaatse jaotamise. Aur tuleb siibrikarpi mööda aurutoru *8*. Töötanud aur läheb masinast välja mööda kanalit *7*. Kolvi *2* edasi-tagasi liikumine muudetakse väntmehhanismi vahendusel võlli *9* ja hooratta *10* pöörlemiseks.

Aurumasinate kasutegur on madal, kogu soojusseade koos kat-



Joon. 153. Aurumasina silinder ja siibrikarp.

laga aga väga kogukas. Katla soojendamiseks vajaliku temperatuurini kulub mitu tundi. Masina seisakute ajal tuleb hoida katelt ettenähtud rõhu all ning kulutada selleks kütust. Seepärast tänapäeval enam aurumasinaid transpordi jaoks ei toodeta. Kasutamist leiavad veel ainult lokomobiilid ning auruhaamreid käitavad aurumasinad. Kõigil teistel kasutamisaladel on aurumasin asendatud kaasaegsemate soojusmasinatega.

§ 100. SISEPÕLEMISMOOTOR.

Sisepõlemismootorites põletatakse kütust (bensiini, petrooleumi või nafta segu õhuga) silindris, s. o. masina enda sees (siit ka masina nimetus). Mõnikord kasutatakse kütusena ka balloonides suure rõhu all hoitavat või siis puidust kuivdestilleerimisel saadavat küttegaasi (gaasigeneraatormootorites).

Sisepõlemismootorid jagatakse karburaatormootoriteks ja diiselmootoriteks.

Karburaatormootorites moodustatakse küttesegu spetsiaalses seadmes, nn. *karburaatoris.* Siit satub küttesegu mootori silindrisse, kus see süüdatakse elektrisädemega.

Joonisel 154 on kujutatud autodel kasutatava neljataktilise karburaatormootori skeem.

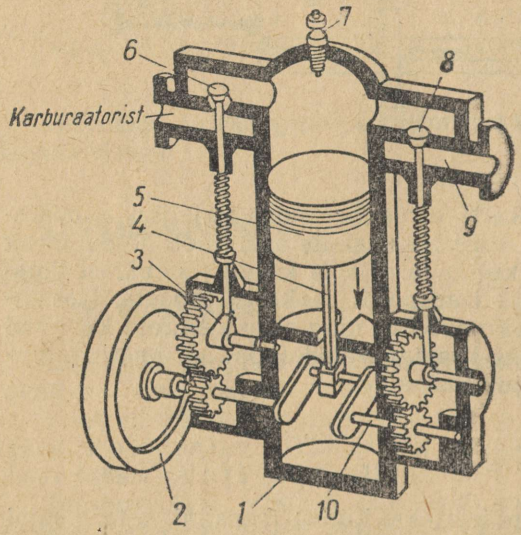
Mootori töötav osa koosneb silindrist *1*, milles liigub kolb *5*. Kolb on kepsu *4* abil ühendatud väntvõlliga *10*. Võllile on kinnitatud hooratas *2*. Silindri ülaosas (peas) asuvad klappidega suletud kanalid. Sisselaskekanali ja klapi *6* kaudu pääseb küttesegu karburaatorist silindrisse, väljalaskekanali *9* ja klapi *8* kaudu väljuvad aga töötanud gaasid.

Mootori töötsükkel koosneb neljast üksteisele järgnevast kolvikäigust ehk taktist.

Esimene takt — sisseimemine ehk sisselask (joon. 154 a, *1*). Mootori võlli esimesel pöördel (mis tehakse käsitsi või spetsiaalse

käivitusseadmega) liigub kolb kõigepealt alla ning kolvi peal tekib hõrendus. Sisselaskeklapp avaneb ning karburaatorist imetakse silindrisse õhus pihustunud bensiin — küttesegu.

Takti lõpuks jõuab kolb kõige madalamasse võimalikku asendisse, sisselaskeklapp sulgub.

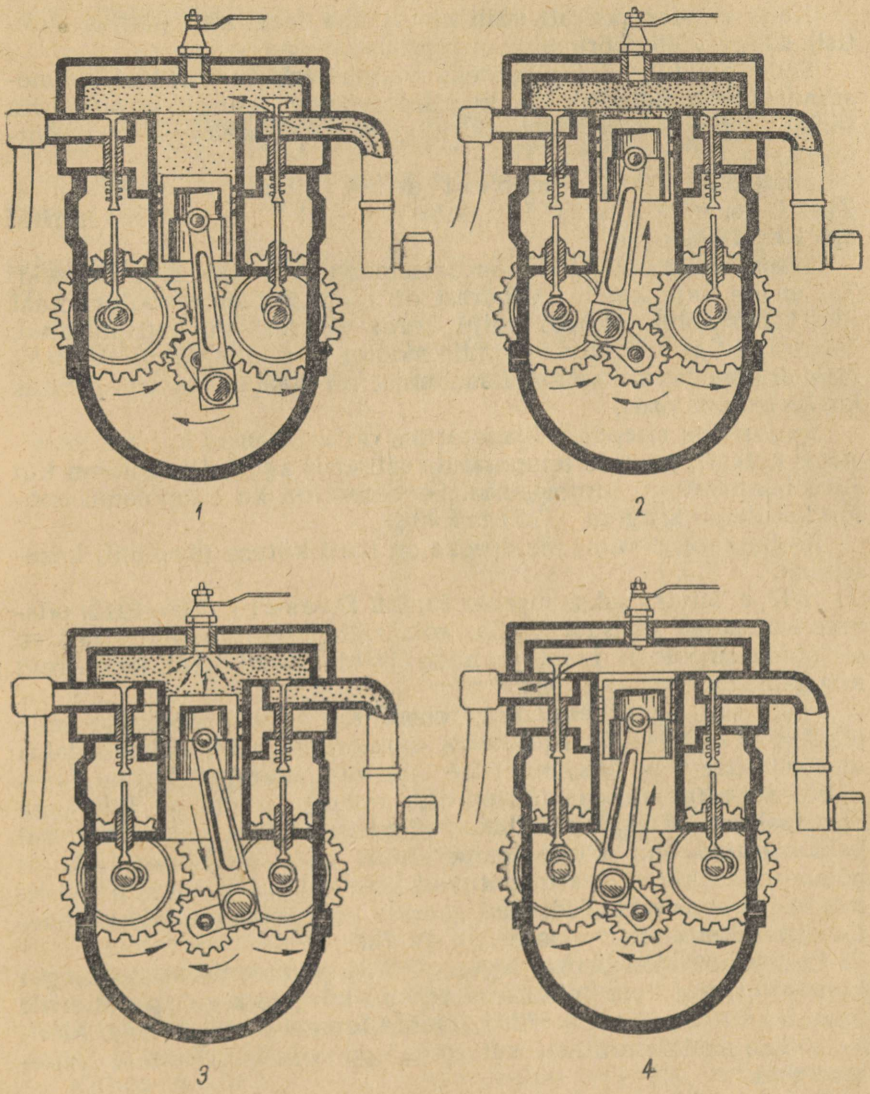


Joon. 154. Sisepõlemismootori ehitus.

Teine takt — komprimeerimine ehk kokkusurumine (joon. 154 a, 2). Välise jõu mõjul liigub kolb üles ning surub küttesegu kokku, kusjuures mõlemad klapid on kinni. Momendil, mil kolb jõuab kõige kõrgemasse ülemisse asendisse, süüdatakse küttesegu süüteküünlaga tekitatava elektrisädeme abil. Lühikese ajaga tõuseb põlemisel tekkiva gaasi temperatuur 1600—1800° C-ni ja rõhk silindris kasvab järsult.

Kolmas takt — töötakt (joon. 154 a, 3). Küttesegu põlemisel tekkinud gaasid rõhuvad kolvile ning suruvad selle alla. Kolvi liikumine antakse kepsu abil edasi väntvõllile. Viimasega koos hakkab pöörlema hooratas, mis kindlustab kolvi liikumise esimese, teise ja neljanda takti ajal. Mootori töötakt toimub gaaside siseenergia arvel. Gaaside rõhk ja temperatuur on takti lõpuks tunduvalt langenud.

Neljas takt — väljalask (joon. 154 a, 4). Kolb hakkab äärmisest alumisest asendist liikuma üles. Avaneb väljalaskeklapp ning töötanud gaasid tõugatakse silindrist välja. Neljanda takti lõpuks jõuab kolb äärmisse ülemisse asendisse. Väljalaskeklapp sulgub, avaneb sisselaskeklapp ning tsükkel algab uuesti.



Joon. 154 *a*. Neljataktilise sisepõlemismootori töötamise skeem.

Mootori käivitamisel tehakse esimene ja teine takt välise jõu, kas vända või starteri abil. Viimane kujutab endast spetsiaalset elektrimootorit. Kolmandast taktist alates hakkab mootor töötama.

Kuna mootor pöörab võlli ainult ühe takti ajal (neljast taktist), siis on võlli pöörlemine ebaühtlane, tõugetega.

Selle puuduse ärahoidmiseks valmistatakse mootorid *mitmesilindrilistena*. Silindrite töö koordineeritakse selliselt, et silindrite töötaktid järgneksid üksteisele ning väntvõll saaks energiat ühtlasemalt.

Sõiduauto «Volga» mootoril on 4 silindrit, «Tšaikal» 8, Zil-150-l 6, mootorlaeva «Ukraina» mootoril 12, lennukimootoritel aga kuni 18 silindrit.

Sisepõlemismootoril on aurumasinaga võrreldes rida eeliseid. Tal ei ole vaja katelt. Seepärast on ka sisepõlemismootori kaal ühe võimsusühiku kohta palju kordi väiksem kui aurumasinal. Väiksem on samuti pindala, mille mootor enda alla võtab. See võimaldab sisepõlemismootori kasutamist nii maapealses transpordis kui ka lennunduses.

Soojuskaod sisepõlemismootorites on väiksemad kui aurumasinates (miks?), gaaside temperatuur silindris aga palju kõrgem kui auru temperatuur aurumasinas. Seepärast on ka sisepõlemismootori kasutegur kõrgem — 25 kuni 40%.

Karburaatormootori puuduseks on kalli kütuse (bensiini) kasutamine.

1897. a. leiutas saksa insener Rudolf Diesel (1858—1913) odavate kütustega (masuut, nafta, solaarõlid, petrooleum) töötava sisepõlemismootori. Leiutaja nime järgi hakati neid mootoreid nimetama diiselmootoriteks.

Neljataktiline *diiselmootor* erineb karburaatormootorist selle poolest, et õhk ja kütus juhitakse mootorisse eraldi. Esimese takti ajal imetakse sisse õhk, mis teise takti ajal tugevasti kokku surutakse. Selle tulemusena tõuseb õhu temperatuur 500—600° C-ni. Spetsiaalsest pihustist pritsitakse silindrisse kütus, mis süttib seal kokkusurutud õhu kõrge temperatuuri tõttu iseenesest. Kütuse põlemisel tekkivad gaasid suruvad kolvi alla. Nii toimub diiselmootori kolmas takt. Töötanud gaaside väljalaskmine toimub analoogiliselt karburaatormootoriga.

Diiselmootor on karburaatormootorist ökonoomsem (kasutegur kuni 40%), sest tänu kokkusurutud õhu kõrgele algtemperatuurile toimub kütuse põlemine siin kõrgema temperatuuri juures. Mootor töötab madalasordiliste kütustega ega vaja spetsiaalseid süüteseadmeid.

Diiselmootoreid kasutatakse statsionaarsetes seadmetes (näiteks väikese võimsusega elektrijaamades), laevadel, allveelaevadel, diiselveduritel, traktoritel, suure võimsusega autodel ja mujal.

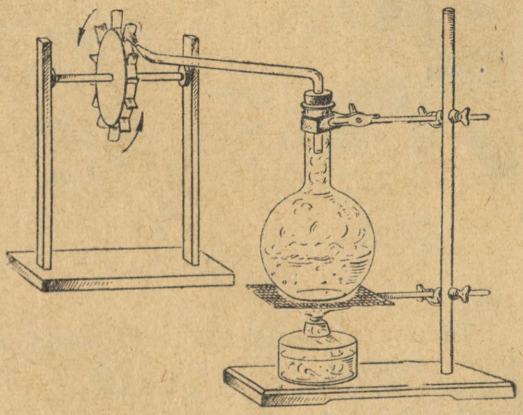
II. TURBIINID.

§ 101. AURUTURBIIN.

Kolbmootorites muudetakse kolvi edasi-tagasi liikumine võlli pöörlevaks liikumiseks spetsiaalse ülekandemehhanismi (väntmehhanismi) abil. See muudab masina keeruliseks, vähendab liikumise kiirust ning põhjustab asjatuid energiakadusid.

Nõudmine kiirekäiguliste mootorite järele põhjustas turbiini[1] tüüpi soojusmasina loomise. Sellises soojusmasinas pannakse töötav osa pöörlema vahetult aurujoa mõjul.

Kaasaja tehnikas on turbiinid (mitmesugust tüüpi vee-, aruja gaasiturbiinid) leidnud ulatuslikku rakendamist. *Auruturbiini* tööprintsiipi võib selgitada lihtsa mudeli (joon. 155) abil.



Joon. 155. Katse, mis selgitab auruturbiini töötamispõhimõtet.

Keedame vett kolvis, mis on korgiga tihedalt suletud. Korgist on läbi pandud peeneks tõmmatud otsaga klaastoru. Torust väljuva aurujoa juhime metallratta labidakestele. Viimased asuvad ketta tasapinnaga mingi nurga all. Labidakestele voolav aurujuga paneb ratta pöörlema.

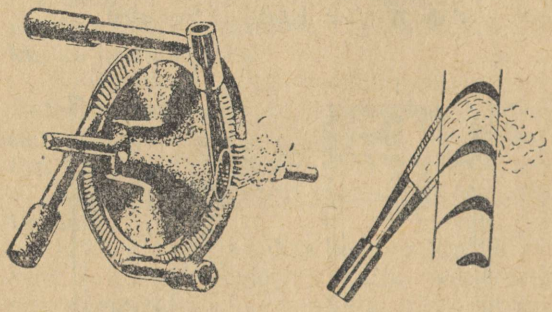
Kolvis toodetava auru potentsiaalne energia muundatakse aurujoa kineetiliseks energiaks ning siis ketta pöörlemise energiaks.

Joonisel 156 on kujutatud lihtne auruturbiin. Aur juhitakse aurutoru kaudu katlast spetsiaalsetesse torudesse, nn. düüsidesse. Düüsides aur paisub ning väljub neist suure kiirusega, seega ka

[1] Ladinakeelsest sõnast *turbineus* — keerisetaoline.

suure kineetilise energiaga. Aurujoad rõhuvad labidatele ning panevad turbiini ketta (rootori) koos võlliga suure kiirusega pöörlema.

Auru energia täielikumaks ärakasutamiseks kinnitatakse kaasaegsetes turbiinides ühele võllile mitu ketast. Sellises turbiinis annab aur järgemööda igale kettale osa oma energiast. Taolise turbiini pöörlemiskiirus on harilikult ligikaudu 3000 $\frac{p}{min}$. Sama kiirusega pöörlevad ka elektrigeneraatorid. Seepärast ei kasutatagi turbiini ega generaatori vahel mingeid ülekandeseadmeid, vaid nad kinnitatakse ühele ja samale võllile.



Joon. 156. Düüsiga auruturbiin. Paremal on kujutatud auru liikumine turbiinirattas.

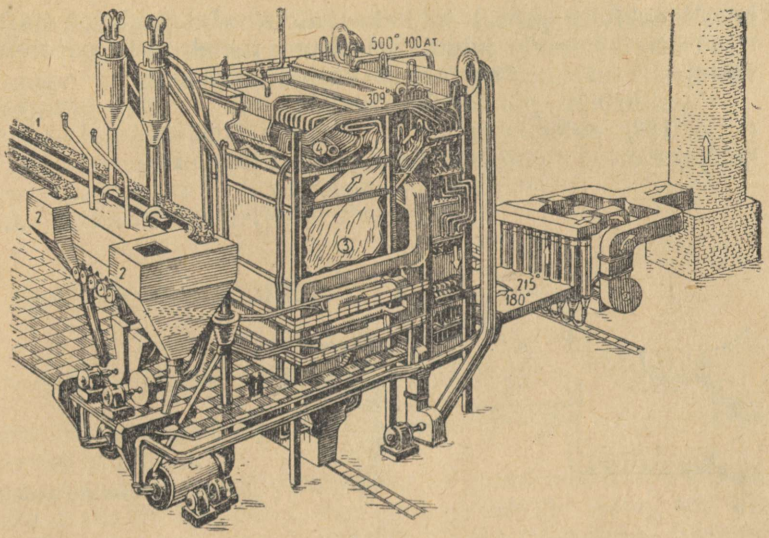
Tänu edasi-tagasi liikuvate osade puudumisele võib auruturbiini kasutegur tõusta kuni 90%-ni, turbiiniseadme kui terviku kasutegur aga 25—30%-ni. Turbiinid töötavad ühtlaselt, ilma tõugeteta. See tagab kauaaegse töö ilma remondita. Auruturbiinid on põhilisteks jõuallikateks soojuselektrijaamades, sealhulgas ka aatomielektrijaamades. Turbiine kasutatakse suurtel laevadel (ka aatomijäälõhkujal «Lenin»).

Nõukogude tööstus toodab auruturbiine võimsusega 200 000 kW ja 300 000 kW. Projekteeritavate turbiinide võimsus on aga juba 500 000 kW ja 1,5 milj. kW.

Auruturbiinide võimsuse kasv nõuab suure aurutootlikkusega katelde konstrueerimist. Vastavate katelde tootlikkus on 360—1000 tonni ja rohkem auru tunnis. Seejuures on auru rõhk kuni 310 at ning temperatuur 650—660° C.

Kaasaegse soojuselektrijaama katlaseade on keerukas ehitus. Joonisel 157 on kujutatud elektrijaama katlaseade, mille tootlikkus on 230 tonni auru tunnis.

Transportööri *1* mööda suunatakse kivisüsi punkrisse *2* ning sealt kuulveskisse. Viimases purustatakse süsi tolmuks ning juhitakse küttekoldesse *3*.



Joon. 157. Auruturbiini töitev katel.

Küttekoldes tekkivad gaasid kuumutavad torusid *4*, milles liigub vesi (need on nn. veetorukatlad).

Nii saadavat auru kuumutatakse edasi ja kuivatatakse. Sellise auru rõhk järk-järgult kasvab, tõustes 500° C juures 100 at-ni.

§ 102. GAASITURBIIN.

Auruturbiini puuduseks on vajadus katla järele. Katla mõõtmed on tavaliselt kümneid kordi suuremad turbiini enda mõõtmetest. Kõik see piirab auruturbiini kasutamispiirkonda.

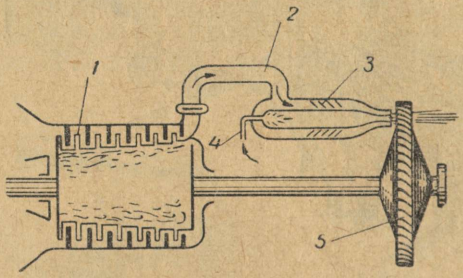
Turbiini võib pöörlema panna ka põlemisel tekkivate kuumade gaasijugadega. Vastava temperatuuriga gaase saadakse spetsiaalsetes põlemiskambrites. See vähendab järsult seadme kaalu ning suurendab kasutegurit, sest põlemiskambris tekkivate gaaside temperatuur on tunduvalt kõrgem aurumasinas töötava auru temperatuurist. Samal ajal säilivad auruturbiini eelised: ülekandemehhanismi puudumine, suur kiirus, lihtne ehitus, liikumise sujuvus ning kasulikkus tööprotsessis.

Gaasijoa mõjul töötavaid turbiine nimetatakse *gaasiturbiinideks.*

Gaasiturbiini põlemiskambrisse surutakse kompressoriga õhku ning pritsitakse vedelkütust (või siis kokkusurutud gaasi). Küttesegu põleb 1000° C või veelgi kõrgema temperatuuri juures. Põle-

misel tekkivad gaasid juhitakse düüsi abil turbiinirattale. Turbiiniratta labidatele juhitav gaasijuga paneb ratta pöörlema ning väljub siis turbiinist spetsiaalse väljumisava kaudu.

Gaasiturbiini põhilisteks osadeks on seega kompressor *1* (joon. 158), põlemiskamber *3*, õhutoru *2* ja kütusetoru *4* ning kompressoriga ühele võllile paigutatud turbiin *5*.

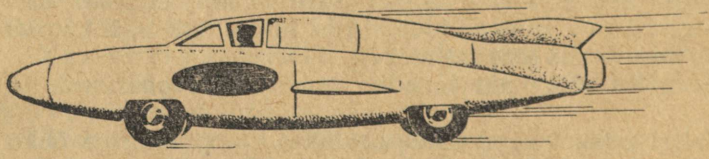


Joon. 158. Gaasiturbiini ehitus.

Gaasiturbiinide loomine on seotud paljude tehniliste raskustega. Kuna töötava keha temperatuur on väga kõrge, siis peavad turbiinilabidad ja -düüsid olema valmistatud materjalist, mis taluksid pikka aega sellist temperatuuri ning olema seejuures suure mehhaanilise tugevusega. Tänapäeva lennukite gaasiturbiinmootorites kasutatavad parimad soojuskindlad sulamid võimaldavad kasutada gaasi temperatuuriga umbes 900° C.

Üha ulatuslikumalt rakendatakse gaasiturbiine ka rahvamajanduses. Viimastel aastatel on edukalt katsetatud gaasiturbiine turbovedurite ja turbolaevade juures. On ehitatud gaasiturbiinmootoriga autode katseeksemplare (joon. 159), millega on võimalik saavutada suuri kiirusi. Nõukogude Liidus töötab Šatski gaasiturbiinelektrijaam, mis baseerub kivisöe maa-alusel gaasistamisel (esimene omalaadne maailmas).

Eriti tähtis koht on gaasiturbiinmootoril lennunduses. Ilma nende mootoriteta ei oleks kaasaegseid kiirlennukeid. Kiirusega 800—900 $\frac{km}{h}$ lendavatel lennukitel kasutatakse gaasiturbiinmootoreid propellerite pöörlemapanemiseks (turbopropellerlennukid).



Joon. 159. Gaasiturbiinmootoriga eksperimentaal-võidusõiduauto.

Energeetika ja transpordi kõrval võib gaasiturbiinmootoreid edukalt kasutada suruõhu saamiseks keemia- ja terasetööstuses, gaasi transportimiseks torujuhtmetes, võimsate pumpade tööleRakendamiseks jne.

Senini ei ole gaasiturbiinide kasutegur eriti kõrge (18—20%), kuid see tõuseb pidevalt. Kasuteguri tõusmiseks on olemas vajalikud reservid. Gaasiturbiin on jõumasin, mis leiab üha enam ja enam rakendamist väga paljudel elualadel.

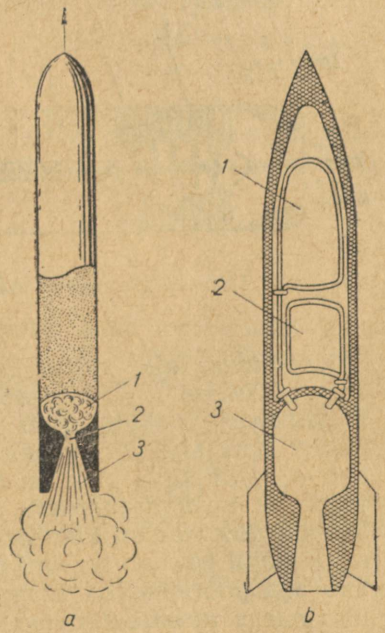
III. REAKTIIVMOOTORID.

§ 103. RAKETT. VEDELKÜTUSE-REAKTIIVMOOTORID.

Reaktiivmootorites kasutatakse paragrahvis 27 käsitletud reaktiivliikumise printsiipi.

Kõige lihtsamaks reaktiivmootoriks on *püssirohurakett*. Raketi põhiliseks osaks on kamber *1*, kus põleb püssirohi (joon. 160, *a*). Kambri ühes otsas on ava *2* gaaside väljavoolamiseks. Gaaside väljavoolamiskiiruse suurendamiseks on ava jätkuks düüs *3*, mis kujutab endast väljapoole laienevat toru.

Gaaside väljavoolamisel tekib gaasijoaga vastupidiselt suunatud reaktiivjõud *F*. Nimetatud jõu mõjul liigubki rakett edasi.



Joon. 160. a — püssirohurakett; *b* — vedelkütusega töötav rakett.

Kaasaegsetes rakettides kasutatakse püssirohu asemel suurema küteväärtusega kütuseid (petrooleum, piiritus jt.).

Põlemiskambrisse *3* (joon. 160, *b*) tuleb paakidest *1* ja *2* vedelkütus ja hapendaja. Hapendajaks on kas vedel hapnik või hapnikurikas aine (näiteks lämmastikhape). Kütus koos hapendajaga moodustab küttesegu. Selle põlemisel tekivad gaasid, mille siseenergia on suur. Düüsist suure kiirusega (kuni 9000 $\frac{km}{h}$) väljavoolav gaas tekitab suure reaktiivse veojõu.

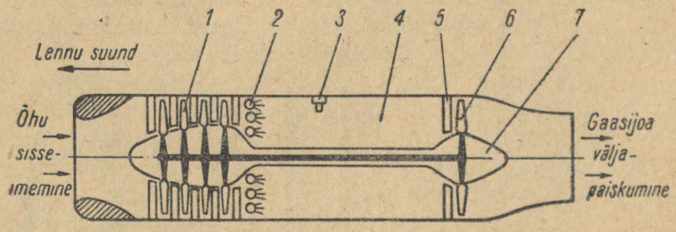
Rakettmootorid ei vaja õhuhapnikku ning seepärast võib rakett lennata ka õhuta ruumis.

Reaktiivmootori ehitus on lihtne. Sama võimsuse juures on tema mõõtmed väiksemad kui kolbmootoritel. Peamine on aga see, et selline mootor võimaldab lennata igasugusel kõrgusel ja mitmesuguse kiirusega. Mootori sellised omadused on eriti vajalikud lennunduses. Kaasajal kurseerivadki pikkadel lennuliinidel peamiselt reaktiivlennukid.

§ 104. TURBOREAKTIIVMOOTORID.

Atmosfääris toimuvatel lendudel kasutatakse hapendajana õhuhapnikku.

Joonisel 161 on toodud lennukitel kasutatava turboreaktiivmootori skeem.



Joon. 161. Turboreaktiivmootori skeem.

Lendamise ajal vastuliikuv õhk satub mootori esiava kaudu kompressorisse *1*. Kompressoris kokkusurutud õhk juhitakse põlemiskambrisse *4*, kuhu spetsiaalse pihusti *2* abil pritsitakse vedelkütust (harilikult petrooleumi). Küttesegu süüdatakse süüteküünla *3* poolt tekitatava elektrisädemega. Põlemisel tekkivad gaasid juhitakse turbiini juhtratta *5* abil turbiini tööratta *6* labidatele. Turbiini tööratas on kinnitatud kompressoriga ühele võllile. Gaasijoa mõjul hakkab turbiini tööratas pöörlema, koos sellega hakkab aga pöörlema ka kompressori töömehhanism. Gaasiturbiini ülesandeks turboreaktiivmootoris on seega kompressori tööle-



Joon. 162. Turboreaktiivmootoritega reisilennuk ИЛ-62 võtab korraga pardale 168 reisijat.

panemine. Turbiini läbinud gaasid satuvad düüsi 7, kus nende rõhk väheneb, kiirus aga kasvab. Suure kiirusega väljavoolavad gaasid tekitavad reaktiivtõuke, mis tagab lennuki normaalse lennu.

Turboreaktiivmootoreid peetakse tänapäeval kõige ökonoomsemaks lennukiirustel üle 900 $\frac{km}{h}$.

Tänapäeva lennunduses kasutatakse ulatuslikult mitmesuguseid reaktiivmootorite tüüpe. A. N. Tupolevi, S. V. Iljušini, O. K. Antonovi jt. poolt konstrueeritud reaktiivlennukid ТУ-104, ТУ-104А, ТУ-114, ИЛ-18, ИЛ-62 (joon. 162), АН-10 jt. kujutavad endast nõukogude teaduse ja tehnika suurepärast saavutust. Turboreaktiivlennukil ТУ-104 on näiteks kaks reaktiivmootorit koguvõimsusega enam kui 50 000 kW, lennuk lendab keskmise kiirusega 800—900 $\frac{km}{h}$, võtab pardale 100 reisijat ning võib vahemaandumiseta lennata 3000 km kaugusele.

Reisilennukite ИЛ-18, ТУ-114 ja АН-10 juures kasutatakse gaasijoa reaktiivjõu kõrval ka propelleri veojõudu. Propeller pannakse pöörlema gaasiturbiini abil. Selliseid lennukeid nimetatakse turbopropellerlennukiteks.

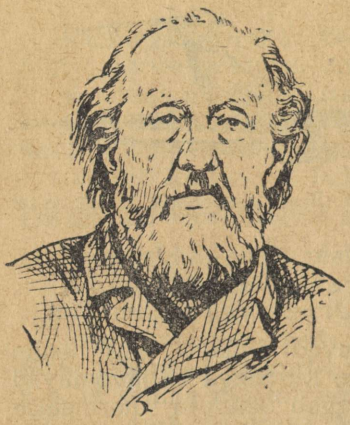
§ 105. KOSMOSE ALISTAMINE.

Reaktiivmootorite abil on meie päevil teoks saanud inimkonna kauaaegne unistus — lennud maailmaruumi, teistele planeetidele.

Üheks esimeseks inimeseks, kes tegi ettepaneku kasutada kosmilisse ruumi lendamiseks raketti, oli vene õpetlane K. E. Tsiolkovski (1857—1935). Ta töötas välja reaktiivse liikumise teooria ning koostas planeetidevaheliste rakettide projektid.

Tsiolkovski ideid viiakse praegu edukalt ellu. Nõukogude teadlaste loov töö ning tehnika edusammud kindlustasid Nõukogude Liidule esikoha kosmose alistamisel.

Inimeste kosmoselendudele eelnes suur teoreetiline ja praktiline ettevalmistus.



Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski (1857—1935) — väljapaistev vene teadlane lennunduse ja kosmiliste lendude teooria ning praktika alal. Ta töötas välja kosmilisteks lendudeks kasutatava reaktiivliikumise teooria. 1903. a. koostas ta vedelkütusega töötava planeetidevahelise raketi projekti.

Maa külgetõmbe uurimine näitas, et selle ületamiseks on tarvis kehale anda mitte väiksem kui 8 $\frac{km}{s}$ suurune kiirus. Seda kiirust nimetatakse *esimeseks kosmiliseks kiiruseks.* Sellise kiiruse saavutanud keha ei kuku Maale tagasi, vaid saab tema kaaslaseks. Teistele päikesesüsteemi planeetidele lendamiseks on vaja veel suuremat kiirust (11,2 $\frac{km}{s}$). Järelikult oli vaja seadmeid, mis kindlustaksid kehadele sellise kiiruse.

On teada, et kosmilises ruumis ei ole õhku. Seepärast peab kosmosēlaeval olema rakettmootor, mis ei vaja õhku. Oli tarvis luua tugev ja usaldatav laev ning kindlustada selle edukas väljasaatmine Maalt.

Oli tarvis uurida kosmilise ruumi ja kosmoselaeva lennu mõju



Juri Aleksejevitš Gagarin — maailma esimene kosmonaut.

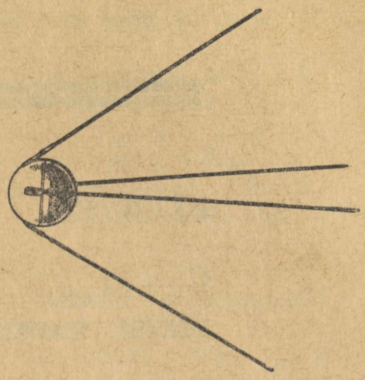


Valentina Vladimirovna Nikolajeva-Tereškova — maailma esimene naiskosmonaut.

elavorganismidele ning leida kaitsevahendid inimesele kahjulike mõjude vastu.

Inimese kosmoselendude ettevalmistamise esimeseks etapiks oli teadusliku aparatuuriga varustatud Maa kunstlike kaaslaste ning kosmiliste rakettide väljalaskmine. Maailma esimene, nõukogude Maa kunstlik kaaslane, mis kaalus 83,6 kG (joon. 163), viidi orbiidile 4. oktoobril 1957. aastal.

Teiseks etapiks oli elavorganismidega kunstlike kaaslaste ja kosmiliste rakettide väljasaatmine. Esimesteks «kosmonautideks» olid koerad, putukad ja taimed. Kindlustati nende edukas tagasipöördumine Maale.



Joon. 163. Nõukogude esimene Maa tehiskaaslane.

Kolmas etapp — inimese lend kosmosesse. 12. aprillil 1961. a. toimus inimkonna ajaloos kõiki erutav sündmus — Nõukogude Liidu kodaniku J. A. Gagarini lend kosmosesse. Lend kestis 108 minutit. Kosmoselaeva viis orbiidile rakett võimsusega 20 milj. hj.

J. Gagarini lend võimaldas teha hiiglasuure tähtsusega teadusliku järelduse inimese kosmoselennu praktilisest võimalikkusest. Lend näitas, et inimene võib vabalt taluda kosmoselennu tingimusi, kosmoselaeva orbiidile viimisega ning Maale tagasipöördumisega kaasnevat ülekoormust, säilitades seejuures täielikult töö- ja mõtlemisvõime.

Esimesele lennule järgnesid teiste nõukogude kosmonautide edukad lennud.

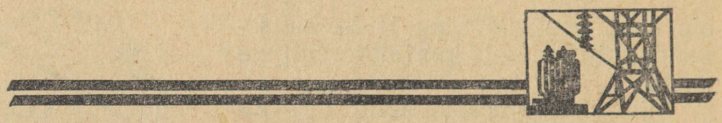
1963. a. juunis piloteeris kosmoselaeva esimene naiskosmonaut V. Tereškova.

Mida kujutab endast kosmoselaev? Nõukogude kosmoselaeva «Vostok» kaal on umbes 5 T. Sellise laeva tõstmine 200—300 km kõrgusele maapinnast on raske ülesanne.

See ülesanne täidetakse mitmeastmelise kanderaketiga. Raketi iga aste annab laevale kindlaksmääratud kiiruse. Pärast iga astme kütuse ärakasutamist eraldub raketi astme kest automaatselt teistest raketi osadest. Ühe astme eraldumise momendil hakkab tööle teine, raketi järgmine aste. Rakett viib kosmoselaeva varem kindlaksmääratud orbiidile (liikumistrajektoorile).

Kosmoselaeva juhtimine on automatiseeritud, kuid seda on võimalik teha ka käsitsi. Lennu ajal peetakse kosmoselaevaga raadio- ja televisioonisidet, mis võimaldab kontrollida kosmonaudi seisukorda.

Tee kosmosesse on avatud. Ei ole kaugel aeg, kus Maa elanikud tutvuvad päikesesüsteemi teiste planeetidega ning jätkavad teed tähtede poole.



ELEKTER.

XIII PEATÜKK.

ÜLDISI TEADMISI ELEKTRIST.

Elektri osatähtsus kaasaegse ühiskonna elus on väga suur. Elektrienergia abil töötavad tööpingid ja masinad tehastes ning vabrikutes. Elektrienergiat kasutavad elektrivedurid raudteel ja kaevandustes ning trammid ja trollibussid linnades.

Elektri kasutamine tegi võimalikuks paljude tootmisprotsesside automatiseerimise, vabastas töölised raskest füüsilisest tööst ning suurendas märgatavalt tööviljakust.

Ainult elektrienergia ulatuslik rakendamine võimaldab luua kommunistliku ühiskonna materiaal-tehnilise baasi. Seepärast on NLKP programmis pööratud eriti suurt tähelepanu maa elektrifitseerimisele. 1980. aastaks peab elektrienergia tootmine suurenema 9—10 korda, võrreldes 1960. aastaga.

Elekter on sügavalt juurdunud inimeste igapäevasesse ellu. Elektrihõõglambid valgustavad elamuid ning linnade ja külade tänavaid. Külmutuskapid, pesupesemismasinad, televiisorid, raadiod ja teised kodudes kasutatavad elektriseadmed on muutunud esmajärgulisteks majapidamistarveteks.

Elektriõpetuse areng võimaldas laiendada ning süvendada meie teadmisi ümbritsevast maailmast ning selgitada paljude loodusnähtuste põhjusi.

§ 106. KEHADE ELEKTRISEERIMINE. ELEKTRISEERITUD KEHADE VASTASTIKUNE MÕJU. ELEKTRILAENGUTE KAKS LIIKI.

Sõna *elekter* tuleb kreekakeelsest sõnast *elektron*, mis tähendab *merevaik*[1].

Juba vanad kreeklased märkasid, et villase riidega hõõrutud

[1] Merevaik on sadade tuhandete aastate eest Maal kasvanud okaspuude kivistunud vaik.

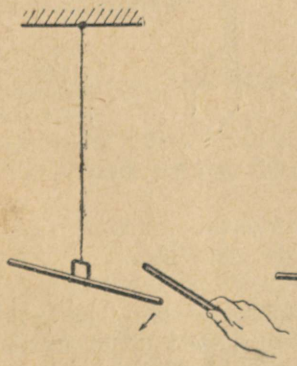
merevaik tõmbab külge kergeid kehi. Hiljem tehti kindlaks, et selline omadus on ka teistel kehadel.

Võtame näiteks plastmassist kammi ning asetame selle väikeste paberitükikeste lähedale. Kamm ei tõmba paberitükke enda külge. Kui aga hõõruda kammi kuiva ajalehega või kammida kuivi juukseid, siis pärast seda tõmbab kamm paberitükke enda külge. Analoogilist nähtust võib täheldada klaaspulga hõõrumisel siidlapiga ja kirjalaki või eboniitpulga[1] hõõrumisel villase lapiga.

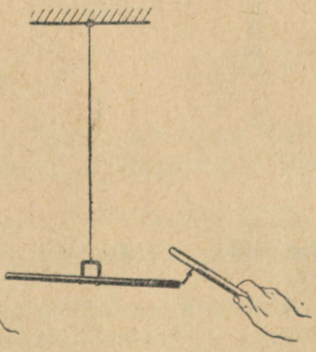
Nende katsete juures kehad *elektriseeruvad*, s. t. kehal ilmnevad *elektrilaengud*. Sellised kehad omandavad mitmesuguste kehade külgetõmbamise võime. Elektrilaengutega keha nimetatakse *elektriseeritud* ehk *laetud* kehaks. Kui kehal laengud puuduvad, siis on ta *laadimata* ehk *neutraalne*.

Elektriseeritud keha mõju võib märgata siis, kui liikumistakistus (hõõrdumine, kaal jne.) on väiksem elektriseeritud keha poolt avaldatavast jõust.

Selgitame, kuidas mõjuvad teineteisele elektriseeritud kehad. Riputame niidi abil üles villase lapiga elektriseeritud eboniitpulga ning lähendame sellele teise analoogilisel viisil elektriseeritud eboniitpulga. Pulgad tõukuvad teineteisest eemale (joon. 164). Kui aga riputada üles siidlapiga elektriseeritud klaaspulk ning lähendada sellele villase lapiga hõõrutud eboniitpulk, siis pulgad tõmbuvad teineteise poole (joon. 165).



Joon. 164. Ühesuguselt elektriseeritud kehad tõukuvad teineteisest eemale.



Joon. 165. Erinevalt elektriseeritud kehad tõmbuvad teineteise poole.

Veenduge, et kaks siidlapiga elektriseeritud klaaspulka tõukuvad teineteisest eemale, kuid laetud klaaspulk ja villase lapiga hõõrutud eboniitpulk aga tõmbuvad.

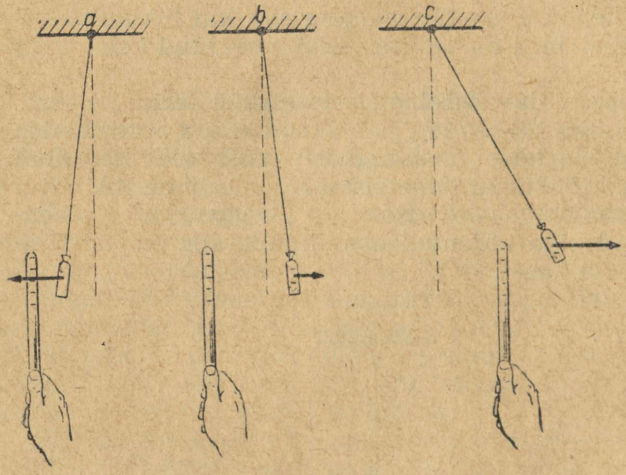
[1] Eboniit on suure väävlisisaldusega kautšuk.

Elektriseeritud kehade vastastikuse mõju erinevused lubavad teha järelduse, et looduses eksisteerib kahte liiki elektrilaenguid.

Positiivseks nimetatakse elektrilaengut, mis saadakse klaaspulga hõõrumisel siidlapiga. Elektrilaengut, mis tekib eboniitpulga hõõrumisel villase lapiga, nimetatakse aga *negatiivseks*. Positiivseid laenguid tähistatakse märgiga + (pluss), negatiivseid aga märgiga — (miinus).

Katsetest järeldub, et **ühenimelised elektrilaengud tõukuvad, erinimelised aga tõmbuvad.**

Lähendage elektriseeritud pulk siidniidi otsa riputatud paberist hülsile. Alguses tõmbub hülss pulga külge, siis tõukub aga sellest eemale (joon. 166, *a*, *b*). Miks?



Joon. 166. Elektriseeritud pulga külge puutunud paberist hülss tõukub pulgast eemale.

§ 107. ELEKTRIVÄLJA MÕISTE.

Arvukad katsed näitavad, et elektriseeritud kehad tõmbavad teisi kehi enda poole mitte ainult õhus, vaid mistahes materiaalses keskkonnas, näiteks vees, petrooleumis, õlis jm. Vaakuumis on elektrilaengute vastastikune mõju suurem kui igas teises keskkonnas.

On kindlaks tehtud, et elektrilaenguga on seotud mateeria eriline eksisteerimise vorm, mida nimetatakse *elektriväljaks*.

Ümbritseva maailma esemete reaalsuses veendume nende aistingute alusel, mida need esemed meie meeleorganitele mõjudes esile kutsuvad. Kõikidel esemetel on üks ühine omadus, nimelt eksisteerivad nad meie tahtest sõltumata. Kõike seda, mis looduses eksisteerib inimese tahtest sõltumata, nimetatakse *mateeriaks*.

Möödunud sajandi alguses avastati *materia eksisteerimise üks vorm*, nimelt *aine* (näiteks mitmesugused liht- ja liitained ning aatomid ja molekulid, millest *ained* koosnevad). Tänapäeva teadus tunneb veel *teist materia eksisteerimise vormi*, nimelt *välja* (näiteks elektrivälja, elektromagnetilist välja, raskusjõu, välja jne.).

Elektriväli inimese meeleorganitele vahetut mõju ei avalda. Välja reaalsuses võime veenduda, vaadeldes tema mõju teistele kehadele, näiteks laetud kehale.

Kui asetada laetud paberhülss elektriseeritud pulga elektrivälja, siis näeme elektrivälja mõju laetud kehale. Hülsi lähendamine laetud pulgale näitab, et kõige tugevamini mõjub elektriväli hülsile pulga lähedal (joon. 166, *b*, *c*).

Elektrivälja olemasolu kindlakstegemiseks võib kasutada ka hõrendatud gaasiga (näiteks neooniga) täidetud klaastorusid. Kui selline toru asetada pimedas asuva laetud keha lähedale, siis hakkab gaas torus helenduma. Elektriseeritud keha ümber asetseb elektriväli, mis põhjustabki gaasi helendumise.

Elektriväli on materiaalne keskkond, mille kaudu avaldub laengute vastastikune mõju.

Kaasaja teadus selgitab kahe laengu vastastikust mõju järgmiselt. Ühe laengu ümber eksisteerib elektriväli, mis mõjub mingi jõuga sellesse välja toodud teisele laengule. Teise laengu ümber on oma väli, mis avaldab esimesele laengule esimese laengu poolt avaldatava jõuga võrdset, kuid vastassuunalist jõudu.

Jõude, millega elektriväli mõjub elektrilaengutele, nimetatakse *elektrilisteks jõududeks.*

§ 108. JUHID JA ISOLAATORID.

Elektrilaengud võivad aines ümber paikneda. Kas aga elektrilaengute ümberpaiknemine toimub kõigis ainetes? Selgitame seda katseliselt.

Kinnitame statiivile kaks siidniiti ja nende külge kerged metalltraadikesed. Traadikeste otstesse seome paberist hülsid. Puudutame traadikeste ülemisi otsi laetud pulgaga (joon. 167). Hülsid tõukuvad teineteisest eemale. Osa elektrilaenguid liikus järelikult mööda traate eboniitpulgalt hülssidesse. Ühenimeliselt laetud hülsid aga tõukuvad. Kui puudutada nüüd hülsse käega, siis langevad hülsid uuesti teineteise vastu, sest elektrilaengud lähevad mööda inimese keha maasse.

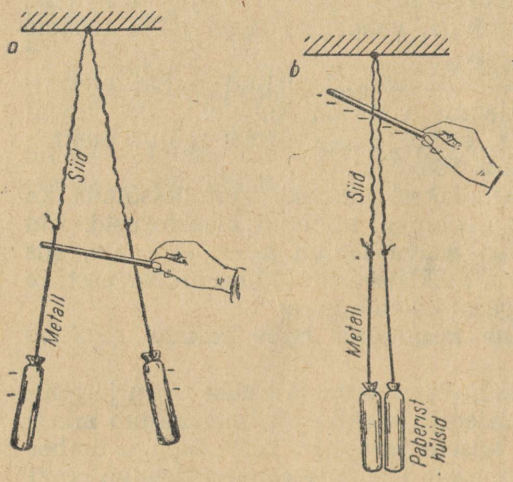
Siidniidi puudutamine laetud pulgaga ei põhjusta hülsside asetuses mingit muutust (joon. 167, *b*). Mööda siidniite ei ole laengute liikumine hülssideni järelikult võimalik.

Neid aineid, mida mööda elektrilaengute liikumine ei ole või-

---

[1] Itaaliakeelsest sõnast *isolatore* — eraldama.

malik, nimetatakse *isolaatoriteks*[1] (ehk *dielektrikuteks*). Aineid, mida mööda elektrilaengute liikumine on võimalik, nimetatakse *juhtideks*.



Joon. 167. Elektrilaengud liiguvad mööda metalltraati, mööda siidniiti aga mitte.

Meie poolt kirjeldatud katses oli metall juhiks, siid aga isolaatoriks. Katseliselt võib veenduda, et juhtideks on kõik metallid, süsi, inimese keha, mitmesuguste soolade lahused, happed ja alused; isolaatoriteks aga klaas, eboniit, kummi, portselan, vaigud, petrooleum, õlid ja õhk.

Elektroskoobi abil võib lihtsalt ja kergelt kindlaks teha, millised ained on juhid ja millised isolaatorid.

Elektroskoobiks nimetatakse riista, mille abil on võimalik kindlaks määrata elektrilaengu olemasolu (joon. 168). Elektroskoop koosneb metallvarda *A* otsa kinnitatud kahest kergest paberiribakesest *C*. Kui puudutada elektroskoobi varrast laetud kehaga, siis läheb osa laenguid mööda varrast lehekestesse ning viimased tõukuvad laiali seda rohkem, mida suurema laengu nad saavad. Lehekeste kõrvalekaldumise nurga järgi võib seega hinnata laengu suurust.

Suurema tundlikkusega elektroskoopides (joon. 168, *b*) on lehekesed asendatud telje ümber pöörleva kerge osutiga. Kui elektroskoobi varras saab mingi laengu, siis kaldub osuti mingi nurga võrra kõrvale (miks?). Riista korpuse mattklaasile on paigutatud skaala, mille järgi saab hinnata laengu suurust. Kirjeldatud riista nimetatakse *elektromeetriks*.

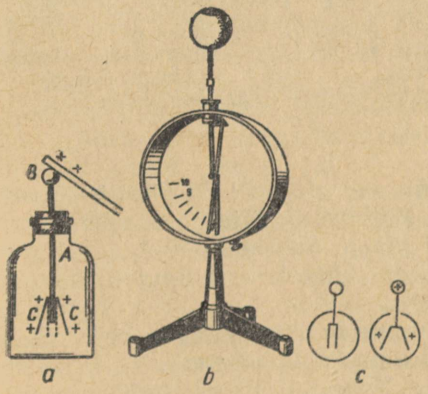
[1] Itaaliakeelsest sõnast *isolatore* — eraldama.

Skeemidel kujutatakse elektroskoopi joonisel 168, *c* toodud tingmärgi abil.

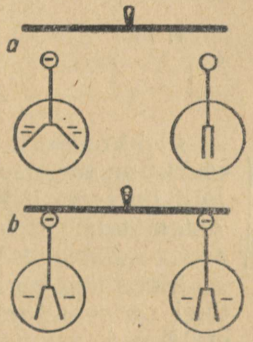
Mõelge, kuidas saab elektroskoobi abil kindlaks teha, kas antud aine on juht või isolaator?

§ 109. KEHADE ELEKTRISEERIMISE SELGITAMINE.

Võtame kaks ühesugust elektroskoopi ning laadime ühe neist näiteks negatiivselt (joon. 169, *a*). Märgime laetud elektroskoobi lehekeste kaldenurga. Ühendades mõlemad elektroskoobid mingi juhiga, näeme, et teise elektroskoobi lehekesed kalduvad nüüd mingi nurga võrra kõrvale. Varem laetud elektroskoobi lehekeste kaldenurk aga väheneb niisama suure nurga võrra (joon. 169, *b*). Järelikult jaotus esimese elektroskoobi laeng võrdselt mõlemale elektroskoobile.[1]



Joon. 168. *a* — lihtsaim elektroskoop; *b* — elektromeeter; *c* — elektroskoobi tingmärk.



Joon. 169. Elektrilaeng liigub mööda juhti ning jaotub ühtlaselt mõlemale (ühesugusele) elektroskoobile.

Eemaldame elektroskoope ühendava juhi ning laeme teise elektroskoobi tühjaks. Kui nüüd elektroskoobid juhi abil uuesti ühendada, siis laadub teine elektroskoop uuesti. Selle põhjuseks on esimesele elektroskoobile jäänud laengu jaotatavus.

Kas sellisel laengu jagamisel on oma piir?

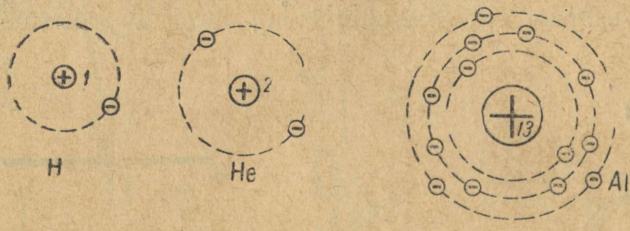
On kindlaks tehtud, et selline piir on olemas. *Kõige väikse-*

[1] Kui elektroskoopide ühendamiseks kasutati peenikest ja lühikest juhti, siis võib sellele juhile jääva laengu arvestamata jätta.

maks negatiivseks laenguks on elektroni laeng. Elektron on mistahes aine aatomi koosseisu kuuluv väikseim osake. Aatomid koosnevad positiivselt laetud tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest. Elektronide orbiidid erinevad veidi ringjoonest.

Vesiniku aatomi tuum ehk *prooton* (nagu teda tavaliselt nimetatakse) kannab *kõige väiksemat positiivset laengut.* Teiste ainete aatomituumadesse kuuluvad prootonite kõrval veel neutraalsed (ilma laenguta) osakesed, mida nimetatakse *neutroniteks.*

Harilikult on ainete aatomid elektriliselt neutraalsed, sest ümber tuuma tiirlevate elektronide kogulaeng on täpselt võrdne tuuma positiivse laenguga, s. t. tuuma prootonite kogulaenguga (joon. 170).



Joon. 170. Vesiniku, heeliumi ja alumiiniumi aatomi ehitus. Märgiga + on tähistatud aatomite tuumad, märgiga — aga elektronid.

Elektronide ja tuuma vahel mõjuvad elektrilised jõud hoiavad elektrone tiirlemas ümber tuuma. Elektroni väljarebimiseks aatomist on tarvis teha tööd. *Sellised ained, kus kõik elektronid on aatomituumaga tugevasti seotud, ei juhi elektrit ning osutuvad seega isolaatoriteks.*

Metallides on mõnede väliste (tuumast kõige kaugematel orbiitidel tiirlevate) elektronide side tuumaga võrdlemisi nõrk. Nad eralduvad aatomist kergesti ning liiguvad kaootiliselt metalli aatomite vahel. Selliseid elektrone nimetatakse *vabadeks elektronideks* ehk *juhtivuselektronideks.* Elektrivälja mõjul võivad need elektronid metallis ümber paikneda. Seepärast on kõik metallid head elektrijuhid.

Selgitame kehade elektriseerimist hõõrumise teel aine ehituse elektroniteooria seisukohalt.

Eboniitpulga hõõrumisel villase lapiga läheb osa elektrone villaselt lapilt üle eboniidile ning paigutub viimase pinnale. Eboniit laadub negatiivselt. Villasel lapil tekib elektronide puudujääk ja positiivsete laengute ülejääk ning lapp osutub positiivselt laetuks.

Kehade elektriseerimisel hõõrumise teel elektrilaengud jagunevad ning mõlemad hõõrutavad kehad elektriseeruvad. Kehad saavad suuruselt võrdse, kuid märgilt vastupidise laengu.

Kontrollime öeldut katseliselt. Hõõrume eboniitpulka mõne korra villase lapikesega, mis on kinnitatud isolaatorile. Puudu-

tame siis lapiga elektromeetri kuulikest. Elektromeetri osuti kaldub kõrvale, sest elektromeeter sai villaselt lapilt positiivse laengu. Kui nüüd sama elektromeetrit laadida eboniitpulgaga, siis osuti langeb varda juurde tagasi. Pulgalt saadud negatiivne laeng neutraliseerib villaselt lapilt elektromeetrile antud positiivse laengu.

Tehke analoogiline katse klaaspulga ja siidlapiga ning selgitage antud nähtust.

Analoogiliselt võib elektriseerida ka juhte, näiteks metalle, kui need eelnevalt kinnitada isoleerivast materjalist alusele.

Kehad elektriseeruvad mitte ainult hõõrdumisel, vaid igasugusel kokkupuutumisel ja sellele järgneval eraldumisel. Hõõrdumine ainult suurendab elektriseerumist, sest sel juhul on kokkupuutes suuremad pinnad. Elektriseerumine toimub ka keha purustamisel või katkilõikumisel.

Seega *elektrilaengud on alati olemas igas kehas, igas aines.* **Elektriseerimisel need ainult jaotuvad ümber, moodustades ühel kohal positiivse laengu** (elektronide puudujääk), **teisel aga niisama suure negatiivse laengu** (elektronide üleküllus).

Kui puudutada elektroskoobi varrast laetud kehaga, siis saab elektroskoop kehaga ühenimelise laengu. Selgitage seda nähtust elektroniteooria alusel nii positiivselt laetud keha kui ka negatiivselt laetud keha korral.

Elektroskoobi varrast sõrmega puudutades laeme elektroskoobi tühjaks. Elektronid liiguvad mööda meie keha nagu mööda juhti. Kui elektroskoobil on negatiivne laeng, siis liiguvad üleliigsed elektronid mööda meie keha maasse; positiivse laengu korral liiguvad elektronid mööda meie keha maapinnalt elektroskoopi ning likvideerivad seal esineva elektronide puudujäägi. Mõlemal juhul neutraliseeritakse elektroskoobil olnud laeng.

§ 110. ELEKTRISEERIMINE MÕJU ABIL.

Kuna elektriväli avaldab mõju laetud kehale, siis peab ta mõjuma ka mistahes keha elektronidele. Järelikult, kui asetada juht elektrivälja, siis hakkavad juhi vabad elektronid välja mõjul liikuma. Juhi ühes otsas tekib elektronide puudujääk, teises aga ülejääk. Juhi üks ots omandab seega positiivse, teine ots aga negatiivse laengu.

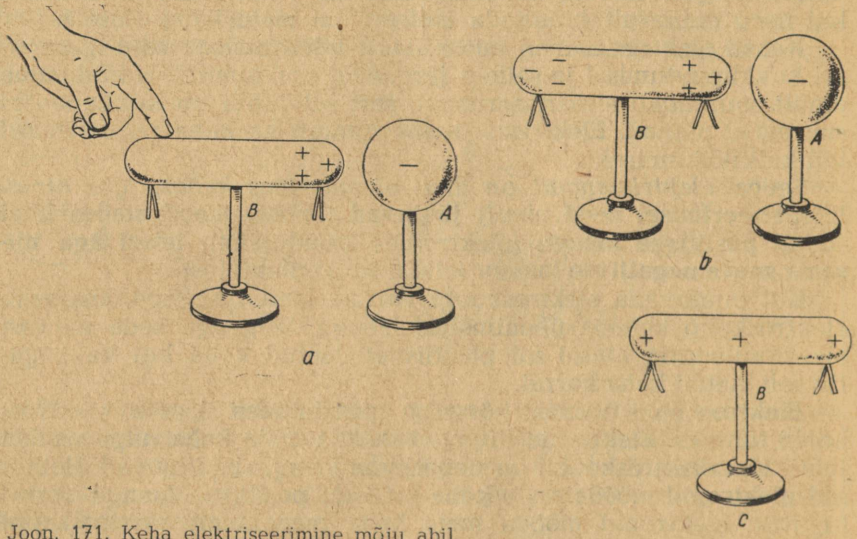
Kui lähendada elektroskoobile laetud keha, siis lähevad elektroskoobi lehekesed tõepoolest laiali. Laetud keha eemaldamisel kaob laeng ka elektroskoobilt.

Elektroskoobi või mõne teise keha elektriseerimist ülalkirjeldatud viisil nimetatakse *elektriseerimiseks mõju abil.*

Tutvume selle nähtusega lähemalt. Võtame isolaatorist alusele paigutatud metallkeha *B*, mille otstesse on kinnitatud paberilehe-

kesed. Lähendame selle keha ühele otsale negatiivselt laetud kera *A* (joon. 171, *b*). Keha mõlemas otsas asuvad lehekesed tõukuvad.

Lehekeste tõukumise põhjuseks on metallkeha vabade elektronide liikumine negatiivse laengu ümber oleva elektrivälja mõjul keha sellesse otsa, mis on kerast kaugemal (miks?). Seepärast on keha selles otsas elektrone normaalsest rohkem, kerale lähemal asuvas otsas aga vähem.



Joon. 171. Keha elektriseerimine mõju abil.

Eelöeldus võib veenduda, kui lähendada (mitte puudutada!) lehekestele villase lapiga hõõrutud eboniitpulk. Selle pulga negatiivse laengu väli tõukab keha *B* vasakpoolse otsa külge kinnitatud lehekesi, tõmbab aga parempoolse otsa külge kinnitatud lehekesi.

Kui laetud kera eemaldada, siis muutub keha *B* uuesti neutraalseks (miks?). Kui enne kera *A* eemaldamist puudutada keha *B* sõrmega, lähevad keha vabad elektronid mööda inimese keha maasse (joon. 171, *a*). Kui nüüd eemaldada sõrm ja alles pärast seda eemaldada laetud kera *A*, siis osutub keha *B* positiivselt laetuks (joon. 171, *c*). Selle põhjuseks on asjaolu, et elektronid ei saa mööda õhku (isolaatorit) enam maapinnast kehale tagasi minna.

Korrake katset, lähendades kehale *B* positiivselt laetud kera *A*. Selgitage seejuures toimuvat vabade elektronide liikumist.

Nii on võimalik kehi mõju abil elektriseerida selliselt, et laeng säilib ka pärast mõjuva laengu eemaldamist. Seejuures jääb kehale laeng, mis on mõjuva keha laenguga erinimeline.

Selleks et laadida neutraalset keha laetud kehaga *samanimeliselt*, tuleb laetud kehaga puudutada laadimata keha. Et laadida mingit keha mõjuva kehaga *erinimeliselt*, tuleb kasutada elektriseerimist mõju abil.

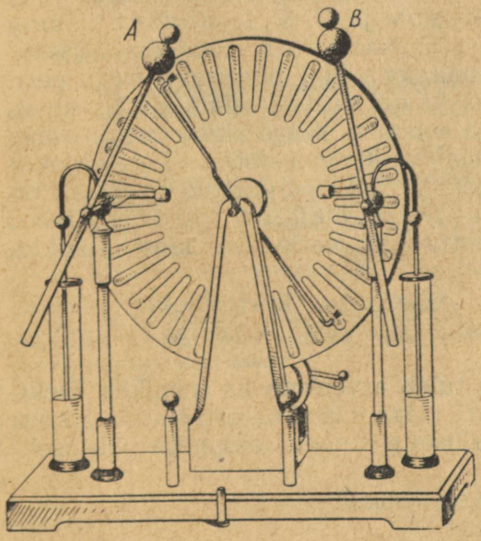
Nüüd pole raske mõista, miks tõmbub iga neutraalne keha laetud keha poole (vt. § 106). Laetud keha elektrivälja mõjul jaotuvad neutraalses kehas olevad vabad elektronid ümber. Laetud kehale lähemas otsas tekib viimasega võrreldes vastasnimeline laeng. Seepärast tõmbabki laetud keha laadimata keha tugevamini kui tõukab.

§ 111. ELEKTRISEERIMINE LOODUSES JA TEHNIKAS.

Elektrofoormasinaga (joon. 172) võib demonstreerida äikesega analoogilist nähtust.

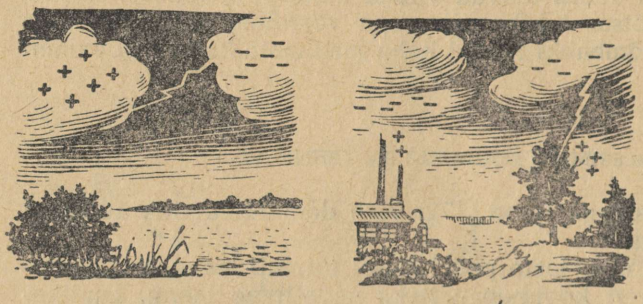
Elektrofoormasina ketaste pöörlemisel toimub laengute jagunemine, kuulikesele *A* koguneb näiteks negatiivne laeng, kuulikesele *B* aga positiivne laeng. Laengute suurenedes tugevneb kuulikeste vahel olev elektriväli. Laengute mingi kindla suuruse korral tekib sädemekujuline elektrilahendus, mida saadab ragin.

Looduses tekib selline laengute jagunemine atmosfääride ülakihtides, kus õhuvoolude mõjul toimub veepiisakeste pihustumine. Laetud veepiisakestest kujunevad äikesepilved, mille elektrilaengud tekitavad tugevaid elektrivälju. Nende väljade mõjul toimuvad sädelahendused, mida me nimetamegi välkudeks. *Välk kujutab endast pikka elektrisädet* (joon. 173).



Joon. 172. Elektrofoormasin.

Välguga kaasnev müristamine tekib elektrilahenduse piirkonnas olevate õhukihtide kuumenemise ja paisumise tulemusena, sest viimane põhjustab häälelainete tekkimise. Kuna valgus levib häälest miljon korda kiiremini, siis näeme kõigepealt välku ning alles pärast seda kuuleme müristamist.



a *b*

Joon. 173. *a* — välk kahe pilve vahel; *b* — välk pilve ja maapinna vahel.

Mõnikord laadub maapind äikesepilve all pilve laenguga erinimeliselt. Sel juhul võib välk tekkida pilve ja maapinna vahel. Selline välk on ohtlik, sest ta võib purustada hooneid, surmata inimesi ja loomi ning põhjustada tulekahju.

Ülev ning hirmus loodusnähtus — äike — kutsus vanasti inimestes esile hirmu. Tekkisid paljud ebausklikud kujutlused äikesest. Teadus selgitas äikese olemuse ning näitas ära vahendid äikese purustava mõju ärahoidmiseks.

Märkimisväärseid uurimisi atmosfäärielektri kohta tegid vene akadeemikud M. V. Lomonossov ja G. V. Richmann[1] ning ameerika teadlane B. Franklin. Nad võtsid esimesena kasutusele *piksekaitse* hoonete kaitsmiseks välgu purustava mõju eest.

Kõige lihtsamaks piksekaitseks on teravaotsaline metallvarras, mis asetatakse veidi kõrgemale hoone kõige kõrgemast osast. Varras ühendatakse 25—35 mm^2 vasktraadi abil 2—3 m sügavusele maasse kaevatud vaskplekiga. Nii paigutatud varras on äikesepilvele alati lähemal kui hoone ülejäänud osad. Sel juhul läheb välk maasse mööda varrast ja vasktraati ning -plekki, mitte aga mööda hoonet.

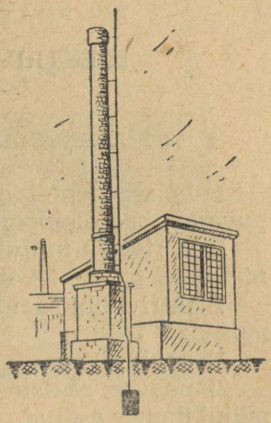
Pidevalt tuleb kontrollida piksekaitse korrasolekut, nimelt seda, et varras oleks hästi maandatud. Vastasel korral toob piksekaitse suurt kahju.

Kehade elektriseerumisega tuleb arvestada ka tehnikas. Elektrisäde võib süüdata bensiini või mõne teise kergesti süttiva ainega täidetud tsisterne ja paake. Selliste sädemete tekkimise põhjuseks

[1] Hukkus välgulöögist äikesenähtuste uurimisel.

on paakide või tsisternide elektriseerumine kütuse väljavoolamisel (miks?). Sellise kahjuliku elektriseerimise ärahoidmiseks tuleb paakide ja tsisternide korpused maandada.

Liikumisel elektriseeruvad ka masinate veorihmad ja transportöörlindid. Nende ja maapinna vahel tekkivad elektrisädemed võivad kergesti süttivate ainete tolmu või auruga täidetud hoonetes põhjustada plahvatuse või tulekahju (näiteks jahuveskites, värvimistsehhides ja mujal). Õnnetusjuhtumite ärahoidmiseks maandatakse hoolikalt kõik sellised masinad, mis võivad töötamise ajal elektriseeruda.



Joon. 174. Tehasekorstnale monteeritud piksekaitse.

Elektriseerimisnähtus ei ole mitte alati kahjulik, vaid sageli hoopis kasulik. Nii näiteks antakse värvimisel pihustatud värviosakestele negatiivne, värvitavale esemele aga positiivne laeng. Värviosakesed liiguvad elektriväljas ning katavad värvitava eseme ühtlase värvikihiga. Seejuures väheneb värvikulu, värvimiseks kuluv aeg ning saadakse ühtlane tugev värvikiht.

Elektrisädeme purustavat mõju otsustasid insenerid B. R. ja N. I. Lazarenko kasutada metallide töötlemiseks. Nende poolt avastatud elektrisädeme meetod võimaldab puurida mistahes kujuga avasid igasse metalli, isegi tugevasti karastatud terasesse ja ülitugevatesse sulamitesse.

Harjutus 26.

1. Kui lähendada kraanist voolavale peenikesele veejoale laetud pulk, siis kaldub veejuga kõrvale ning pritsib laiali. Selgitage seda nähtust.
2. Jagage vastavalt juhtide ja isolaatorite rühmadesse järgmised ained: vask, messing, süsi, eboniit, teras, kautšuk, grafiit, portselan, plastmass, klaas, siid, betoon, vaik, alumiinium, kampol, masinaõli, niiske õhk, kuiv õhk.
Täiendage toodud loetelu nende ainetega, mida kasutatakse teie töökohas.
3. Miks vähendab veorihmade ja transportöörlintide ülepuistamine grafiidi- või pronksipuruga nende elektriseerumist?
4. Miks lisatakse autokummide valmistamiseks kasutatavale kummile grafiiti ning tsemendile tahma?
5. Tehke kindlaks, kus teie töökohas esineb kehade elektriseerumist tööprotsessis. Kuidas selle nähtuse vastu võideldakse või kuidas seda tehnoloogilises protsessis kasutatakse?

XIV PEATÜKK.

ELEKTRIVOOL. VOOLU TOIMED.

§ 112. ELEKTRIVOOLU MÕISTE.

Eelmises peatükis tehti kindlaks, et elektrivälja mõjul liiguvad vabad elektronid negatiivselt laengult positiivsele laengule. **Elektrivälja mõjul toimuvat elektrilaengute suunatud liikumist nimetatakse elektrivooluks.**

Elektrivoolu saamiseks peavad olema täidetud järgmised tingimused:

1) peab olema elektriväli;

2) peavad eksisteerima elektrilaengud, mis võivad selle välja mõjul ümber asetuda.

Tekitame elektrivälja näiteks elektrofoormasina abil (joon. 172). Kuid voolu ei ole, sest ülalmärgitud tingimustest teine on täitmata. Kui aga ühendada masina kuulikesed juhiga, millesse on lülitatud neoonlamp, siis hakkab see silmapilguks helendama, viidates sellega lühiajalise voolu olemasolule.

Mööda kuulikesi ühendavat juhti liikuvad vabad elektronid neutraliseerivad kuulikestel asuvad laengud. Seejuures kuulikesi ümbritsev elektriväli nõrgeneb ning vool katkeb. Selleks et elektrivool oleks pidev, tuleb kogu aeg teha tööd masina ketaste ümberajamiseks ning laengute jaotamiseks.

Sellist masinat, mis jaotab elektrilaenguid ning hoiab alal elektrivälja, nimetatakse *vooluallikaks* ehk *generaatoriks*[1].

Elektrofoormasinas muundatakse elektrienergiaks mehhaaniline energia. Eksisteerivad ka teist tüüpi generaatorid. Nii näiteks tekib elektrivool kahe erineva metalli jootekoha soojendamisel. Siin muutub elektrienergiaks keha siseenergia. Kirjeldatud nähtusel põhineb *termoelektrilise generaatori* ehitus.

Elektrivool tekib ka mõne aine, näiteks seleeni valgustamisel. Sel juhul muundub elektrienergiaks valgusenergia. Sel nähtusel põhineb *fotoelektrilise generaatori* ehk *fotoelemendi* ehitus.

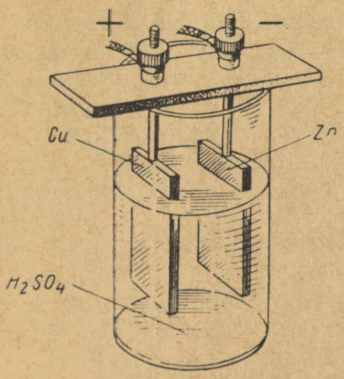
§ 113. GALVAANIELEMENDID JA AKUMULAATORID.

Esimeseks vooluallikaks oli itaalia füüsiku Volta poolt 1799. a. koostatud keemiline vooluallikas, mida ta ise hakkas nimetama *galvaanielemendiks*[2].

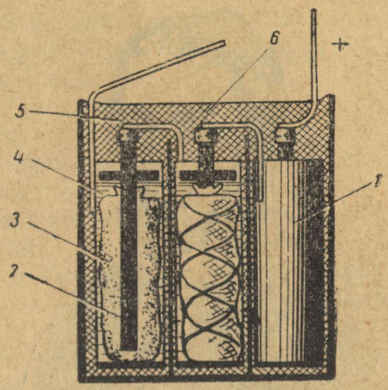
---

[1] Sõna tuleneb ladinakeelsest sõnast *generator* — tekitaja.

[2] Volta kaasaegse, itaalia õpetlase Galvani auks, kes avastas elektrivoolu.



Joon. 175. Volta element.



Joon. 176. Taskulambipatarei läbilõige.

Volta element koosneb 10-protsendilisse väävelhappe vesilahusesse asetatud tsink- ja vaskplaadist (elektroodidest) (joon. 175). Tsingi lahustumisel väävelhappes tehakse keemilise energia arvel tööd elektrilaengute jaotamiseks. Selle tulemusena laadub tsink negatiivselt, lahus ja vask aga positiivselt. Laetud elektroodide ümber tekib elektriväli. Kui elemendi *poolusteks* nimetatavate klemmide külge lülitada elektrikõlisti, siis hakkab see helisema, see aga tähendab, et kõlistit läbib vool. Kõlisti helisemine lakkab varsti, sest vaskplaat kattub vesinikumullikestega ning elemendi tegevus nõrgeneb. Sellist nähtust nimetatakse elemendi *polarisatsiooniks*.

Suurema tööindlusega galvaanielement koosneb tsinksilindrist *1* (joon. 176), mille sees asub süsivarras 2. Viimast ümbritseb mangaanülihapendi *3* kotike. Vesinik ühineb mangaanülihapendi hapnikuga, moodustades vee. Selle tulemusena väheneb elemendi polarisatsioon tunduvalt. Vedeliku asemel täidetakse silinder salmiaagi ja jahu segamisel saadud kliistriga *4*. Selleks et kliister silindrist välja ei voolaks, valatakse silinder pealt pigiga 5 kinni. Harilikult ühendatatakse omavahel kolm sellist elementi ning paigutatakse ühisesse pappkesta. Nii saadakse kõigile tuttav taskulambipatarei. Sellises elemendis on positiivseks pooluseks süsi, negatiivseks aga tsink. Galvaanielemendi ekspluateerimise käigus tsink lahustub ning elemendi tegevus lõpuks lakkab.

Ulatuslikku rakendamist on leidnud akumulaatorid[1]. Akumulaator annab elektrivoolu ainult siis, kui ta on laetud, s. t. kui temasse on talletatud teatud hulk energiat. Akumulaatorite kasutamisel ärakulutatud elektrienergia taastatakse uue laadimisega.

[1] Ladinakeelsest sõnast *accumulare* — koguma.



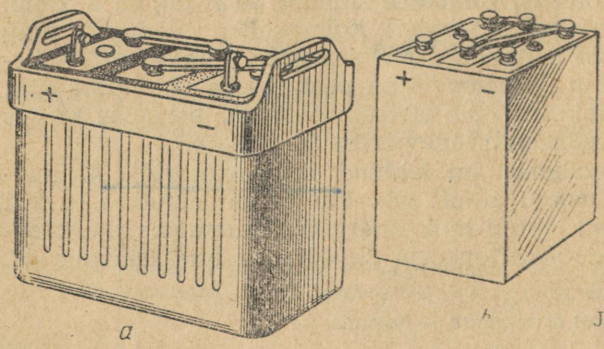
Alessandro Volta (1745—1827) — itaalia füüsik, elektrivoolu õpetuse üks rajajaid, esimese galvaanielemendi koostaja.

Lihtsa akumulaatori saamiseks tuleb 20-protsendilisse väävelhappe vesilahusesse asetada kaks pliiplaati. Kui ühendada nende plaatidega elektrikõlisti, siis see helisema ei hakka, see aga tähendab, et kõlistit ei läbi vool.

Kui läbi plaatide ja lahuse juhtida mingi teise vooluallika voolu, siis akumulaator laadub. Pärast laadimist võib seadet kasutada vooluallikana. Selles on kerge veenduda, kui ühendada akumulaatoriga uuesti elektrikõlisti. Kõlisti töötamise ajal akumulaator tühjeneb, selle tulemusena vool nõrgeneb ning kõlisti helisemine lõpuks katkeb.

Akumulaatori laadimisel teise vooluallika abil muudetakse viimase elektrienergia akumulaatori keemiliseks energiaks. Akumulaatori kasutamisel muutub kogutud keemiline energia uuesti elektrienergiaks.

Joonisel 177, *a* on kujutatud happeakumulaatori välisvaade,



a *b*

Joon. 177. Akumulaatorid.

joonisel 177, *b* aga leelisakumulaatori välisvaade. Leelisakumulaatoris on vedelikuks 20-protsendiline leelise (sööbekaaliumi) vesilahus, elektroodideks aga raud- ja nikeliinplaadid.

Sageli on raudelektroodiks akumulaatori korpus ise.

Akumulaatoreid kasutatakse väga mitmesugusteks otstarveteks. Väikestes elektrijaamades laetakse näiteks jaama väikese koormuse ajal akumulaatoreid, jaama suure koormuse ajal kasutatakse aga neid akumulaatoreid tarbijate varustamiseks elektrienergiaga (lisaks generaatori energiale).

Allveelaevade elektrimootoreid toidetakse veealuste sõitude ajal akumulaatorite patareidest (et mitte kulutada hapnikku kütuse põletamiseks soojusmasinates).

Autode juures kasutatakse akumulaatorit mootori käivitamiseks starteri abil ning valgustamiseks. Mootori töötamise ajal täiendatakse akumulaatori energiat mootori poolt käitatava generaatori abil.

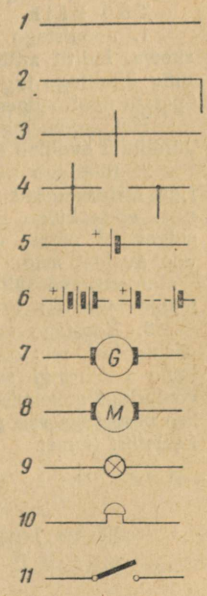
Akumulaator on väikeste veokärude elektrimootorite energiaallikaks. Selliseid elektrikärusid kasutatakse tehastes, raudteejaamades ja lennujaamades.

Tehke kindlaks, milleks kasutatakse akumulaatoreid teie tehases.

§ 114. VOOLURING JA SELLE OSAD.

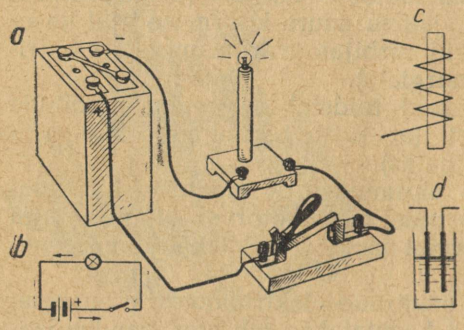
Selleks et anda elektrienergiat generaatorilt (vooluallikalt) tarbijale (elektrilampidele, elektrimootoritele), tuleb nad ühendada juhtmetega, moodustada *suletud vooluring*. Vooluringi kuulub vooluallikas (generaator), tarbija, ühendusjuhtmed ja juhtimis- ning kontrollimisseadmed. Alalisvool eksisteerib ainult *suletud* vooluringis. Vooluringi sulgemiseks ja katkestamiseks kasutatakse lülitit.

Enne vooluringi koostamist tehakse selle joonis. Joonise tegemisel kasutatakse vooluringi osade kindlaksmääratud tingmärke (joon. 178). Sellist tingmärkide abil koostatud joonist nimetatakse vooluringi *skeemiks*.



Joon. 178. Elektrilistel skeemidel kasutatavaid tingmärke. *1* — sirge juhe; *2* — juhtme suuna muutmine; *3* — lõikuvad juhtmed; *4* — ühendatud juhtmed; *5* — galvaanielement või akumulaator (pikem kriips vastab vooluallika positiivsele poolusele); *6* — elementide patarei; *7* — elektrivoolu generaator; *8* — elektrimootor; *9* — elektrilamp; *10* — elektrikõlistid; *11* — lüliti.

Joonisel 179, *a* on toodud vooluring, mis koosneb vooluallikast, lambikesest ja lülitist. Joonisel 179, *b* on kujutatud sama vooluringi skeem. Noolega on märgitud elektrivoolu kokkuleppeline suund (tehnikas on lepitud kokku lugeda voolu suunaks suunda positiivselt pooluselt negatiivsele).



Joon. 179. Vooluring ja selle tingmärgid.

§ 115. LABORATOORNE TÖÖ NR. 9.

Vooluringi koostamine ja voolu toimete vaatlemine.

Tööriistad: vooluallikas, lambike alusel, lüliti, nael, isoleertraadist mähis, klaas vaskvitrioli lahusega, lauake koos kahe süsivardaga, peenikesi naelu, ühendusjuhtmeid, smirgelpaberit.

Töö käik.

1. Joonistage vooluringi skeem vastavalt joonisele 179. Koostage vastav skeem. Lülitit mitte sulgeda. Juhtmete otsad puhastage smirgelpaberiga (miks?) ning kinnitage tugevasti seadmete klemmide alla. Pärast vooluringi kontrollimist õpetaja poolt sulgege lüliti.

Kui vooluring on õigesti koostatud, siis hakkab lambike põlema (miks?). Järelikult avaldab elektrivool *soojuslikku toimet.*

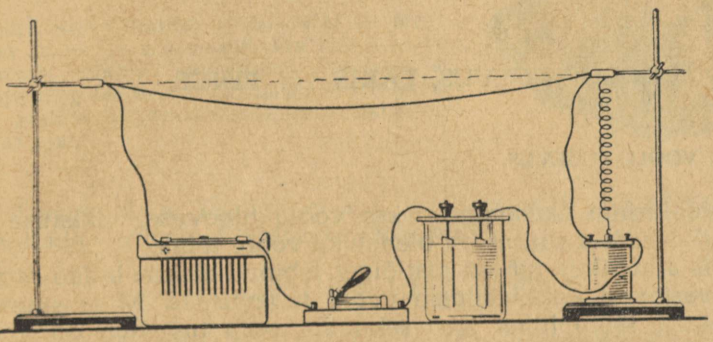
2. Mähkige raudnaela ümber isoleertraadist mähis, puhastage smirgelpaberiga mähise otsad ning lülitage see lambi asemel vooluringi. Kas tõmbab raudnael enda külge peenikesi naelu enne vooluringi sulgemist? pärast vooluringi sulgemist? pärast vooluringi katkestamist? Tehtud katsetest järeldub, et elektrivool avaldab *magnetilist toimet.*

Joonistage selle vooluringi skeem, märkides naela ja selle ümber oleva mähise joonisel 179, *c* toodud tingmärgiga.

3. Koostage vooluring vooluallikast, lülitist ja lauakesele kinnitatud kahest süsivardast, mis on asetatud vaskvitrioli lahusega täidetud klaasi (joon. 179, *d*). Enne vooluringi sulgemist veenduge söepulkade puhtuses. Viis minutit pärast vooluringi sulgemist näete ühel söepulgal heledat vasekihti. Tehke kindlaks, millise poolusega see pulk on ühendatud. Katsest järeldub, et elektrivool avaldab ka *keemilist toimet.*

Katsete abil veendusime, et elektrivool võib avaldada soojuslikku, magnetilist ja keemilist toimet. Teeme kindlaks, kas vool võib neid toimeid avaldada ka üheaegselt.

Koostame vooluringi, kuhu kuulub peenike metalltraat, isoleeritud traadist mähitud pool ning hõbedasoola lahusega nõusse asetatud kaks vaskplaati (joon. 180). Vooluringi sulgemisel läbib vool üksteise järel traadi, pooli ja hõbedasoola lahuse. Vooluringi osade sellist ühendamist nimetatakse *järjestikuseks.*



Joon. 180. Elektrivoolu mõjul traat kuumeneb, teraspulk tõmbub pooli sisse ning hõbedasoola vesilahusest eraldub hõbe.

Kui sulgeda vooluring, siis hakkab traat hõõguma, pool tõmbab raudsüdamiku enda sisse ning ühele vaskelektroodile eraldub hõbe. On silmanähtav, et mida kauem lastakse vooluringist voolu läbi, seda rohkem eraldub juhtmes soojust ning seda enam sadestub vaskelektroodile hõbedat. Seejuures läbib meie katseriistu ka suurem hulk elektrilaenguid, mida lühidalt nimetame *elektrihulgaks.*

On teada (§ 109), et kõige väiksemat laengut kannab elektron. See on aga väga väike elektri hulk. Seepärast kasutataksegi elektrihulga mõõtmiseks suuremat ühikut, mida nimetatakse *kuloniks* (C).

Kulon on võrdne $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elektroni laenguga. Kujutluse sellise elektrihulga suurusest võib saada elektrivoolu keemilise toime alusel.

Kui hõbedasoola lahust läbib 1 kulon elektrit, siis eraldub negatiivsele elektroodile (katoodile) 1,118 mg hõbedat.

1 kuloni läbiminekul teiste soolade vesilahustest eraldub erinev hulk vastavat ainet, näiteks 0,328 mg vaske, 0,304 mg niklit, 0,339 mg tsinki.

Harjutus 27.

1. Lõhkuge ära vana taskulambipatarei ning leidke sealt joonisel 176 toodud osad. Pöörake seejuures tähelepanu tsinkpurgikeste seisukorrale. Leidke taskulambi vooluringi põhilised osad.
2. Mõelge välja süsteem, kus kõlisti või lambiga signaliseeritakse vedeliku jõudmisest anumas maksimaalsele lubatud kõrgusele. Joonistage üles selle signalisatsioonisüsteemi skeem.
3. Tooge näiteid elektrivoolu toimete rakendamisest teile tuntud tööstusettevõtte tehnoloogilistes protsessides.
4. Mitu elektroni läbis elektrilambikest, kui laengu suurus oli 0,005 C? 200 C?
5. Kui palju eraldub elektroodile hõbedat, kui hõbedasoola lahust läbis 10 000 C elektrit?

XV PEATÜKK.

VOOLU TUGEVUS, TAKISTUS, PINGE.

§ 117. VOOLU TUGEVUS.

Iga vooluringi iseloomustatakse voolu tugevuse, takistuse ja pinge abil. Nendest suurustest oleneb ka voolu toime.

Mingis ajaühikus juhtme ristlõiget läbinud elektri hulka nimetatakse vastavalt kokkuleppele *voolu tugevuseks.* Mida suurem hulk elektrit läbib juhet igas sekundis, seda tugevam on vool. Taskulambipirnikest läbib igas sekundis 0,3 kulonit, elektripliiti aga 6 kulonit. Voolu tugevus pliidis on seega 20 korda suurem kui lambis.

Voolu tugevuse mõõduühikuks on *amper.* Ühikule on antud selline nimi prantsuse füüsiku ja matemaatiku André A m p è r e' i auks.

Ampriks nimetatakse sellist alalisvoolu tugevust, mille korral juhtme ristlõiget läbib igas sekundis üks kulon elektrit. Amprit märgitakse tähega A. Nõrkade voolude mõõtmiseks kasutatakse amprist tuhat korda väiksemat ühikut — *milliamprit* (mA).

Kui märkida juhtme ristlõikest läbivoolanud elektrihulk tähega q, selleks kulunud aeg tähega t ning voolu tugevus tähega I, siis

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

Voolu tugevuse mõõtmiseks võib kasutada voolu keemilist toimet. Lülitame vooluringi hõbedasoola lahusega täidetud anuma ning teeme kaalumise teel kindlaks meie poolt määratud ajavahemikus elektroodile eraldunud hõbeda koguse. Pärast seda arvutame elektrolüüti läbinud elektri hulga ning jagame selle ajaga sekundites.

N ä i d e. Leidke voolu tugevus sellises vooluringis, kus 10 minutiga eraldus 2,0 g hõbedat.



André Marie Ampère (1775—1836) — prantsuse füüsik ja matemaatik, kes tegi kindlaks vooluga juhtide vastastikuse mehhaanilise mõju ning rea teisi elektromagnetilisi nähtusi. Ta püstitas hüpoteesi magnetismi elektrilisest olemusest.

Lahendus. Teades, et 1 C eraldab 1,118 mg hõbedat, saab arvutada vooluringi läbinud elektri hulga:

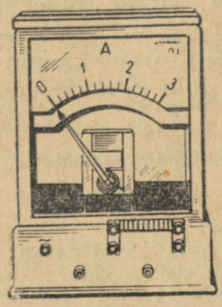
$$q = 2000 \text{ mg} : 1{,}1 \frac{\text{mg}}{\text{C}} = 1820 \text{ C}.$$

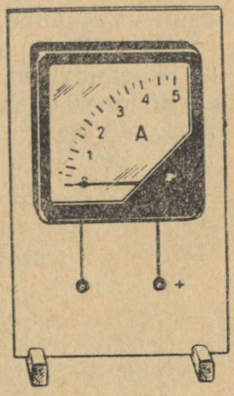
Arvu 1,118 ümardame 1,1-ks, sest ülesandes on andmed toodud just sellise täpsusega.

Leiame voolu tugevuse:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{1820 \text{ C}}{600 \text{ s}} \approx 3{,}0 \text{ A}.$$

Elektrivoolu tugevuse määramine voolu keemilise toime abil nõuab palju aega ja tööd. Seepärast kasutatakse praktikas spetsiaalseid mõõteriistu — *ampermeetreid* (joon. 181). Ampermeet-

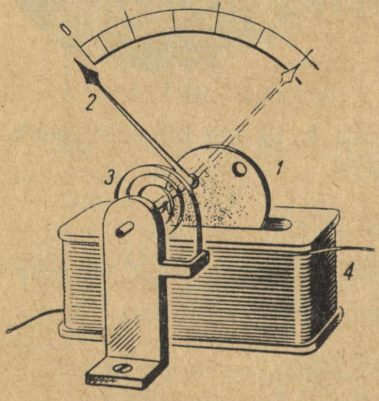




Joon. 181. Kooliampermeeter ja tehniline ampermeeter.

rites kasutatakse voolu tugevuse kindlaksmääramiseks voolu soojuslikku või siis magnetilist toimet. Tutvume lähemalt tehnikas ulatuslikult kasutatava elektromagnetilise ampermeetri ehituse ja töötamisega.

Sellise ampermeetri teljele (joon. 182) on kinnitatud pehmest rauast plaadike *1* koos osutiga *2*. Ampermeetri telge hoiab algasendis spiraalvedru *3*. Kui lasta pooli *4*, mis on keritud jämedast isoleeritud traadist, elektrivool, siis tõmbub plaat pooli sisse ning osuti kaldub kõrvale. Mida tugevam on vool poolis, seda rohkem tõmbub plaadike pooli sisse ning osuti kaldenurk suureneb. Osuti kõrvalekaldumisnurga järgi saab hinnata elektrivoolu tugevust. Mõõteriista skaalale kantakse voolu tugevus amprites.



Joon. 182. Elektromagnetilise ampermeetri ehitus.

Ampermeeter lülitatakse vooluringi järjestikku (joon. 183). Pärast vooluringi sulgemist oodatakse, kuni lõpeb mõõteriista osuti võnkumine, ning loetakse siis skaalalt voolu tugevus (enne tuleb kindlaks määrata mõõteriista jaotuse väärtus).

Skeemidel märgitakse ampermeetrit ringikesega, mille sisse on kirjutatud täht A. Mõne ampermeetri ühe klemmi juurde on märgitud kas + või siis —. Need märgid näitavad, millise vooluallika klemmiga tuleb antud klemm ühendada.

Ampermeetrit ei tohi lülitada vooluringi ilma tarbijata!

Mõnedes tarbijates kasutatava voolu tugevus amprites.

Elektrihõõglambid	0,1—5
Elektripliit	3—6
Trammi ДТИ-60 elektrimootor	112
Trollibussi elektrimootor	160
Elektriveduri ТЭ-3 elektrimootor	820

§ 118. LABORATOORNE TÖÖ NR. 10.

Voolu tugevuse mõõtmine vooluringi mitmesugustes osades.

Tööriistad: vooluallikas, kaks lampi, lüliti, ampermeeter, ühendusjuhtmed, nuga ja smirgelpaber juhtme otste puhastamiseks.

Töö käik.

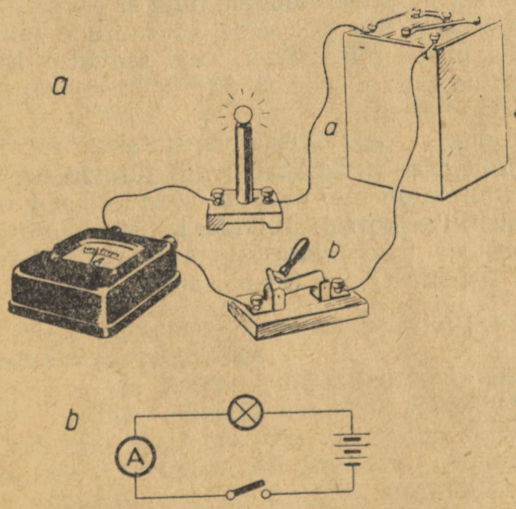
1. Koostage vooluring joonisel 183, *b* toodud skeemi järgi. Tehke kindlaks ampermeetri jaotuse väärtus. Pärast vooluringi kontrollimist õpetaja poolt lülitage vooluring sisse ning lugege ampermeetri näit.

Lülitage nüüd sama ampermeeter lambi ja vooluallika vahele, siis aga lüliti ja vooluallika vahele.

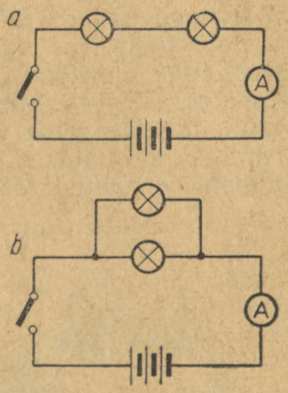
Joonistage iga lülituse skeem ning kirjutage nende alla ampermeetri näidud. Võrrelge neid näite.

2. Koostage vooluring, milles on kaks järjestikku ühendatud lampi (joon. 184, *a*). Joonistage neli võimalikku ampermeetri asetust selles vooluringis. Muutke vastavalt ka vooluringi osade asetust ning kirjutage iga kord üles ampermeetri näit. Võrrelge ampermeetri näite.

Millise järelduse võib teha eelkirjeldatud katsete põhjal voolu tugevuse kohta järjestikku ühendatud tarbijatega vooluringis?



Joon. 183. Ampermeetri lülitamine vooluringi.



Joon. 184, *a* — lampide järjestikuse ühenduse skeem; *b* — lampide paralleelse ühenduse skeem.

3. Koostage vooluring vastavalt joonisel 184, *b* toodud skeemile. Sellist tarbijate lülitust nimetatakse *paralleelseks*. Kirjutage üles ampermeetri näit. Tehke kindlaks, kumma lülituse korral (kas järjestikuse või paralleelse) on voolu tugevus vooluringis suurem. Miks?

Harjutus 28.

1. Mitu elektroni läheb sekundis läbi lambikese, kui voolu tugevus temas on 0,3 A? 1 mA?

2. Kui tugev vool läbib vaskvitrioli vesilahust, kui 1 tunniga eraldub katoodile 2,5 g vaske?

3. Kui palju niklit kulub nikeldamiseks 25 minutiga, kui voolu tugevus on 5,0 A?

4. Kui palju elektrit läbib elektrimootorit 7-tunnise töö kestel, kui voolu tugevus on 20 A?

5. Kui suured on joonisel 181 toodud ampermeetrite mõõtepiirkonnad ja skaala jaotuste väärtused? Kui tugevat voolu näitab joonisel 185 kujutatud ampermeeter?

6. Tehke kindlaks teie tööpinki või masinat läbiva voolu tugevus. Kui tööpingile või masinale on kinnitatud ampermeeter, siis tehke kindlaks selle mõõtepiirkond ja skaala jaotuse väärtus. Millist voolu tugevust näitab see ampermeeter masina töötamise ajal?

7. Joonistage vooluring järjestikku ühendatud lambi ja elektrikõlistiga, milles voolu tugevust mõõdetakse ampermeetriga.

§ 119. JUHTIDE TAKISTUS.

Elektrilaengud, näiteks metalli vabad elektronid, liiguvad juhi aatomite ja molekulide vahel, mõjuvad nendele ning annavad osa oma kineetilisest energiast neile üle. Seepärast ei suurene juhis liikumapandud elektronide kiirus piiramatult, vaid saavutab kiiresti juhi omadustest tingitud kindla kiiruse. Järelikult sõltub ka voolu tugevus juhis selle omadustest.

Juhi takistavat mõju elektrivoolule iseloomustatakse suurusega, mida nimetatakse *juhi takistuseks.* Erinevate juhtide takistused on erinevad. Mida suurem on juhi takistus, seda väiksem on voolu tugevus sama vooluallika korral. Juhtide takistuste võrdlemiseks kasutatakse takistuse mõõtühikut *oomi.* Takistusühiku nimetus on antud saksa füüsiku Georg Ohmi auks.

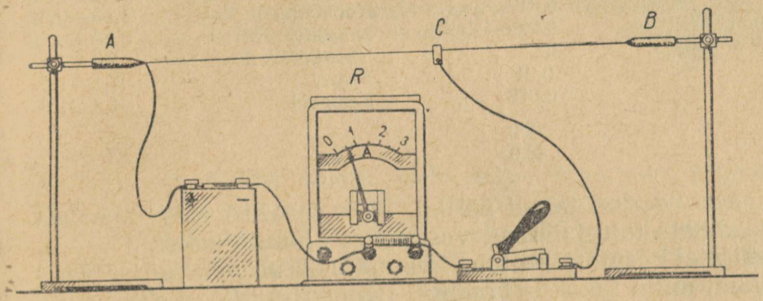


Georg Simon Ohm (1787—1854) — saksa füüsik, kes avastas elektrivoolu ühe põhiseaduse, mis määrab seose voolu tugevuse, pinge ja juhtme takistuse vahel. See seadus nimetati Ohmi seaduseks.

Takistusühiku oomi etalooniks on võetud 1 mm² ristlõikega ja 106,3 cm pikkusega elavhõbedasamba takistus temperatuuril[1] 0° C.

Takistus oleneb juhi mõõtmetest. Mida pikem on juht, seda rohkem aatomeid ja molekule mõjutab elektroni liikumist. Seepärast kasvab juhi takistus tema pikkuse suurenedes. Kontrollime siin tehtud järeldust katseliselt.

Kinnitame statiivide vahele juhi *AB* ning ühendame kontaktide *A* ja *C* (liikuv) abil selle vooluallikaga. Juhiga järjestikku lülitame ampermeetri (joon. 185). Kontakti *C* nihutamisega muudame vooluringi lülitatud juhi pikkust. Seejuures veendume, et juhi pikkuse suurenedes voolu tugevus väheneb. Järelikult juhi takistus suurenes. Juhi pikkuse vähendamisel voolu tugevus kasvab, see aga tähendab, et takistus väheneb.



Joon. 185. Seade, millega uuritakse takistuse sõltuvust juhtme pikkusest, ristlõike pindalast ja juhtme materjalist.

Täpsete katsetega on kindlaks tehtud, et **juhi takistus on võrdeline tema pikkusega.**

Kahe või kolme juhi kokkukeeramise teel saab suurendada juhi ristlõike pindala vastavalt kaks või kolm korda. Lülitame vooluringi algul ühe, siis aga mitmest juhist kokkukeeratud juhi. Juhtide ühesuguse pikkuse korral selgub, et kokkukeeratud juhis on voolu tugevus 2—3 korda suurem kui üksikus juhtmes. Katse näitab, et suurema ristlõike pindalaga juhi takistus on väiksem.

Täpsete katsetega on kindlaks tehtud, et **juhi takistus on pöördvõrdeline tema ristlõike pindalaga.**

Kui asendada keeduplaadi kroomnikkeltraat niisama pika ning niisama jämeda terasjuhtmega, siis selgub, et terastraadi takistus on umbes 10 korda väiksem kui kroomnikkeltraadil. Järelikult **juhi takistus oleneb ka ainest, millest juht on valmistatud.** Selle põhjuseks on ainete siseehituse erinevused ning vabade elektro-

[1] Temperatuur on märgitud sellepärast, et temperatuuri muutudes takistus muutub. Temperatuuri tõusmisel metallide takistus suureneb, vedelikel (juhtidel) ja söel aga väheneb.

nide erinevad hulgad juhi ühes ruumalaühikus. Mida rohkem on vabu elektrone, seda suurema laengu saab üheaegselt ümber asetada; tähendab — seda suurem on voolu tugevus juhis ning seda väiksem on juhi takistus.

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

Mõned eritakistused 20° C juures

$$\left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$$

Metallid		Sulamid	
Hõbe	0,016	Manganiin	0,42—0,48
Vask	0,017	Konstantaan	0,44—0,52
Alumiinium	0,029	Nikeliin	0,39—0,45
Nikkel	0,073	Kroomnikkel	1,0—1,1
Plii	0,21	Fehral	1,1—1,3
Raud	0,098	Kromeel	1,3—1,5
Grafiit	8,0		
Süsi	40,0		

Selgitage eeltoodud tabeli põhjal, miks tehakse elektrienergia ülekandeseadmete toitejuhtmed vasest või alumiiniumist.

Viimasel ajal kasutatakse tehnikas ulatuslikult *pooljuhte*. Need on materjalid, mille takistus tavalisel temperatuuril on suur, kuid väheneb järsult nende soojendamisel või valgustamisel, samuti elektrivälja asetamisel. Sellise nähtuse peamiseks põhjuseks on suure arvu vabade elektronide tekkimine. Nii näiteks on termotakisti MMT-4 takistus 20° C juures 10 000 oomi, 100° C juures aga ainult 1000 oomi, s. o. 10 korda väiksem.

Suure panuse pooljuhtide omaduste tundmaõppimisse andsid nõukogude füüsikud akadeemik A. F. Joffe juhtimisel. Joffe initsiatiivil loodi Leningradis Pooljuhtide Instituut.

§ 120. NÄITEID JUHTIDE TAKISTUSE ARVUTAMISEST.

Näide 1. Kui suur on 1,5 mm² ristlõike pindalaga 100 m pikkuse vaskjuhtme takistus?

Lahendus.

Tabelist leiame, et 1 mm² ristlõike pindalaga 1 m pikkuse vasktraadi takistus on 0,017 Ω. 100 m pikkuse sellise traadi takistus on:

$$0{,}017\ \Omega \cdot 100 = 1{,}7\ \Omega.$$

Niisama pika, kuid 1,5 mm² ristlõikega traadi takistus on 1,5 korda väiksem:

$$1{,}7\ \Omega : 1{,}5 \approx 1{,}1\ \Omega.$$



Abram Fjodorovitš Joffe (1880—1960) — väljapaistev nõukogude füüsik. Tema peamine töö oli pühendatud kristallide mehhaaniliste omaduste ning dielektrikute ja pooljuhtide elektriliste omaduste uurimisele.

Tuletame üldise valemi seda tüüpi ülesannete lahendamiseks. Märgime juhi takistuse tähega R, pikkuse tähega l, ristlõike pindala tähega S ning eritakistuse kreeka tähega ϱ (roo).

Kui 1 m pikkuse 1 mm^2 ristlõikega traadi takistus on ϱ oomi, siis l meetri pikkuse sama traadi takistus on ϱl oomi. Juhil, mille ristlõike pindala on S mm^2, on takistus S korda väiksem kui 1 mm^2 ristlõike pindalaga juhil, s. o. $\frac{\varrho l}{S}$ oomi.

Seega võib juhi takistuse R arvutada valemi

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

järgi.

Sellest valemist nähtub, et **juhi takistus on võrdeline juhi pikkusega ning pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga.**

Takistuse valemist saame eritakistuse mõõtühiku. Valemist $R = \frac{\varrho l}{S}$ saame, et $\varrho = \frac{RS}{l}$.

Asetades sellesse avaldisse ühikute nimetused, saame

$$\varrho = \frac{R\Omega \cdot S\ \text{mm}^2}{l\ \text{m}} = \frac{RS}{l} \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Seega on eritakistuse ühikuks $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Näide 2. Kui pikk tuleks võtta 2,0 mm^2 ristlõike pindalaga alumiiniumtraat, et selle takistus oleks 1,1 Ω?

Antud: Lahendus:

$S = 2{,}0$ mm^2; Alumiiniumi eritakistuse saame tabelist.

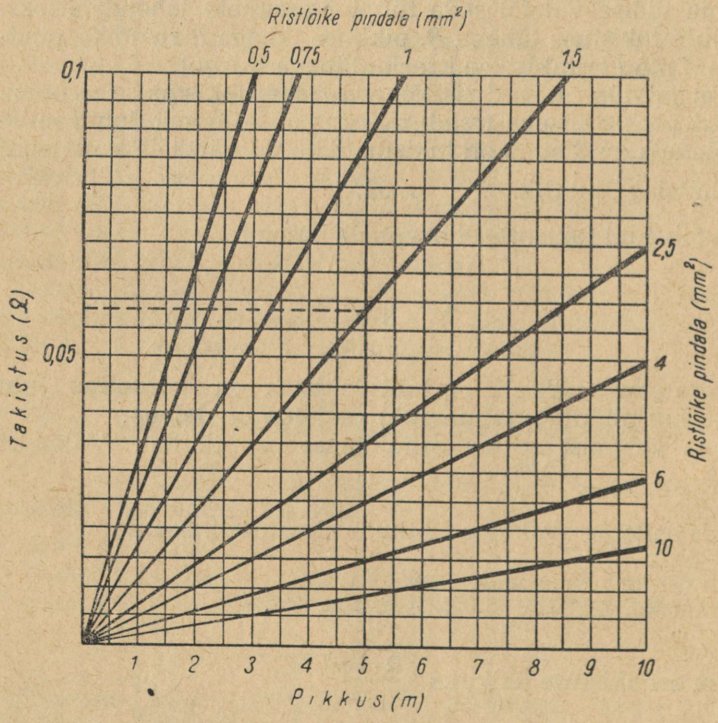
$R = 1{,}1$ Ω. Lahendame võrrandi $R = \frac{\varrho l}{S}$ suuruse l suhtes:

Leida l. $RS = \varrho l$, siit $l = \frac{RS}{\varrho}$.

$\varrho = 0{,}029 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. Asetame avaldisse arvulised suurused ning arvutame juhtme pikkuse:

$$l = \frac{1{,}1\ \Omega \cdot 2\ \text{mm}^2 \cdot \text{m}}{0{,}029\ \Omega \cdot \text{mm}^2} \approx 76\ \text{m}.$$

Näide 3. Kui suure ristlõikega peab olema 100 m pikkune alumiiniumtraat, et takistus oleks 1,1 Ω?



Joon. 186. Nomogramm vaskjuhtme takistuse, pikkuse ja pindala arvestamiseks ($\varrho = 0{,}017$).

Antud: $l = 100$ m; $R = 1{,}1\ \Omega$.

Leida S.

$\varrho = 0{,}029\ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.

Lahendus:

Valemist $R = \frac{\varrho l}{S}$ leiame, et

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

Asetame valemisse arvulised väärtused ning arvutame juhtme ristlõike pindala:

$$S = \frac{0{,}029\ \Omega \cdot mm^2 \cdot 100\ m}{m \cdot 1{,}1\ \Omega} \approx 2{,}6\ mm^2.$$

Arvutamise kiirendamiseks kasutatakse tehnikas selliste ülesannete lahendamiseks nomogramme. Joonisel 186 on toodud nomogramm vasktraadi takistuse, pikkuse ja ristlõike pindala arvutamiseks. 5 m pikkuse 1,5 mm² ristlõike pindalaga vasktraadi takistuse määramiseks nomogrammi abil tõmbame abstsissteljelt punktist 5 paralleelsirge ordinaatteljega kuni lõikumiseni ristlõike pindalale 1,5 mm² vastava kaldsirgega. Lõikepunktist tõmbame paralleelsirge abstsissteljega kuni ordinaatteljeni. Selle sirge ja ordinaattelje lõikepunkt annab juhtme takistuse $R = 0{,}058\ \Omega$.

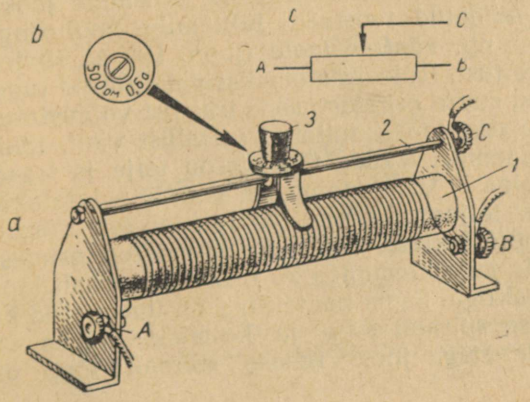
Mõelge, kuidas saab nomogrammi abil arvutada järgmisi ülesandeid:

1) leida juhtme pikkus antud ristlõike pindala ja takistuse kaudu;
2) leida juhtme ristlõike pindala antud pikkuse ja takistuse kaudu.

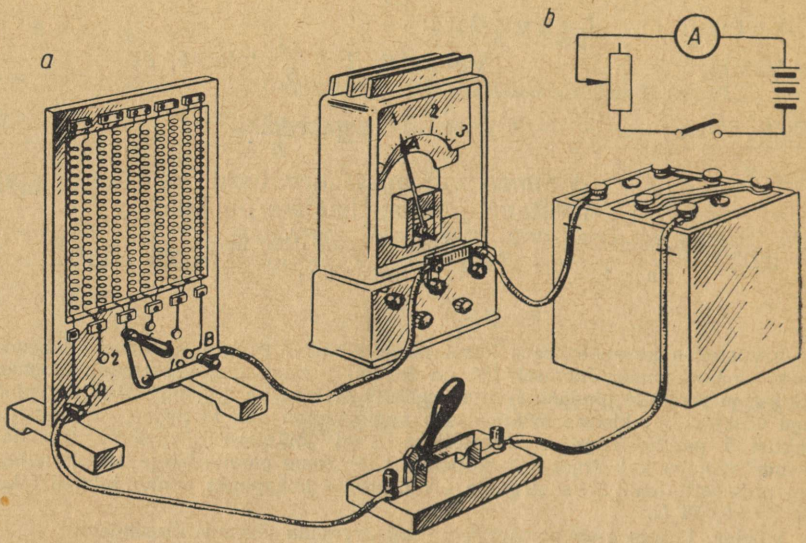
§ 121. REOSTAADID.

Muutes juhi pikkust muudame ühtlasi ka vooluringi takistust ning sel teel saame reguleerida voolu tugevust vooluringis. Selleks otstarbeks kasutatakse *reostaate*.

Liugreostaadi põhiliseks osaks on keraamilisele silindrile *1* mähitud suure eritakistusega pikk traat (joon. 187). Traadi otsad on ühendatud klemmidega *A* ja *B*. Keraamilise silindri tugede külge on kinnitatud metallvarras 2. Varras on tugedest isoleeritud. Mööda metallvarrast võib nihutada tihedalt vastu traadi keerde



Joon. 187. Liugreostaat.



Joon. 188. Väntreostaadi lülitamine vooluringi.

surutud liugurit 3. Traadi pinda katab oksiidikiht, mis on ka isolatsiooniks. Neis kohtades, kus mööda traate libiseb liugur, on oksiid kõrvaldatud. Seepärast võib vool minna traadist liugurisse ja vastupidi.

Kui lülitada reostaat vooluringi klemmide *A* ja *B* abil, siis saame muutumatu takistusega takisti. Kui aga lülitada reostaat vooluringi klemmide *A* ja *C* või *B* ja *C* abil, siis võib liuguri nihutamisega muuta takistust ning järelikult ka voolu tugevust vooluringis. Tehke joonise 187 abil kindlaks, kuidas muutub vooluringi takistus ning voolu tugevus, kui nihutada liugurit paremale või vasakule.

Joonisel 187, *c* on toodud reostaadi tingmärk skeemide jaoks, joonisel 188, *b* aga on näidatud reostaadi lülitamine vooluringi.

Mõnikord kasutatakse nn. *väntreostaate* (joon. 188, *a*). Kirjeldame sellise reostaadi ehitust. Isoleermaterjalist valmistatud tugevale kilbile on kinnitatud suure eritakistusega traadist valmistatud spiraalid. Kilbi alumisse ossa on kinnitatud metallist vänt, mille külge on monteeritud käepide. Vända üks ots on telje ja traadi kaudu ühendatud klemmiga *B*. Vända teine ots asub ühel kontaktidest, mis asuvad vända teljest võrdsetel kaugustel (on võrdne vända pikkusega). Esimese spiraali algus on ühendatud esimese kontaktiga, see omakorda jälle klemmiga *A*. Esimese spiraali lõpp on ühendatud teise kontaktiga. Sama kontaktiga on ühendatud ka teise spiraali algus. Teise spiraali lõpp ja kolmanda algus on ühendatud kolmanda klemmiga jne. Viimase spiraali lõpp on

ühendatud viimase klemmiga. Vända nihutamisel ühelt klemmilt teisele muutub takistus ühe spiraali takistuse võrra.

Vaadelge joonist 188 ja tehke kindlaks, milline takistus on lülitatud vooluringi ning kui tugevat voolu näitab ampermeeter. Kui suur on reostaadi iga spiraali takistus? Kuidas tuleb reostaadi vänta nihutada, et suurendada takistust kaks korda? vähendada 2 korda? suurendada 2,5 korda?

Igal reostaadil on kaasas pass (riista silt), kuhu on märgitud suurim lubatud pinge ja voolu tugevus (joon. 187, *b*). Lubatust suurema voolu korral võib reostaat «läbi põleda».

Joonisel 189 on toodud raadiotehnikas kasutatavad muudetavad ja püsivtakistid. Nende takistused vahemikus 1—999 Ω märgitakse tavaliselt ilma nimetuseta, takistused vahemikus 1000—999 999 Ω märgitakse tavaliselt kilo-oomides (KΩ). 1 000 000 oomist suuremaid takistusi antakse tavaliselt megaoomides (MΩ) ja nende osades (näiteks 2,0 MΩ; 2,2 MΩ).

Harjutus 29.

1. 1 m pikkuse ja 0,5 mm² ristlõike pindalaga konstantaantraadi takistus on 1 Ω. Kui suur on iga traadijupi takistus, kui see traat jagada neljaks võrdseks osaks? Kui suur on juhtme takistus, mis saadakse nende traadijuppide kokkukeeramisel?

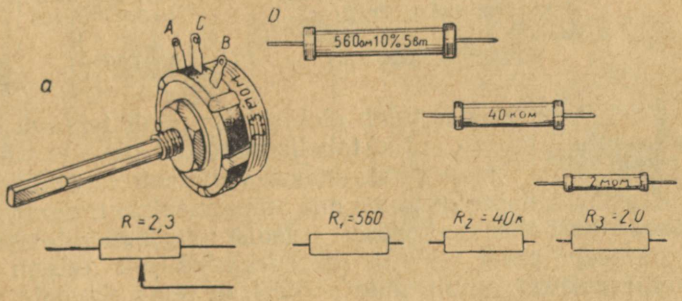
2. Võtke mingi juhe, mõõtke selle pikkus ning diameeter ja arvutage juhtme takistus.

Juhis. Ristlõike pindala arvutage valemi $S = \frac{\pi d^2}{4}$, kus d on traadi diameeter. Ristlõike pindala võib määrata ka vastavate tabelite abil.

3. Kui pikk tuleb võtta 0,40 mm² ristlõike pindalaga nikeliintraat, et teha sellest reostaat takistusega 500 Ω?

4. Elektrilambid asuvad 1,5 km kaugusel vooluallikast. Missuguse ristlõike pindalaga vasktraati tuleb kasutada nende lampide toitmiseks, kui juhtmete kogutakistus ei tohi ületada 2,0 Ω?

5. Tutvuge tunnis mitmesuguste reostaadi tüüpidega. Tehke nende siltide



Joon. 189. *a* — muudetava takistusega ja *b* — püsiva takistusega raadiotehnilised takistid ning nende tingmärgid.

abil kindlaks, millistes vahemikes saab iga sellise reostaadiga muuta takistust ning neid läbiva voolu tugevust.

6. Tehke kindlaks, kus ja milleks kasutatakse reostaate teie töökohas. Tutvuge nende reostaatide ehitusega.

7. Määrake nomogrammi abil (joon. 186) kindlaks 8 m pikkuse ja 1,5 mm^2 ristlõike pindalaga vasktraadi takistus.

8. Kui suure ristlõike pindalaga tuleb võtta vasktraat, et 6 m pikkuse traadi takistus oleks suurem kui 0,07 Ω?

§ 122. PINGE.

Paragrahvis 110 selgitati, et vabad elektrilaengud paiknevad ümber neile mõjuvate elektrivälja jõudude toimel. Järelikult, *nihutades elektrilaengut ühest kohast teise teeb elektriväli tööd* (vt. § 32). Tähendab — *elektriväljal on energiat.* On lepitud kokku iseloomustada elektrivälja energeetilisi omadusi *pinge* abil.

Pinge näitab tööd, mida elektriväli võib teha ühiklaengu paigutamisel välja ühest punktist teise.

Pingeühikuks on võetud *volt.* **Volt on selline pinge, mille juures väli teeb 1 kuloni suuruse laengu ümberpaigutamisel tööd 1 džauli.**

Suletud vooluringis jaotab vooluallikas pidevalt elektrilaenguid ning hoiab püsivat elektrivälja. Kuna vooluringi kõik osad asuvad selles väljas, siis ka igas osas eksisteerib pinge. Nii näiteks hoiab vooluallikas juhtmes *AC* (joon. 185) pinget 3 V. See tähendab, et iga kuloni nihutamiseks punktist *A* punkti *C* teeb elektriväli tööd 3 džauli.

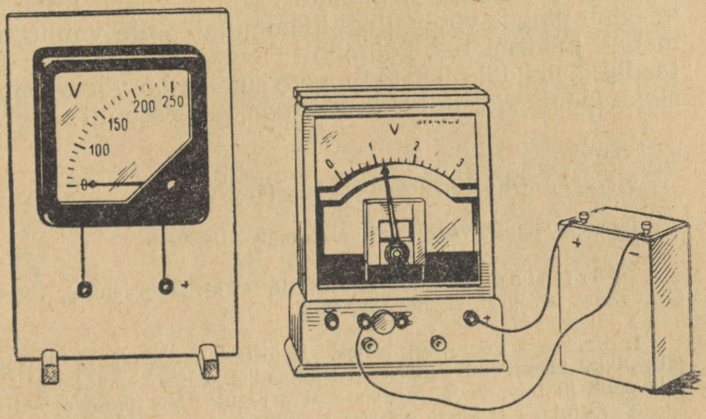
Pinget märgitakse tähega U, pingeühiku volt lühendiks on aga V.

Mõnede tehniliste seadmete pinged voltides.

Valgustusvõrk	110; 127; 220
Autoakumulaatorid	6; 12
Tramm, trollibuss	550
Elektriveduri mootor	1500
Kolmefaasilise voolu mootorid	127; 220; 380; 500
Elektrijaamade generaatorid	10 500—15 750
Alalisvoolu kõrgepingeliin Volgograd—Donbass	800 000

Selgitage, kuidas tuleb elektrivälja poolt tehtava töö tegemise seisukohalt mõista antud tabelis märgitud pingete väärtusi.

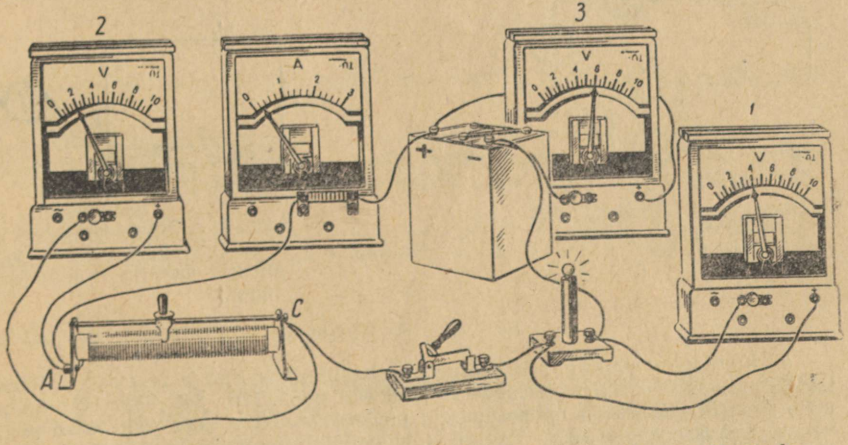
Pinge mõõtmiseks kasutatakse *voltmeetreid* (joon. 190). Nende töötamispõhimõte on sama mis ampermeetritel, ainult voltmeetrite poolid keritakse peenikesest traadist ning nendel on palju keerde. Voltmeetri pooli takistus on suur. Väliselt erineb voltmeeter ampermeetrist ainult selle poolest, et tema skaalale on märgitud täht V (esimene täht sõnast «volt»), mis on ühtlasi pingeühiku lühendiks.



Joon. 190. Tehniline voltmeeter ja kooli demonstratsioonvoltmeeter.

Selleks et mõõta voltmeetriga generaatori (akumulaatori) klemmipinget, tuleb voltmeetri klemmid ühendada generaatori klemmidega. Millist pinget näitab voltmeeter joonisel 190? Kui voltmeetri klemmi juurde on tehtud märk +, siis tuleb see voltmeetri klemm alati ühendada vooluallika positiivse poolusega.

Et mõõta pinget vooluringi mistahes kahe punkti vahel, tuleb voltmeetri klemmid ühendada nende punktidega. *Voltmeeter ühendatakse seega mõõdetava vooluringi lõiguga paralleelselt.* Joonisel 191 mõõdab üks voltmeeter pinget elektrilambi klemmi-



Joon. 191. Mõõteriistade lülitamine voolu tugevuse ja pinge mõõtmiseks.

del, teine reostaadi klemmide *A* ja *C* vahel. Kolmas voltmeeter mõõdab pinget vooluallika klemmidel. Selle vooluringi skeem on toodud joonisel 192. Pöörake tähelepanu sellele, et lambi ja reostaadi klemmidel olevate pingete summa on võrdne pingega vooluallika klemmidel. Püüdke selgitada, miks see nii on.

§ 123. LABORATOORNE TÖÖ NR. 11.

Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel.

Tööriistad: kaks akumulaatorit, elektrilamp alusel, reostaat, ampermeeter, voltmeeter, lüliti, ühendusjuhtmed.

Töö käik.

1. Koostage vooluring kahest järjestikku ühendatud akumulaatorist ning järjestikku ühendatud lambist ja reostaadist. Pärast vooluringi kontrollimist õpetaja poolt lülitage vooluring sisse ning reguleerige reostaadi abil lambi heledust.

2. Kujutage skeemil voltmeetri lülitus pinge mõõtmiseks lambi ja siis reostaadi klemmidel ning lõpuks lambis ja reostaadis kokku.

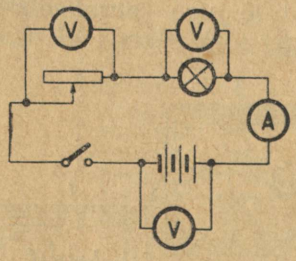
Lülitage voltmeeter vastavalt skeemile vooluringi ning tehke nõutavad mõõtmised.

3. Muutke reostaadiga lambi heledust (voolu tugevust) ning mõõtke uuesti pinge ülalkirjeldatud vooluringi osades. Võrrelge mõlemal juhul saadud vastavaid pingeid.

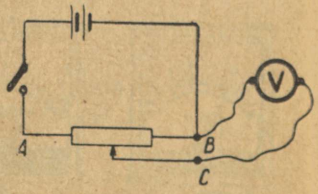
Tehke järeldus selle kohta, kuidas sõltub lampi läbiva voolu tugevus lambi klemmidele rakendatud pingest.

4. Selgitage, millega võrdub pinge lambi klemmidel siis, kui vooluring on katkestatud ning vool lampi ei läbi.

Lülitage voltmeeter sulgemata lüliti klemmidele. Kas lüliti klemmide vahel on sel juhul pinge, kui vooluring on avatud ning temas voolu ei ole? Miks ei ole voolu, kuigi pinge on olemas?



Joon. 192. Joonisel 191 toodud vooluringi skeem.



Joon. 193. Reostaadi rakendamine potentsiomeetrina võimaldab jaotada vooluallika pinget.

5. Koostage vooluring, mis koosneb vooluallikast, lülitist ja reostaadist. Reostaat lülitatakse vooluringi klemmide *A* ja *B* abil (joon. 193). Sel juhul võib klemmide *C* ja *B* vahel saada mitmesuguseid pingeid — nullist kuni vooluallika poolt antava maksimaalse pingeni. Sellisel juhul töötab reostaat pingejaotajana, nn. *potentsiomeetrina*.

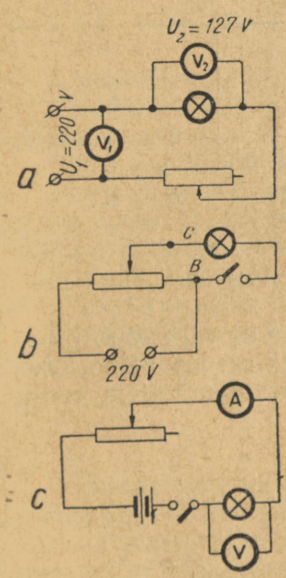
Harjutus 30.

1. Tehke kindlaks, millist pinget rakendatakse teie töökohas valgustamiseks ja millist elektrimootorites.

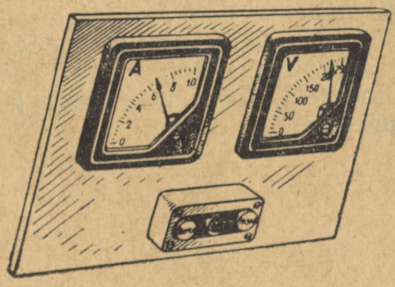
2. Skeemil on kujutatud vooluring, millesse on lülitatud lamp ja reostaat (joon. 194, *a*). Voltmeeter V_1 näitab üldpinget, V_2 aga pinget lambis. Milline on pinge reostaadi klemmidel?

3. Koostage kahest järjestikku ühendatud ühesugusest lambist ja kolmest järjestikku ühendatud akumulaatorist moodustatud patareist koosnev vooluring. Mõõtke voolu tugevus vooluringis ja pinge ühe lambi klemmidel. Millist pinget näitaks voltmeeter teise lambi klemmidel? akumulaatori klemmidel? Kontrollige seda katseliselt.

4. Võrku pingega 220 V on lülitatud reostaat (joon. 194, *b*). Reostaadi klemmide *B* ja *C* külge on lülitatud lamp, mis on ette nähtud pingele 110 V. Kuhu tuleb asetada reostaadi liugur, et lamp põleks normaalselt? Milline pinge on lambis, kui liugur on $\frac{1}{4}$ traadi pikkusel (lugedes klemmist *B*)?



Joon. 194. Harjutus 30 ülesannete 2, 4 ja 6 juurde.



Joon. 195. Lihtne jaotuskilp.

5. Tehke kindlaks, kus asub teie töökohas elektrienergia jaotuskilp koos mõõteriistadega. Millist pinget ja millist voolu tugevust näitasid mõõteriistad vaatlemise momendil? Millist pinget ja millist voolu tugevust näitavad mõõteriistad joonisel 195?

6. Kuidas muutuvad ampermeetri ja voltmeetri näidud, kui joonisel 194 toodud skeemi järgi koostatud vooluringis lükata reostaadi liugurit paremale?

§ 124. OHMI SEADUS VOOLURINGI OSA KOHTA.

Vooluringi iga osa iseloomustatakse selle takistusega, pingega selle otstel ja voolu tugevusega selles. Teeme kindlaks, kas nende suuruste vahel valitseb mingi seos. Kui jaa, siis milline see seos on?

Koostame vooluringi vastavalt joonisel 196 toodud skeemile. Potentsiomeetrina töötava reostaadi abil võib väntreostaadi klemmidel *CD* saada vajaliku pinge.

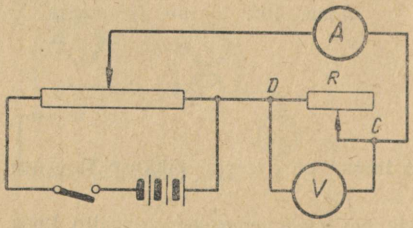
Mõõtes voolu tugevuse selles vooluringi lõigus (väntreostaadis) mitmesuguste pingete korral, saame näiteks järgmised tulemused:

U (V)	1	2	3	4	5	...	
I (A)	0,25	0,5	0,75	1,0	...	0,1	

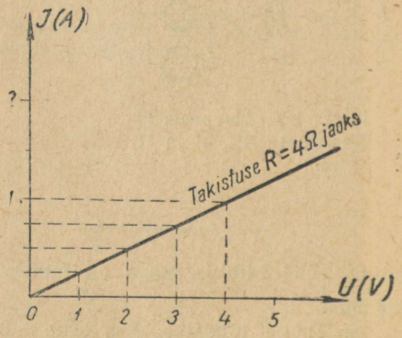
$R = 4\Omega$

Konstantse takistuse korral on voolu tugevus vooluringi mingis lõigus võrdeline pingega selle lõigu otstel.

Matemaatikast on teada, et võrdeline sõltuvus väljendub graafiliselt sirgena (täisnurkses koordinaatteljestikus). Kanname abstsissteljele (joon. 197) pinge (argument) ja ordinaatteljele voolu tugevuse (funktsioon).



Joon. 196. Skeem Ohmi seaduse kontrollimiseks.



Joon. 197. Voolu tugevuse ja pinge vahelise seose graafik konstantse takistuse korral.

Leidke toodud graafikult voolu tugevus 5 V pinge korral ning kontrollige saadud tulemust katseliselt. Täitke tabeli tühjad lahtrid.

Voolu tugevuse ja takistuse vahelise sõltuvuse kindlakstegemiseks muudame takistust konstantse pinge juures.

R (Ω)	4	2	8	10	5	...	
I (A)	0,5	1,0	0,25	0,2	...	0,1	

$U = 2\,V$

Saame näiteks järgmised tulemused:

Konstantse pinge korral on voolu tugevus vooluringi lõigus pöördvõrdeline selle lõigu takistusega.

Täitke tabeli tühjad lahtrid.

Ühendades mõlemad saadud järeldused saame elektrivoolu põhiseaduse: **voolu tugevus juhis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega ja pöördvõrdeline selle juhi takistusega.**

Selle seaduse avastas 1827. a. saksa teadlane Georg Ohm ja see kannab avastaja nime.

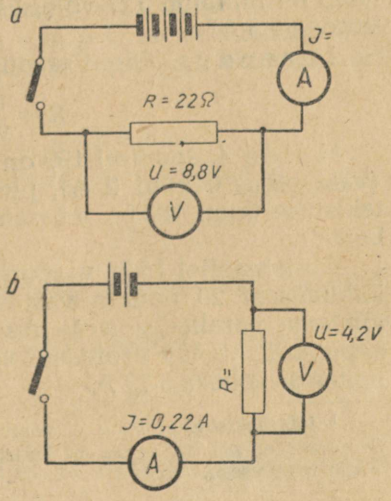
Kasutades tähelisi sümboleid võib Ohmi seaduse kirjutada järgmiselt:

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

Lahendades toodud võrrandi U ja R suhtes saame Ohmi seaduse kaks järeldust:

1. *Pinge vooluringi lõigu otstel on võrdeline voolu tugevusega selles lõigus ning lõigu takistusega.*

$$U = IR.$$



Joon. 198. Harjutus 3 ülesande 9 juurde.

2. *Vooluringi lõigu takistus on võrdne lõigu otstele rakendatud pinge ja lõiku läbiva voolu tugevuse jagatisega.*[1]

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

Viimane seos võimaldab määrata juhtme takistust ampermeetri ja voltmeetri abil. Selleks koostatakse vooluring vastavalt joonisel 198, *b* toodud skeemile, mõõdetakse voolu tugevus vooluringis ning pinge tundmatu takistusega juhtme otstel. Valemi $R = \frac{U}{I}$ abil arvutatakse siis tundmatu takistuse suurus.

Vooluringi mitmesuguste lõikude takistuse kiireks määramiseks kasutatakse *oommeetrit*. Oommeetri ehitusega tutvume hiljem.

§ 125. NÄITEID VOOLU TUGEVUSE, PINGE JA TAKISTUSE ARVUTAMISEKS.

Näide 1. Kui tugev vool läbib reostaati, takistusega 200 Ω, mis on lülitatud võrku pingega 220 V?

Lahendus. Asetame Ohmi seadusesse $U = 220$ V ja $R = 200$ Ω ning arvutame voolu tugevuse:

$$I = \frac{220\ \text{V}}{200\ \Omega} = 1{,}1\ \text{A}.$$

Näide 2. Arvutage pinge 5-oomise takistusega juhi otstel, kui seda juhti läbib vool tugevusega 0,3 A.

Lahendus. Kasutades Ohmi seaduse esimest järeldust saame:

$$U = 0{,}3\ \text{A} \cdot 5\ \Omega = 1{,}5\ \text{V}.$$

Näide 3. Kui suur on elektrilambi hõõgniidi takistus, kui lamp on lülitatud 127-voldisesse võrku ning teda läbib vool tugevusega 0,5 A?

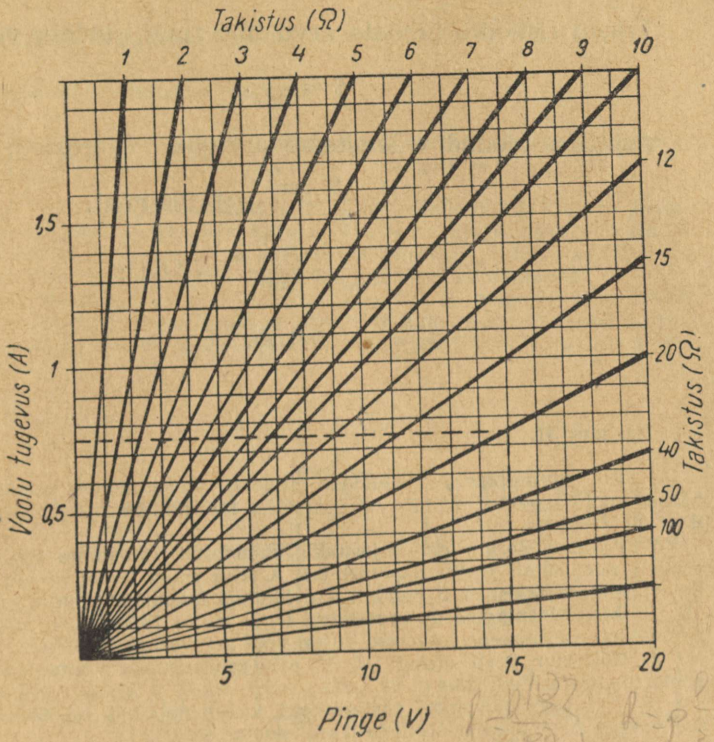
Lahendus. Ohmi seaduse teise järelduse järgi

$$R = \frac{127\ \text{V}}{0{,}5\ \text{A}} = 254\ \Omega.$$

Näide 4. Joonisel 199 on toodud nomogramm voolu tugevuse (vahemikus 0 kuni 2 A), pinge (vahemikus 1 V kuni 30 V) ja takistuse (kuni 100 Ω) määramiseks. Olgu $U = 15$ V ja $R = 20\ \Omega$. Leida I.

Abstsissteljel 15 V vastavast punktist tõmbame ordinaadi kuni lõikumiseni 20 oomile vastava graafiku joonega. Lõikepunktist tõmbame paralleelse sirge abstsissteljega kuni ordinaatteljeni. Lõikepunktile vastav ordinaadi väärtus näitab voolu tugevust. Meie näites on selleks 0,75 A.

[1] Juhi takistus ei sõltu ei voolu tugevusest ega temale rakendatud pingest. Seepärast ei saa ka öelda, et takistus on võrdeline pingega ja pöördvõrdeline voolu tugevusega.



Joon. 199. Nomogramm voolu tugevuse, pinge ja takistuse määramiseks.

Määrake nomogrammilt pinge U, kui $I = 1{,}2$ A ja $R = 9\ \Omega$.

Näide 5. Kui tugev vool läbib 4 m pikkust ja 0,50 mm diameetriga terastraati, mis on lülitatud 1,8 V pingega akumulaatori klemmide külge?

Antud:

$C = 4{,}0$ m;

$d = 0{,}50$ mm;

$U = 1{,}8$ V.

Leida I.

$\varrho = 0{,}098 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

Lahendus:

Selleks et leida Ohmi seadusest

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

voolu tugevust, peab teadma takistust.

Takistuse võib arvutada valemist

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

kuid meil ei ole teada ristlõike pindala S.

Traadi ristlõike pindala arvutame ringi pindala valemist:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Asetades toodud valemitesse arvulised väärtused, saame:

$$S = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2 \text{ mm}^2}{4} \approx 0{,}196 \text{ mm}^2;$$

$$R = \frac{0{,}098\ \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 4 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0{,}196 \text{ mm}^2} = 2{,}0\ \Omega;$$

$$I = \frac{1{,}8 \text{ V}}{2\ \Omega} = 0{,}9 \text{ A}.$$

Harjutus 31.

1. Kui juhtme otstele rakendada pinge 10 V, siis näitab ampermeeter 0,2 A. Millist voolu tugevust näitab ampermeeter, kui juhtme otstele rakendada pinge 4 V? 20 V? 30 V?
2. Akumulaatoriga on järjestikku ühendatud 15-oomine takisti ja ampermeeter, mis näitab voolu tugevust 0,1 A. Kui suurt voolu näitab ampermeeter, kui vähendada takistust 5 oomini? kui lülitada täiendavalt juurde takistus 15 Ω?
3. Millisele pingele on arvestatud lamp, mille 13,3-oomise takistusega hõõgniiti läbib normaalse helendumise korral vool tugevusega 75 mA?
4. Kui suur peab olema 150 V mõõtepiirkonnaga voltmeetri takistus, kui voolu tugevus mõõteriistas ei tohi olla suurem kui 0,01 A?
5. Kui suur on pinge ampermeetri klemmidel, kui mõõteriista läbib vool tugevusega 10 A ning mõõteriista pooli takistus on 0,02 Ω?
6. Reostaadi sildile on kirjutatud 3 A; 35 Ω. Kas võib sellise reostaadi lülitada vahetult võrku pingega 220 V? pingega 127 V?
7. Laboratooriumis on ampermeetrid mõõtepiirkondadega 1 A; 3 A; 5 A ja 10 A ning voltmeetrid mõõtepiirkondadega 5 V; 15 V; 50 V ja 150 V. 28 V pingega akumulaatorite patareiga ühendatakse reostaat takistusega 10 Ω. Missugused mõõteriistad tuleb valida selles vooluringis pinge ja voolu tugevuse mõõtmiseks?
8. Taskulambipirnile on kirjutatud 0,28 A; 3,5 V. Arvutage lambi hõõgniidi takistus lambi hõõgumisel.
9. Leidke joonisel 198 märgitud tundmatud suurused.
10. Poolile on mähitud 50 m isoleeritud vasktraati diameetriga 0,20 mm. Kas võib selle pooli vahetult ühendada 4 V pingega vooluallikaga, kui voolu tugevus poolis ei tohi ületada 1,5 A?
11. Kui pikk tuleb võtta kroomnikkeltraat elektriahju valmistamiseks, et 220 V pingega võrku lülitamisel oleks ahju läbiva voolu tugevus 20 A? Traadi diameeter on 1,2 mm.

§ 126. JUHTIDE JÄRJESTIKUNE ÜHENDAMINE.

Elektrivooluringid koosnevad harilikult mitmest üksteisega kas järjestikku või paralleelselt ühendatud osast. Keerulisemad vooluringid kujutavad endast nende kahe ühenduse kombinatsioone. Uurime katseliselt juhtide järjestikuse ühenduse iseärasusi.

LABORATOORNE TÖÖ NR. 12.

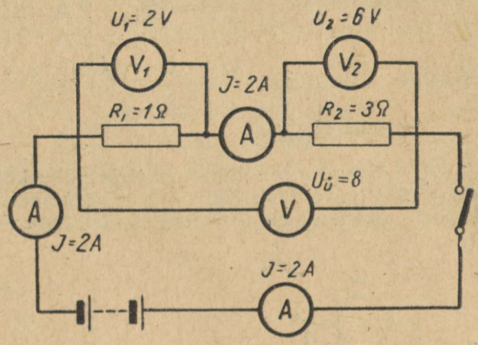
Juhtide järjestikuse ühenduse uurimine.

T ö ö r i i s t a d: vooluallikas, kaks tuntud takistit (näit. 1 Ω ja 4 Ω), ampermeeter, voltmeeter, lüliti, ühendusjuhtmed, nuga ja smirgelpaber.

T ö ö k ä i k.

1. Koostage vooluring vooluallikast, lülitist, ampermeetrist ja kahest järjestikku ühendatud takistist. Kontrollige katseliselt ning selgitage, miks ühe takisti väljalülitamisel katkeb vooluringis vool. Miks näitab ampermeeter alati ühte ja sama voolu, kui teda lülitada antud vooluringi erinevatesse osadesse?

2. Mõõtke voltmeetriga pinge U_1 ühe takisti otstel ja pinge U_2 teise takisti otstel ning üldine pinge U esimese takisti alguse ja teise takisti lõpu vahel. Joonistage üles vooluringi skeem (joon. 200). Mõõteriistade tingmärkide alla kirjutage nende näidud.



Joon. 200. Vooluringi skeem juhtide järjestikuse ühenduse uurimiseks.

3. Kontrollige ja selgitage, miks $U = U_1 + U_2$ (tuletage meelde, et pinge iseloomustab tööd (millist?), voolu tugevus on aga mõlemas takistis ühesugune).

Tehke kindlaks, milline seos on pingete U_1 ja U_2 ja nende lõikude takistuste R_1 ja R_2 vahel. Kirjutage järeldus üles ning tõestage tema õigsust Ohmi seaduse alusel.

4. Asetades avaldisse $U = U_1 + U_2$ pingete väärtused, mis on avaldatud voolu tugevuse ja takistuste kaudu, saame

$$IR = IR_1 + IR_2 \quad \text{ehk} \quad R = R_1 + R_2.$$

Kontrollige saadud järelduse õigsust.

Juhtide järjestikuse ühenduse juures kehtivad seega järgmised seaduspärasused:

1. *Voolu tugevus on kõigis järjestikku ühendatud juhtides ühesugune:*

$$I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n = I.$$

2. *Järjestikku ühendatud juhtide grupile rakendatud üldine pinge on võrdne üksikutele juhtidele rakendatud pingete summaga:*

$$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n.$$

3. *Pinge iga järjestikku ühendatud juhi otstel on võrdeline selle juhi takistusega:*

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \qquad \frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3} \quad \text{jne.}$$

4. *Järjestikku ühendatud juhtide kogutakistus on võrdne üksikute juhtide takistuste summaga:*

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n.$$

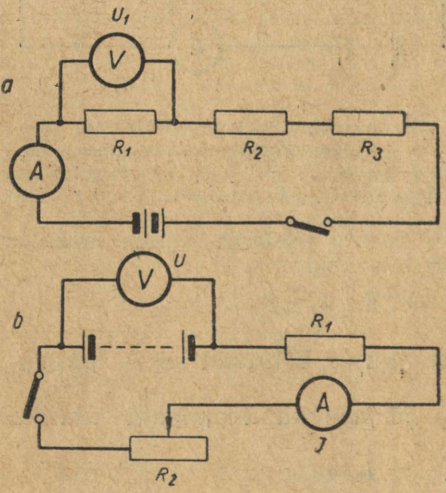
Näide. Kaks juhet takistustega 1 Ω ja 3 Ω on lülitatud vooluringi järjestikku. Voolu tugevus vooluringis on 2 A. Kui suur on järjestikku ühendatud lõigu kogutakistus? Kui suur on pinge lõigu otstel?

Lahendus:

$$R = R_1 + R_2 = 1\,\Omega + 3\,\Omega = 4\,\Omega;$$
$$U_1 = IR_1 = 2\,\text{A} \cdot 1\,\Omega = 2\,\text{V};$$
$$U_2 = IR_2 = 2\,\text{A} \cdot 3\,\Omega = 6\,\text{V};$$
$$U = U_1 + U_2 = 2\,\text{V} + 6\,\text{V} = 8\,\text{V}.$$

Harjutus 32.

1. Vooluringi on lülitatud järjestikku kolm takistit: $R_1 = 5\,\Omega$, $R_2 = 10\,\Omega$ ja $R_3 = 15\,\Omega$ (joon. 201). Kui tugevat voolu näitab ampermeeter? Kui suur on pinge esimese takisti alguse ja viimase takisti lõpu vahel? $U_1 = 0{,}8$ V.



Joon. 201. Harjutus 32 ülesannete 1 ja 6 juurde.

2. Trammivagunis on 5 järjestikku ühendatud lampi, igaüks pingele 120 V. Kui kõrget pinget rakendatakse järjestikku ühendatud lampide grupile?

3. Ilutulestikuks otsustati kasutada 12 V pingele ettenähtud lampe. Koostage skeem selliste lampide vahetuks lülitamiseks 127 V pingega võrku. Kui üks lamp läbi põleb, kas siis ülejäänud põlevad edasi? Kui suur on ühe lambi hõõgniidi takistus, kui voolu tugevus vooluringis on 1,2 A?

4. Kuidas saab 127 V pingele ettenähtud lampe kasutada 220 V pingega võrgus? Joonistage lampide lülitamise skeem. Kui suur on voolu tugevus sellises vooluringis, kui iga lambi takistus on 254 Ω?

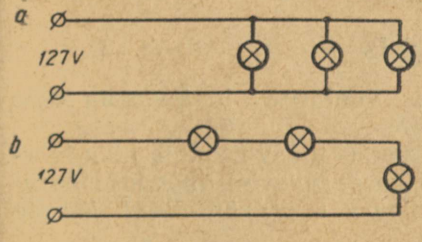
5. Voltmeetri osuti kaldub skaala lõpuni mõõteriista pooli läbiva 10 mA tugevuse voolu mõjul. Pooli takistus on 20 Ω. Kui suur lisatakistus tuleb lülitada järjestikku voltmeetri pooliga, et mõõta pinget kuni 150 V?

6. Millistes piirides võib muuta joonisel 201, *b* kujutatud skeemi järgi koostatud vooluringi takistust, kui takisti R_2 takistust võib muuta vahemikus 0—10 Ω? $R_1 = 50$ Ω; $U = 15$ V.

§ 127. JUHTIDE PARALLEELNE ÜHENDAMINE.

Kõige sagedamini ühendatakse elektrienergia tarbijad üksteisega paralleelselt. Nii näiteks on paralleelselt lülitatud korterites kasutatavad elektrilambid. Kõik teavad, et ühe lambi läbipõlemisel või selle pesast väljakeeramisel põlevad ülejäänud lambid edasi.

Joonisel 202, *a* on toodud skeem kolme lambi paralleelse ühendamise kohta. Kui ükskõik milline nendest lampidest välja keerata, siis ülejäänud ei kustu. Samade lampide järjestikuse ühenduse korral (joon. 202, *b*) põhjustab ühe lambi väljakeeramine kogu vooluringi katkemise. Selle tunnuse järgi on kerge kindlaks teha, kas on tegemist järjestikuse või paralleelse ühendusega.



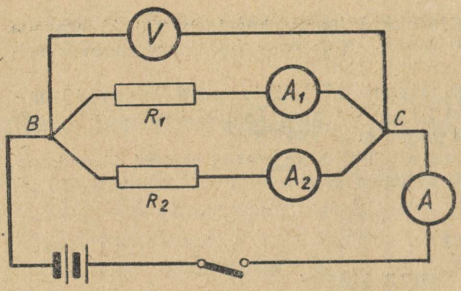
Joon. 202. *a* — lampide paralleelne ühendus; *b* — lampide järjestikune ühendus.

Paralleelse ühenduse juures ühendatakse kõik juhtide algused ühte vooluringi punkti, lõpud aga teise samasugusesse ühisesse punkti.

Milline seos on pinge, voolu tugevuse ja üksikute harude takistuste vahel paralleelse ühenduse korral? Selle väljaselgitamiseks koostame vooluringi, milles on kaks paralleelselt ühendatud juhti. Olgu $R_1 = 1$ Ω ja $R_2 = 3$ Ω (joon. 203).

1. Takistite R_1 ja R_2 otsad on ühendatud punktidega *B* ja *C*. Järelikult *pinge* paralleelselt ühendatud juhtide otstel on *ühesugune*. Ühendame punktidega *B* ja *C* voltmeetri. Olgu selle näit $U = 1{,}5$ V. See tähendab, et elektriväli teeb 1 kuloni nihutamisel punktist *B* punkti *C* mööda 1 Ω takistusega haru niisama palju tööd kui mööda 3 Ω takistusega haru.

2. Voolu tugevusi harudes on kerge arvutada Ohmi seaduse järgi.



Joon. 203. Juhtide paralleelse ühenduse tundmaõppimiseks kasutatava vooluringi skeem.

Voolu tugevus esimeses harus $I_1 = \frac{U}{R_1}$, meie näites on see $\frac{1{,}5\ \text{V}}{1\ \Omega} = 1{,}5\ \text{A}$.

Voolu tugevus teises harus $I_2 = \frac{U}{R_2}$, meie näites on see $\frac{1{,}5\ \text{V}}{3\ \Omega} = 0{,}5\ \text{A}$.

Kontrollime seda katseliselt. Selleks mõõdame ampermeetriga voolu tugevuse igas harus. Punktis *B* toimub nagu elektrilaengute jagunemine kaheks osaks, mis punktis *C* uuesti ühinevad. *Järelikult on voolu tugevus vooluringi hargnemata osas võrdne üksikute haruvoolude tugevuste summaga:*

$$I = I_1 + I_2.$$

Meie katses on voolu tugevus vooluringi hargnemata osas 1,5 A + 0,5 A = 2 A.

3. Konstantse pinge korral on voolu tugevus juhis pöördvõrdeline juhi takistusega. Tähendab ka *paralleelse ühenduse harudes peavad voolude tugevused olema pöördvõrdelised harude takistustega.*

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Võrreldes meie katses esinenud voolude tugevusi ja pingeid näeme, et tõepoolest

$$\frac{1{,}5\ \text{A}}{0{,}5\ \text{A}} = \frac{3\ \Omega}{1\ \Omega}.$$

4. Kuna voolu tugevus esimeses harus $I_1 = \frac{U}{R_1}$, teises harus $I_2 = \frac{U}{R_2}$ ning üldine voolu tugevus vooluringis $I = \frac{U}{R}$, siis, asetades need avaldisse $I = I_1 + I_2$, saame:

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

mille jagamisel *U*-ga

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

Takistuse pöördväärtust $\frac{1}{R}$ nimetatakse *juhi juhtivuseks.* Seega *paralleelse ühenduse juhtivus on võrdne paralleelselt ühendatud juhtide juhtivuste summaga.*

Näide. 5 lampi, igaüks takistusega 230 Ω, on lülitatud üksteisega paralleelselt. Kui suur on selle ühenduse kogutakistus?

Lahendus.

Ühenduse juhtivus

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{230\ \Omega} + \frac{1}{230\ \Omega} + \frac{1}{230\ \Omega} + \frac{1}{230\ \Omega} + \frac{1}{230\ \Omega} = \frac{5}{230}\ \frac{1}{\Omega},$$

millest

$$R = \frac{230\ \Omega}{5} = 46\ \Omega.$$

Seega on kogutakistus 5 korda väiksem kui ühe lambi takistus. **Paralleelselt ühendatud n ühesuguse takistusega juhi kogutakistus on iga juhi takistusest n korda väiksem.**

§ 128. LABORATOORNE TÖÖ NR. 13.

Juhtide paralleelse ühenduse tundmaõppimine.

Tööriistad: vooluallikas, kolm juhti, lüliti, ampermeeter, voltmeeter, ühendusjuhtmed.

Töö käik.

1. Koostage vooluring kahest paralleelselt ühendatud tuntud takistusega juhist, lülitist ja vooluallikast. Vooluringi lülitage ampermeeter voolu tugevuse mõõtmiseks kogu vooluringis ning voltmeeter pinge mõõtmiseks paralleelselt ühendatud juhtide otstel.
2. Pärast vooluringi kontrollimist õpetaja poolt sulgege lüliti ning mõõtke pinge juhtide otstel.
3. Mõõtke voolu tugevus vooluringi hargnemata osas ning lülitage siis ampermeeter järgemööda paralleelselt ühendatud harudesse. Võrrelge voolu tugevust hargnemata osas haruvoolude tugevuste summaga.

Võrrelge suhet $\frac{I_1}{I_2}$ suhtega $\frac{R_2}{R_1}$. Tehke järeldus, milline seos valitseb voolude tugevuste ja takistuste vahel paralleelselt ühendatud vooluringi osades.

4. Teades voolu tugevust vooluringis ning pinget paralleelselt ühendatud juhtide otstel arvutage paralleelse ühenduse kogutakistus. Leidke ühenduse juhtivus ning võrrelge seda harude juhtivuste summaga.
5. Asendage üks juht uuega ning mõõtke pinge uuesti. Arvutage voolu tugevus harudes ning vooluringi hargnemata osas. Kontrollige arvutuste õigsust ampermeetriga. Kui suur on selles katses paralleelse ühenduse juhtivus?

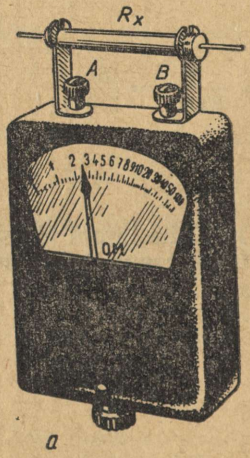
§ 129. LABORATOORNE TÖÖ NR. 14.

Lihtsa oommeetri valmistamine ja gradueerimine.

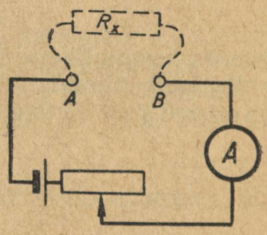
T ö ö r i i s t a d: vooluallikas, valge paberiga kinnikleebitud skaalaga ampermeeter (osuti on näha!), liugreostaat takistusega 6 Ω, 1-, 2-, 4-oomised takistid, tundmatu takistusega juht, ühendusjuhtmed ja mõned oommeetrid (avomeetrid) klassi kohta.

T ö ö k ä i k.

Lihtne oommeeter (joon. 204, *a*) koosneb tundlikust ampermeetrist või milliampermeetrist, galvaanielemendist ($U = 1{,}5$ V) ja muudetava takistusega takistist. Klemmide *A* ja *B* külge ühendatakse tundmatu takistus R_x.



a



b

Joon. 204. *a* — lihtsa oommeetri üldvaade, *b* — lihtsa oommeetri skeem.

1. Koostage oommeeter vastavalt joonisel 204, *b* toodud skeemile. Juhtide vabad otsad *A* ja *B* ühendage. Ampermeetri osuti kaldub nüüd kõrvale. Reostaadi abil viige osuti nullasendist võimalikult kaugele, kusjuures tuleb jälgida, et osuti ei väljuks ampermeetri mõõtepiirkonnast.

2. Gradueerige oommeetri skaala.

a) Märkige pliiatsiga paberile osuti asend ning märkige see nulliga, sest otste *A* ja *B* kokkupuutumise korral on nende punktide vaheline takistus võrdne nulliga.

b) Lahutage teineteisest otsad *A* ja *B*. Osuti tuleb nüüd oma algasendisse tagasi. Märkige osuti asend ning kirjutage märgi juurde ∞, sest antud olukorras on otste *A* ja *B* vaheline takistus väga suur.

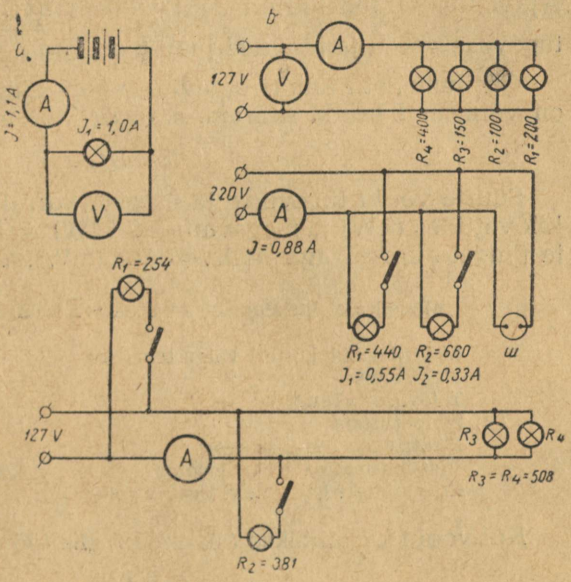
Lülitage otste *A* ja *B* vahele järgemööda takistid suurusega 0,5 Ω, 1 Ω, 2 Ω 3 Ω, 4 Ω, ..., 10 Ω. Märkige iga kord osuti asend ning kirjutage selle juurde vastava takistuse suurus.

3. Pärast oommeetri skaala gradueerimist mõõtke saadud riista abil mingi tundmatu takistuse suurus. Selgitage, miks on tarvis enne tundmatu takistuse mõõtmist ühendada otsad *A* ja *B* väga väikese takistusega juhi abil?

4. Vaadelge teile tutvumiseks antud tööstuslikult toodetud oommeetrit. Mõõtke selle abil mingi tuntud takistuse suurus. Kas mõõtmisel saadud tulemus asub takistile märgitud takistuse piirides?

Harjutus 33.

1. Kui tugev vool läbib voltmeetrit ning millist pinget ta näitab, kui voltmeetri takistus on 45 Ω (joon. 205, *a*)? Kui suur on lambi hõõgniidi takistus?
2. Kui tugev vool läbib vooluringi, kui teine lamp välja lülitada ning seinakontakti ühendada 110-oomise takistusega triikraud (joon. 205, *c*)?
3. Ilutulestiku jaoks kasutati 50 127 V pingele määratud lampi. Kuidas tuleb need lülitada sama pingega võrku? Kui suur on vooluringi juhtivus, kui iga lambi takistus on 370 Ω?
4. On olemas kaks takistit, kumbki takistusega 12 MΩ. Kuidas tuleb need lülitada, et kogutakistus oleks 6 MΩ? 24 MΩ?
5. Millist voolu tugevust näitab ampermeeter lampide lülitamise iga võimaliku variandi korral (joon. 205, *b* ja *d*)? Kui tugev vool läbib iga variandi puhul vooluringi?



Joon. 205. Harjutus 33 ülesannete 1, 2 ja 5 juurde.

6. Kooligalvanomeetri osuti kaldub maksimaalselt kõrvale 0,007 A tugevuse voolu mõjul. Selle galvanomeetri kasutamiseks ampermeetrina mõõtepiirkonnaga 1 A tuleb temaga paralleelselt ühendada juht, mida läbib vool tugevusega $1 - 0{,}007 = 0{,}993$ A. Kui suur peab olema selle juhi (šundi) takistus, kui galvanomeetri pooli takistus on 28 Ω?
7. Kui pikk tuleb võtta eelmises ülesandes kirjeldatud šundi valmistamiseks vajalik manganiiniriba ($\varrho = 0{,}45 \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}}$), kui riba laius on 3,0 mm ja paksus 0,20 mm?

XVI PEATÜKK.

ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS.

§ 130. ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS.

Pinge vooluringi lõigu otstel näitab tööd, mida tehakse elektrivälja poolt 1 kuloni nihutamiseks mööda seda lõiku. Kui mööda juhti nihutatakse 1 kulon pingel U volti, siis on elektrivälja poolt tehtav töö U džauli.

Kuna 1 A tugevuse voolu korral läbib juhtme ristlõiget igas sekundis 1 kulon, siis on ühes sekundis tehtav töö U džauli. Ajaühikus tehtud töö on aga võimsus[1] (vt. § 34). Tähendab 1 A tugevuse voolu ja pinge U juures on voolu võimsus $U \frac{\text{J}}{\text{s}} = U$ W.

On ilmne, et I ampri tugevuse voolu ning sama pinge U juures on võimsus I korda suurem, s. o. UI W. Seega

$$P = UI.$$

Suurte voolu tugevuste ja pingete korral mõõdetakse võimsust kilovattides (kW) ja megavattides (MW), väikeste voolu tugevuste ja pingete korral aga millivattides (mW).

Mõnedes elektriseadmetes kasutatava elektrivoolu võimsus.

Elektrilambid korteri valgustamiseks	15—200 W
Elektripliit	400—800 W
Televiisor «Temp-3»	165 W
Silopurustaja	10 kW
Elektriveduri H-8 mootor	525 kW
Valtsimismasina elektrimootor	8500 kW
Krasnojarski hüdroelektrijaama generaator	500 000 kW

Kui voolu kasutatakse t sekundit, siis töö

$$A = Pt.$$

Väljendades selles valemis võimsuse voolu tugevuse ja pinge kaudu, saame elektrivoolu töö arvutamiseks valemi:

$$A = IUt.$$

Kui pinget mõõdetakse voltides, voolu tugevust amprites ning aega sekundites, siis väljendub töö džaulides ehk vatt-sekundites (kui 1 W $= 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$, siis 1 J $= 1$ W $\cdot$ s).

Praktikas mõõdetakse aega tundides ning tööd harilikult vatt-tundides (Wh), hektovatt-tundides (hWh) või kilovatt-tundides (kWh).

---

[1] Erinevalt mehhaanikast tähistatakse elektrotehnikas võimsust tähega P.

$1\ \text{Wh} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600\ \text{s} = 3600\ \text{J}.$

$1\ \text{hWh} = 100\ \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600\ \text{s} = 360\,000\ \text{J}.$

$1\ \text{kWh} = 1000\ \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600\ \text{s} = 3\,600\,000\ \text{J}.$

Näide 1. Elektrilamp on lülitatud võrku pingega 220 V. Kui suur on lampi läbiva voolu võimsus, kui voolu tugevus on 0,3 A?

Lahendus.
Valemi $P = IU$ järgi arvutame võimsuse:

$$P = 220\ \text{V} \cdot 0{,}3\ \text{A} = 66\ \text{W}.$$

Näide 2. Kui palju teeb elektrivool 2 tunni jooksul elektripliidis tööd? Võrgu pinge on 127 V, pliiti läbiva voolu tugevus aga 5 A.

Lahendus.
Valemi $A = UIt$ järgi arvutame töö:

$$A = 127\ \text{V} \cdot 5\ \text{A} \cdot 2\ \text{h} = 1270\ \text{Wh} \approx 13\ \text{hWh}.$$

§ 131. LABORATOORNE TÖÖ NR. 15.

Elektrilambi poolt tarbitava voolu võimsuse ja hõõgniidi takistuse määramine.

Tööriistad: vooluallikas, ampermeeter, voltmeeter, lüliti, kaks ühesugust elektrilampi koos pesadega, ühendusjuhtmed.

Töö käik.

1. Joonistage skeem ja koostage selle järgi vooluring vooluallikast, lülitist ja ampermeetriga järjestikku ühendatud lambist. Lambi klemmidele kinnitage voltmeeter. Pärast vooluringi kontrollimist õpetaja poolt sulgege vooluring lüliti abil, kirjutage üles mõõteriistade näidud ning arvutage lampi läbiva voolu võimsus. Arvutage lambi hõõgniidi takistus lambi põlemisel.

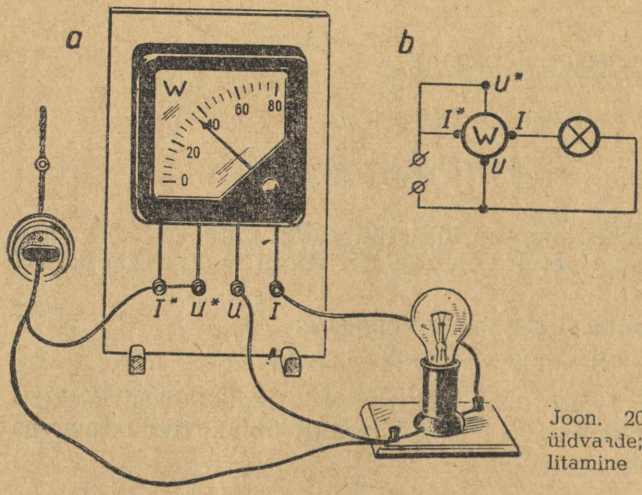
2. Lülitage esimese lambiga järjestikku veel teine lamp ning mõõtke kahe lambi võimsus ning takistus (kuidas tuleb sel juhul ühendada voltmeeter?). Joonistage selle vooluringi esialgne skeem.

3. Lülitage lambid teineteisega paralleelselt, mõõtke voolu tugevus ning pinge ja arvutage kahe lambikese poolt kasutatava voolu võimsus.

4. Võrrelge saadud võimsusi. Miks on järjestikuse ühenduse juures kasutatava voolu võimsus 4 korda väiksem kui paralleelse ühenduse juures kasutatava voolu võimsus?

§ 132. ELEKTRIVOOLU TÖÖ (ELEKTRIENERGIA) MÕÕTMINE ARVESTI ABIL.

Tehnikas kasutatakse võimsuse mõõtmiseks *vattmeetrit* (joon. 206, *a*). Selle mõõteriista skaalalt loetakse vahetult võimsuse väärtus. Vattmeetri vooluringi lülitamise skeem on toodud joonisel 206, *b*.



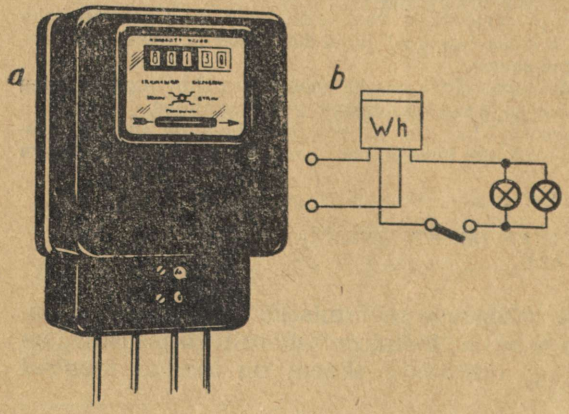
Joon. 206. *a* — vattmeetri üldvaade; *b* — vattmeetri lülitamine vooluringi.

Vattmeetri skaala on märgitud tähega W — võimsuse mõõtühiku lühendiga. Millistes ühikutes mõõdetakse võimsust riistadega, mille skaalale on märgitud kW või MW?

Mitmesuguste elektriseadmete (elektrimootorite, elektriahjude, lampide jt.) poolt tarbitava elektrienergia mõõtmiseks ja arvestamiseks kasutatakse *elektrienergia arvesteid* (joon. 207).

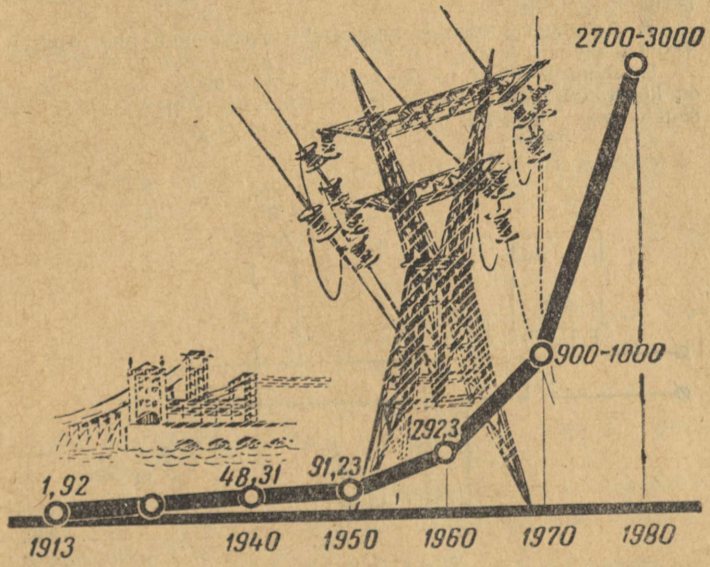
Me ei tutvu arvesti ehituse ja töötamise põhimõttega, kuid õpime määrama tema näitu ja kulutatud energiahulka ning selle hinda.

Arvesti aknakesest on näha numbrid ning nende all kiri «киловатт-часы» (kilovatt-tunnid). Numbrid kuni komani näitavad kilovatt-tunde, pärast koma aga kilovatt-tunni kümnendikke ja sajan-



Joon. 207. *a* — elektrienergia arvesti üldvaade; *b* — arvesti tingmärk ja võrku lülitamise skeem.

dikke. Alumisest väikesest aknakesest on näha alumiiniumketas. Mida rohkem energiat kulutatakse ajaühikus, seda kiiremini pöörleb kettake. Joonisel 207 kujutatud arvesti näitab 801,30 kWh. Oletame, et kuu aja pärast näitab arvesti 816,20 kWh. Kuu ajaga kulutati seega 816,20 — 801,30 = 14,90 kWh. Kui koduses majapidamises kasutatava elektrienergia üks kilovatt-tund maksab 4 kopikat, siis tuleb kulutatud energia eest maksta 4 kop. · 14,90 = = 59,6 kop. ≈ 60 kop.



Joon. 208. Elektrienergia tootmise kasv NSV Liidus (miljardites kilovatt-tundides).

Tehke kindlaks, kui palju maksab üks kWh elektrienergiat teie töökohas.

Joonisel 208 toodud diagrammil on näidatud elektrienergia tootmise kasv NSV Liidus ning plaan lähemaks 15—20 aastaks.

Vaatamata elektrienergia tootmise kiirele kasvule on koduses majapidamises ja tööstuses toimuval elektrienergia kokkuhoiul suur tähtsus, sest iga kilovatt-tund elektrienergiat võib asendada kahe töölise poolt seitsmetunnise tööpäeva jooksul tehtud töö.

Harjutus 34.

1. Trammi mootor tarvitab 550 V pinge juures voolu tugevusega 70 A. Kui suur on mootori võimsus?
2. Elektrilambile on kirjutatud 127 V, 40 W. Leidke lampi läbiva voolu tugevus.

3. Tehke kindlaks nende elektriseadmete võimsus, millega te tegelete oma töökohas (elektriahjud, jootetõlvikud, elektrimootorid, keevitusseadmed jne.). Teades võrgu pinget, arvutage neid seadmeid läbiva voolu tugevus.

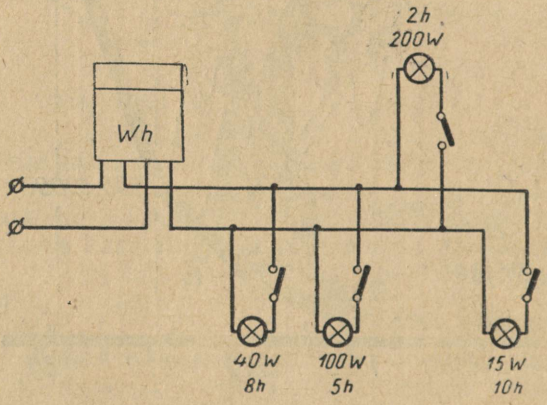
4. Reostaadi sildile on kirjutatud 20 Ω, 3 A. Kui suur on reostaadi traadi kuumenemise piirvõimsus, kui talle on rakendatud piirpinge?

5. Tornkraana tõstab 0,5 T raskust koormat ühtlaselt kiirusega $20\frac{m}{min}$. Kraana elektrimootorit, mis on arvestatud pingele 220 V, läbib vool tugevusega 15 A. Kui suur on kraana kasutegur selle tõste juures?

6. Füüsikatunniks läksid õpilased klassist füüsikakabinetti, kuid jätsid välja lülitamata 6 150-vatist lampi. Kui palju elektrienergiat kulus selle õppetunni ajal (45 min) kasutult?

7. Arvutage 3 tunniga kulutatud elektrienergia hulk triikrauaga triikimisel. Voolu tugevus triikrauas on 1,5 A ning võrgu pinge 220 V.

8. Joonisel 209 on toodud korteri nelja lambiga elektriseade. Iga lambi juurde on kirjutatud tema võimsus ja kasutamisaeg ööpäevas. Kui suurt energiakulu näitab arvesti kuus? Kui palju see energia maksab?



Joon. 209. Harjutus 34 ülesande 8 juurde.

9. Kui palju maksab elektrienergia, mis kulub 1,8 tonni piima töötlemiseks separaatoriga «Uraal-6». Separaatori tootlikkus on 0,6 tonni tunnis, võimsus 0,15 kW ning 1 kWh elektrienergiat maksab 4 kop.

10. Elektriga töötava viljapeksumasina MK-1100 võimsus täiskoormuse korral on 13 kW. 12 tunniga peksis masin 10 t vilja. Elektrienergiat kulus ühe tonni vilja peksmiseks 6,9 kWh. Kui suur oli masina koormamise protsent?

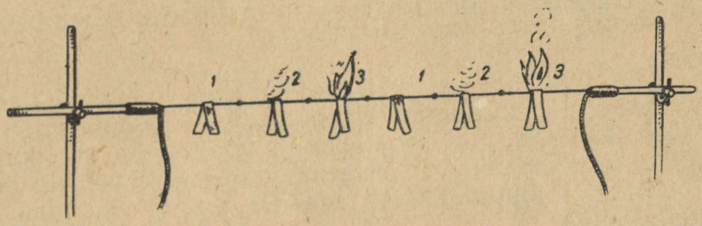
§ 133. ELEKTRIVOOLU SOOJUSLIK TOIME. JOULE'I-LENZI SEADUS.

Tööstuses ja koduses majapidamises kasutatakse sageli elektrivoolu soojuslikku toimet (hõõglampides, pliitides, ahjudes jm.).

Et selgitada, millest oleneb elektrivoolu soojuslik toime, ühendame reostaadi ja ampermeetriga järjestikku kroomnikkeltraadi tüki. Pärast vooluringi sulgemist vajub traat märgatavalt looka (miks?). Voolu tugevuse suurenedes lookavajumine suureneb, traat

hakkab hõõguma ning mingi voolutugevuse juures sulab. Järelikult energia hulk, mis eraldub juhtmes seda läbiva voolu mõjul, suureneb voolu tugevuse kasvamisel.

Asendame ülessulanud kroomnikkeltraadi terastraadist, vasktraadist ja kroomnikkeltraadist (ühesuguste mõõtmetega) ahelaga. Nendele traatidele riputame keskelt kokkumurtud paberiribad (joon. 210). Lülitame voolu sisse. Voolu tugevus on kõikides traatides ühesugune (miks?), kuid traadid kuumenevad erinevalt. Kroomnikkeltraat hakkab hõõguma ning temal rippuv pabeririba süttib põlema. Vähem soojeneb terastraat, temal rippuv pabeririba ainult suitseb nõrgalt. Vasktraat jääb samal ajal aga täiesti külmaks.



Joon. 210. Voolu mõjul soojenevad erinevast materjalist juhid erinevalt. *1* — vask; 2 — teras; 3 — kroomnikkel.

Sellest katsest võib järeldada, et *ühe ja sama tugevusega voolu korral eraldub rohkem energiat suurema takistusega juhis.*

Voolu soojusliku toime seaduse avaldasid inglise teadlane J. P. Joule ja vene akadeemik E. Lenz. Nende auks nimetatakse seda seadust Joule'i-Lenzi seaduseks.

Soojushulk, mis eraldub juhis voolu läbiminekul, on võrdeline voolu tugevuse ruudu, juhi takistuse ja ajaga.

Nimetatud seaduse võib kirjutada valemina:

$$Q = I^2Rt.$$

kus Q on soojushulk džaulides, I — voolu tugevus amprites, R — takistus oomides ja t — aeg sekundites.

Kui soojushulka tahetakse avaldada kalorites, siis tuleb valemisse lisada tegur 0,24, sest 1 J = 0,24 cal. Sel juhul

$$Q = 0{,}24I^2Rt.$$

Ohmi seadusest lähtudes võime elektrivoolu töö avaldises $A = IUt$ asendada kas voolu tugevuse või pinge vastavalt $\frac{U}{R}$-ga või IR-ga. Sel juhul saame veel kaks valemit voolu töö arvutamiseks:

$$A = \frac{U^2}{R}t \text{ ja } A = I^2Rt.$$

On teada, et tehtud töö näitab ühest liigist teise läinud energiahulga suurust (§ 43). Keha soojendamisel elektrivoolu abil muundub elektrienergia keha siseenergiaks. Molekulide keskmine kineetiline energia suureneb ning juhi temperatuur tõuseb. Kui elektrivool ei pane juhti liikuma, siis on elektrivoolu töö ainsaks tulemuseks juhi soojenemine. Energia jäävuse ja muundumise seaduse järgi on voolu töö džaulides sel juhul võrdne eraldunud soojusega, samuti džaulides: $Q = A$. Kui soojushulka mõõta kalorites, siis $Q = 0{,}24\ IUt$; $Q = 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ t$; $Q = 0{,}24\ I^2Rt$.

§ 134. NÄITEID JUHTI LÄBIVA VOOLU POOLT ERALDATAVA SOOJUSHULGA ARVUTAMISEKS.

Neil juhtudel, kui juhi soojenemine voolu mõjul on kasulik, valitakse sellised tingimused, mille juures soojenemise efekt suureneb. Kui aga juhi soojenemine voolu mõjul on kahjulik, siis püütakse seda mitmesuguste mooduste abil vähendada.

Kõikidel juhtudel tuleb aga osata arvutada juhis eralduvat soojushulka.

Näide 1. Kui palju soojust eraldub 100 Ω takistusega juhtmes ühe tunniga, kui reostaati läbiva voolu tugevus on 2 A?

Lahendus.

Joule'i-Lenzi seaduse järgi arvutame soojushulga:

$$Q = I^2Rt = 2^2 \cdot 100 \cdot 3600\ \text{J} = 1\,440\,000\ \text{J}$$
$$\text{ehk } Q = 0{,}24 \cdot 1\,440\,000\ \text{cal} = 350\,000\ \text{cal}.$$

Näide 2. Elektripliidil soojendati 40 minutiga 3 l vett 20°-st 100°-ni. Pliidi võimsus oli 600 W. Kui suur on seadme kasutegur?

Lahendus.

Vee soojendamiseks vajalik energiahulk $Q_1 = cm(t_2 - t_1) =$

$$= 4{,}2\ \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{deg}}\ 3000\ \text{g}\ (100 - 20) = 1\,008\,000\ \text{J}.$$

Selle protsessi juures kulutatud energia

$$Q_2 = A = Pt = 600\ \text{W} \cdot 40 \cdot 60\ \text{s} = 1\,440\,000\ \text{J}.$$

Seadme kasutegur

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\,\% = \frac{1\,008\,000}{1\,440\,000} \cdot 100\,\% = 70\,\%.$$

Näide 3. Kui palju soojust eraldub 40 minutiga elektripliidi vasest toitejuhtmetes, kui pliiti läbiva voolu tugevus on 5 A? Toitejuhtmete ristlõike pindala on 1,5 mm² ning pikkus 3,0 m.

Lahendus.

Voolu tugevus juhtmetes on niisama suur kui pliidis, s. o. $I = 5$ A (miks?).

Juhtmete takistus

$$R = \frac{\varrho l}{s} = \frac{0{,}017\ \frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}\ 3\ \mathrm{m}}{1{,}5\ \mathrm{mm}^2} = 0{,}034\ \Omega.$$

Juhtmetes eraldunud energiahulga arvutame Joule'i-Lenzi seaduse järgi:

$$Q = I^2Rt = (5\ \mathrm{A})^2 \cdot 0{,}034\ \Omega \cdot 40 \cdot 60\ \mathrm{s} = 1040\ \mathrm{J},$$

mis moodustab ainult 0,07% sellest energiast, mis kulus pliidi töötamisel (vt. eelmist näidet). Just sellepärast tulebki elektrijuhtmed teha väikese eritakistusega ainest. Elektrotehnika reeglite järgi tuleb kõik juhtmete ühenduskohad üle joota, sest vastasel korral põhjustab halb kontakt ühenduskohtade ülekuumenemise.

Kontrollime seda katseliselt. Koostame kirjaklambritest ahela ning lülitame selle koos ampermeetriga vooluringi. Kui ahel on vähe pingutatud, siis on ühenduskohtade takistus suur ning voolu tugevus vastavalt väike. Mida rohkem me ahelat pingutame, seda väiksemaks läheb takistus kokkupuutekohtades ning seda enam kasvab vool. Seepärast tulebki laboratoorsete tööde juures juhtmed kinnitada klemmide alla tugevasti.

§ 135. LABORATOORNE TÖÖ NR. 16.
Elektripliidi kasuteguri määramine.

Tööriistad: elektripliit (pingele 220 V), kaalud koos vihtide komplektiga, ühesuguse ruumalaga silindriline ja kooniline kolb, veeanum, statiivile kinnitatud termomeeter, seinapistik koos selle juurde kuuluva juhtmega ning kell.

Töö käik.

1. Valage silindrilisse kolbi vett ja mõõtke selle vee mass.
2. Mõõtke vee algtemperatuur. Asetage kolb pliidile, määrake kindlaks ajamoment, millal te lülitate pliidi elektrivõrku.
3. Kui vee temperatuur on jõudnud peaaegu 100°-ni, siis lülitage pliit välja ning märkige üles aeg.
4. Pliidi sildilt saadud andmete alusel arvutage vee soojendamiseks kulutatud elektrienergia hulk. Temperatuuride vahe ja massi kaudu arvutage ka vee soojendamiseks läinud kasuliku energia hulk. Pärast eeltoodud arvutusi leidke seadme kasutegur.
5. Korrake katset koonilise kolviga.

Kolb	Vee mass g	Vee algtemperatuur °C	Vee lõpptemperatuur °C	Soojendamise aeg s	Voolu töö J	Vee poolt saadud soojus J	Kasutegur %
Silindriline							
Kooniline							

Tehke järeldus, kumma anumaga (kas väiksema või suurema põhjapindalaga) on kasulikum vett soojendada.

Harjutus 35.

1. Miks kuumeneb keeduplaadi katkenud küttespiraal kõige tugevamini katkenud otste kokkukeeramiskohast?

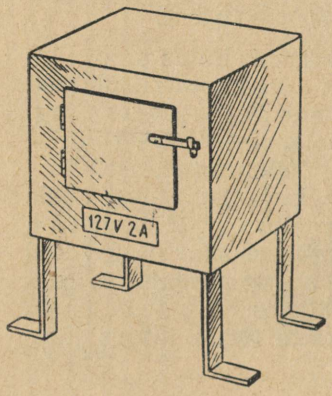
2. Elektriteekannu sildile on kirjutatud 220 V, 800 W. Arvutage voolu tugevus spiraalis, spiraali takistus ja 20 minuti jooksul eraldunud soojushulk.

3. Kui palju läheb aega eelmises ülesandes kirjeldatud teekannuga 2,5 l vee soojendamiseks 20° C-st keemiseni, kui kannu kasutegur on 80%?

4. Kui pika ajaga kuumeneb vasest elektritõlvik 20°-st 620° C-ni? Tõlviku mass on 150 g, tema mähise takistus on 400 Ω, mähist läbiva voolu tugevus 0,30 A ja kasutegur 60%.

5. Joonisel 211 on toodud elektriline kuivatuskapp. Arvutage kapi sildil toodud andmete järgi elektrivoolu poolt ühes tunnis eraldatud soojushulk.

6. 4,5 kW võimsusega elektrimootori mähiste takistus on 1,2 Ω, neid läbiva voolu tugevus mootori täiskoormusel aga 20 A. Kui suur osa mootori poolt tarbitavast elektrienergiast kulub mähiste soojendamiseks?



Joon. 211. Harjutus 35 ülesande 5 juurde.

§ 136. ELEKTRISOOJENDUSRIISTAD. ELEKTRIHÕÕGLAMBID.

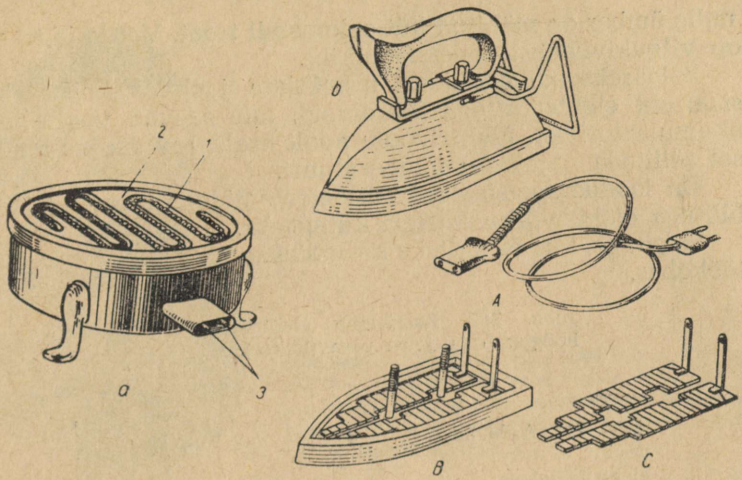
Kõigi elektriliste soojendusriistade põhiliseks osaks on *kütteelement*. See kujutab endast suure eritakistusega (kroomnikkel, fekraal, kromeel) raskesti sulavast sulamist traati, mis tavaliselt on spiraali keeratud.

Elektripliidis on see spiraal *1* paigutatud spetsiaalse keraamilise plaadi *2* soontesse (joon. 212, *a*). Traadi otsad on ühendatud messingvarrastega *3*, mis on isolaatorite abil kinnitatud piiidi metallkesta külge. Pistikutega juhtme abil ühendatakse pliit elektrivõrguga.

Elektritriikrauas (joon. 212, *b*), teekannus, elektrikeetjas jm. kasutatakse kütteelemendina vastava sulami riba, mis on mähitud mikaniidist plaadile. Kütteelement isoleeritakse riista korpusest mikaniidi abil.

Selleks et vältida niiskuse sattumist kütteelemendile ning vähendada oksideerumist hõõgumisel, valatakse kütteelement mõnikord tervikuna keraamilise plaadi sisse. Sellised kütteelemendid on lahtistega võrreldes palju vastupidavamad.

Mitmesugustes tootmisprotsessides ning samuti laboratooriumides kasutatakse elektrilisi *muhvelahje*. Neid kasutatakse metallide karastamiseks, hõõgutamiseks ja noolutamiseks, materjalide sulatamiseks jne. Need ahjud koosnevad tulekindlast torust — muhvlist, mille ümber on mähitud kütteelemendi riba. Viimase abil kuumutatakse toru. Toru ja kütteelement ümbritsetakse soojusiso-

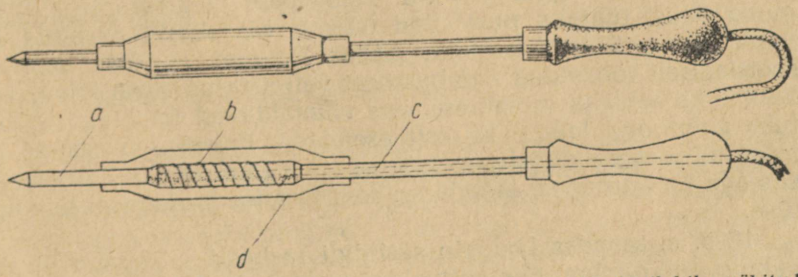


Joon. 212. *a* — elektripliit; *b* — elektritriikraud; *A* — juhe; *B* — lahtimonteeritud triikraua alumine osa; *C* — kütteelement.

laatoriga (asbesti või mõne spetsiaalse vaabaga). Ahju metallkesta ja soojusisolatsiooni vahele jäetakse õhuvahe (miks?).

Elektrilistes kuivatuskappides, inkubaatorites ja soojendajates (patjades) on tarvis hoida pidevalt kindlaksmääratud temperatuuri. Nii on inkubaatoris vaja hoida temperatuuri 37,5° C, kusjuures kõrvalekaldumine ei tohi olla suurem kui 0,1° C. Selle saavutamiseks lülitatakse kütteelemendiga järjestikku termorelee. Viimane lülitab kütteelemendi automaatselt välja, kui temperatuur saavutab ülemise lubatud piiri, ning uuesti sisse, kui temperatuur on langenud alumise lubatud piirini.

Raadiotehniliste ja elektrotehniliste tööde juures kasutatakse ulatuslikult *elektrijootekolbi* (joon. 213). See koosneb vaskvardast,



Joon. 213. Elektrijootekolb. *a* — vaskvarras; *b* — vilgukivikihile mähitud nikroomtraat; *c* — torukäepide, mille sisemuses asub mähise toitejuhe; *d* — metallist kaitsekast.

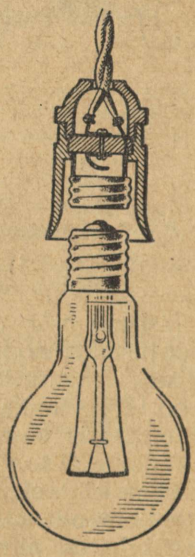
mille ümber on mähitud kütteelemendi traat. Varda ja traadi vahel on vilgukivilehest isolatsioonikiht.

Polaarekspeditsioonidest osavõtjate jaoks valmistatakse spetsiaalseid elektriküttega ülerõivaid, mis saavad voolu väikestest akumulaatoritest. Elektrivoolu poolt eraldatav soojus aitab inimesel säilitada vajalikku temperatuuri.

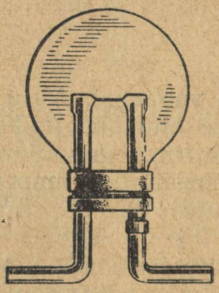
On loodud spetsiaalsed kütteelementidega tapeedid, mida võib lülitada elektrivõrku korteri kütmiseks.

Selgitage, kus ja milleks kasutatakse elektrisoojendusriistu teie töökohas.

Joon. 213. Kaasaegne elektrihõõglamp ja tema pesa (lõikes).



Joon. 214. A. N. Lodõgini esimene elektrihõõglamp.



Juhtide hõõgumine elektrivoolu mõjul leidis rakendamist ka valgustamise otstarbel. Esimese elektrilambi konstrueeris vene leidur A. N. Lodõgin 1873. a. Tema pani elektrivoolu abil hõõguma õhust tühjaks pumbatud (miks?) klaaskolbi asetatud süsivarda (joon. 214). Ameerika leidur Edisson asendas süsivarda spetsiaalselt töödeldud bambusroost valmistatud süsiniidiga. Tema leiutas ka sokli ja lambipesa, mis võimaldavad tarvitamiskõlbmatuks muutunud lampe kiiresti asendada. Edissoni hoolikalt läbimõeldud elektrivalgustuse süsteem levis kiiresti algul Ameerikas, siis aga ka Euroopas, asendades seni kasutusel olnud gaasivalgustuse.

1890. a. asendas Lodõgin süsiniidi raskesti sulavast volframist valmistatud niidiga. See võimaldas tunduvalt tõsta hõõgniidi temperatuuri. Metallniidiga lambid tarvitasid tunduvalt vähem energiat kui süsiniidiga lambid.



Aleksandr Nikolajevitš Lodõgin (1847—1923) — väljapaistev vene leidur. 1872. a. valmistas ta süsivardaga elektrihõõglambi. Hiljem ta täiustas loodud lampi, asendades süsivarda metallniidiga.

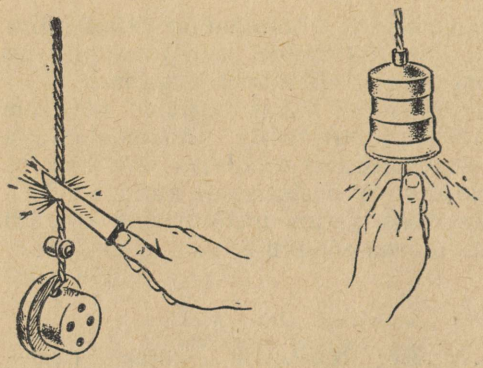
Kaasaegses elektrihõõglambis täidetakse klaasballoon pärast õhu väljapumpamist inertse argooni ja lämmastiku seguga (86% argooni ja 14% lämmastikku). Inertne gaas takistab hõõguva niidi osakeste eemalelendamist, see aga võimaldab tõsta hõõgniidi temperatuuri kuni 2500° C-ni ning muuta lamp seega ökonoomseks ning vastupidavaks.

Vaadelge kaasaegset gaasitäidisega elektrihõõglampi (joon. 215). Kui keerata lamp pesasse, siis tema sokkel libiseb mööda keermestatud metallrõngast. Viimasega on ühendatud elektrivõrgu üks juhe. Lambi sokli metallist põhi surutakse vastu vedrukontakti (sellega on ühendatud elektrivõrgu teine juhe). Jälgige elektrivoolu teed lambis.

Lambi soklile või balloonile on kirjutatud pinge, mille jaoks lamp on määratud, lambi võimsus ning valmistamise kuu ja aasta. Kodumaine tööstus toodab mitmesuguse võimsusega lampe — alates ühest vatist (näiteks taskulampide jaoks) kuni mitme kilovatini. Viimaseid kasutatakse prožektorites ning suurte linnade tänavavalgustusseadmetes.

§ 137. LÜHIÜHENDUS. SULAVKAITSMED.

Juhtmete, lambipesade, pistikute jne. mittekorras isolatsioon ning pinge all oleva elektrivõrgu remontimine võib põhjustada *lühiühenduse* (joon. 216). Sel juhul osutub suletud vooluringi takistus väga väikeseks ning voolu tugevus ületab tunduvalt antud juhtmete jaoks ettenähtud voolu tugevuse piirväärtuse. Juhtmed kuumenevad tugevasti ning võivad põhjustada nii isolatsiooni kui ka ümbritsevate esemete (tapeet, kardinad, puust vaheseinad) süttimise.

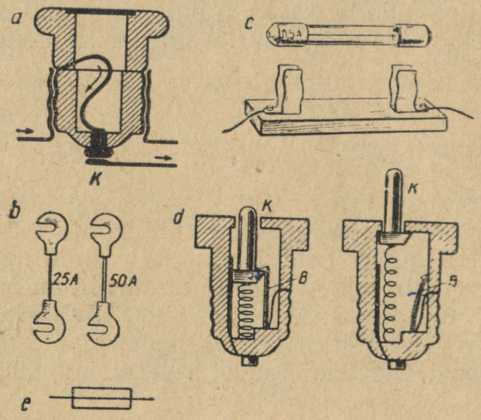


Joon. 216. Lühiühendused, mis tekivad pinge all oleva elektrivõrgu remontimisel.

Vooluringi automaatseks katkestamiseks kasutatakse sulavkaitsmeid. Sulavkaitsmete ehituse skeem on toodud joonisel 217, *a*. Portselanklotsile on kinnitatud lambipesaga analoogiline metallkeermetis. Selle külge on kinnitatud korterisse mineva juhtme ots. Vooluallikast tulev juhe on ühendatud metallkontaktiga *K*. Seni, kuni keermetisse ei ole keeratud kaitsekorki, puudub ühendus keermetise ja kontakti *K* vahel ning vooluring on katkestatud.

Kaitsekorgil on samuti olemas metallkeermetis ning metallkontakt. Viimane asub korgi ühes otsas. Korgi sisemuses asuvasse kanalisse on paigutatud metallkeermetist kontaktiga ühendav pliitraat. Traadi diameeter on valitud selline, et voolu tugevuse lubatud piiri ületamise korral sulab traat üles ning katkestab vooluringi.

Ühenduse taastamiseks tuleb keerata pesasse uus kaitsekork. Ülessulanud pliitraati ei tohi asendada vasktraadiga, sest sellist traati võib läbida lubatust mitu korda tugevam vool. Seepärast ei



Joon. 217. Sulavkaitsmed.

välista niisugused kodusel teel parandatud kaitsmed tulekahju võimalust.

Kaitsmetele on märgitud voolu tugevuse piirväärtus. Harilikult toodetakse kaitsmeid voolu tugevusele 6 A; 10 A; 15 A ja 25 A. Et erineva tugevusega kaitsmeid mitte segi ajada, on suuremale tugevusele määratud kaitsmed tehtud eelmistest veidi lühemad. Kui keerata näiteks 6 A kaitsme pessa 10 A kaitse, siis ei ulatu see põhjani ning kontakti ei teki.

Jaotuskilpidel, millele on juurdepääs ainult kvalifitseeritud elektrimontööridel, kasutatakse sageli joonisel 217, *b* kujutatud sulavkaitsmeid.

Raadioaparaatides ja televiisorites kasutatav sulavkaitse koosneb metallotsikutega varustatud klaastorukesest, mille sees asub kergesti sulavast metallist traat. Kaitsme metallotsikud kinnitatakse elektrivõrgu juhtmetega ühendatud pesadesse (joon. 217, *c*).

Toodetakse ka bimetallist plaadiga kaitsmeid (joon. 217, *d*). Kui kaitset läbib lubatust tugevam vool, siis plaat paindub ning katkestab sellega vooluringi. Pärast plaadi jahtumist vajutatakse kaitsme nupp alla ning plaat surub end uuesti vastu kontakti. Selline kaitse võib töötada pikka aega, ilma et teda oleks vaja uuega vahetada.

Elektrilistel skeemidel märgitakse sulavkaitsmeid joonisel 217, *e* toodud tingmärgiga.

Elektrotehnika eeskirjade järgi tuleb kaitsmed paigutada igale korterisse sisenevale elektrijuhtmele, pärast arvestit ning igasse sellisesse kohta, kus toimub üleminek suurema ristlõikega juhtmetelt väiksema ristlõikega juhtmetele.

Harjutus 36.

1. Korteri elektrivõrgus kasutatakse 6 A kaitsmeid. Kas võib sellisesse võrku lülitada üheaegselt ühe 100-vatise, ühe 200-vatise ja kaks 40-vatist lampi ning 600-vatise keedukannu? Võrgu pinge on 127 V.
2. Tehke kindlaks, milliseid kaitsmeid (tüüp, maksimaalne voolu tugevus) kasutatakse nende masinate elektrimootorite juures, millega teie oma töökohas töötate.
3. Miks paigutatakse pistikupesadesse vedruplaadid?
4. Uue kütteelemendi kohalemonteerimisel tuleb kontaktid puhastada tagikihist ning siis tugevasti kinni keerata. Miks?

§ 138. LABORATOORNE TÖÖ NR. 17.

Valgustusarmatuuriga tutvumine. Lihtne elektrimontaaž.

Tööriistad: elektrilambi pesa, lüliti, pistikupesa ja pistik, kruvikeeraja, ümartangid, lapiktangid, nuga, vineeritahvel juhtmete puhastamiseks, isoleeritud juhtmed, isoleerpael.

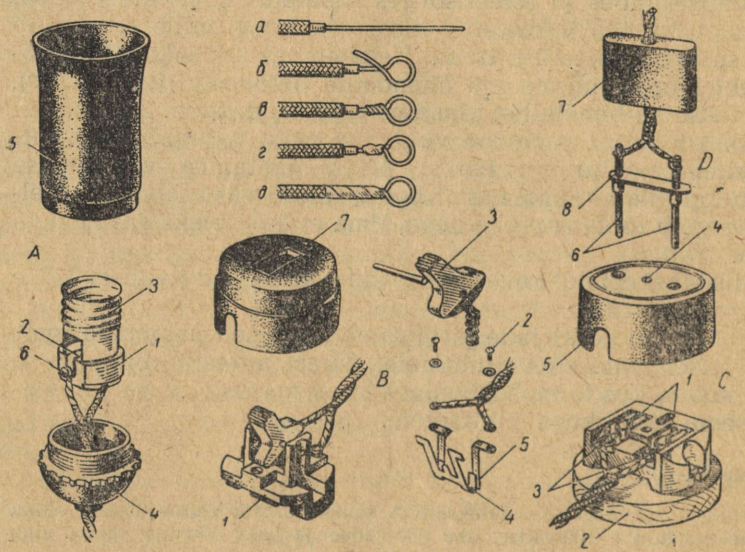
Töö käik.

Elektrivalgustuse mugavuse ja ohutuse tagab *elektriarmatuuri* — lambipesade, lülitite, ümberlülitite, pistikute ja pistikupesade kasutamine. Nende seadmete paigaldamist elektrivõrku nimetatakse *elektrimontaažiks*.

Viige läbi elektrimontaaž õpetaja käest saadud skeemi järgi.

Katsetage monteeritud võrku, lülitades selle läbi kaitsmete elektrivõrguga. Töö juures juhinduge järgmistest eeskirjadest.

Juhtmete ühendamiseks armatuuriga tuleb nende otsad varustada silmustega. Ettevaatlikult eemaldatakse noaga juhtme isolatsioon (mis koosneb puuvillasest ümbrisest ja kummikihist) 3—4 cm pikkuselt (joon. 218, *a*). Puhastatud juhtmeots keeratakse ümartangide abil silmuseks, mille sisemine diameeter on veidi suurem kinnituskruvi diameetrist (joon. 218, *b*). Juhtme ülejäänud ots keritakse ümber palja juhtme ning surutakse lapiktangide abil tihedalt kokku (joon. 218, *c*). Mõnikord joodetakse teineteise ümber keeratud juhtmeosa kokku (joon. 218, *d*). 5—7 mm laiuse isoleerpaela abil mähitakse juhtme ots selliselt kinni, et isoleerpael kataks ka juhtme terveks jäänud isolatsioonikihi alguse (joon. 218, *e*).



Joon. 218. Laboratoorse töö nr. 17 juurde.

Harilik *lambipesa* (joon. 218, *A*) koosneb portselanalusest *1*, millele on paigutatud vedrukontakt *2* ja metallkeermetis *3*, mis täidab teise kontakti ülesannet. Silmustega varustatud juhtmete otsad pistetakse läbi lambipesa kaanes *4* oleva ava ning kinnitatakse kruvide *6* abil üks vedrukontakti ning teine metallkeermetise külge. Pärast seda asetatakse kaas *4* täpselt kohale ning keeratakse selle külge lambipesa kere *5*.

Lüliti plastmassist alusele *1* (joon. 218, *B*) on paigutatud kaks liikumatut messingkontakti *5*, mille külge kinnitatakse kruvide *2* abil juhtmed. Liikuva messingkontakti *4* võib lüliti kerest väljaulatuva kangi *3* abil asetada selliselt, et ta ühendab omavahel liikumatud kontaktid ning suleb sel teel vooluringi. Lüliti kangi *3* nihutamisel vastupidises suunas eemaldub liikuv kontakt liikumatutest ning katkestab vooluringi. Kruvi *7* abil suletakse lüliti plastmassist kaanega.

Mitmesuguste kantavate elektriseadmete (keeduplaatide, triikraudade, laualampide, jootekolbide jne.) lülitamiseks elektrivõrku kasutatakse pistikuid ja pistikupesi.

Pistikupesas (joon. 218, *C*) on kas plastmass- või portselanalusele 2 kinnitatud kaks messingplekist pesa *1*. Kummagi pesa külge kinnitatakse kruvi *3* abil elektrijuhe. Kruviga *4* kinnitatakse pistikupesa alusele plastmassist või portselanist kaas 5. Kaanes on kaks ava, mis asuvad täpselt messingplekist pesade kohal. Nendesse pesadesse pistetakse painduva juhtme otsa ühendatud pistik.

Pistik (joon. 218, *D*) koosneb kahest messingvardast *6*, mis on kruvitud plastmassist või portselanist kere *7* külge. Juhtme silmustega varustatud otsad pistetakse läbi keres oleva ava ning surutakse messingvarraste otsa. Enne seda pistetakse messingvardad läbi isoleeriva katte *8*. Pärast seda kruvitakse vardad pistiku kere külge. Pistiku pesast väljatõmbamisel ei tohi tõmmata juhtmest, vaid pistikust.

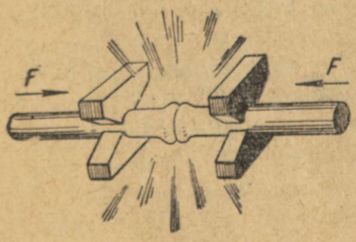
§ 139. KONTAKTKEEVITUSE MÕISTE.

Suure soojushulga eraldumist halva kontaktiga kohas kasutatakse *kontaktkeevitamisel*. Kaks kokkukeevitatavat eset surutakse teineteise vastu ning lastakse neist madala pinge juures (mõni volt) läbi mitme tuhande ampri tugevust voolu. Momendil, mil kahe metalli kokkupuutekoht on kuumenenud peaaegu metalli sulamistemperatuurini, surutakse kehad senisest tugevamini teineteise vastu ning lülitatakse vool välja (joon. 219). Nii saadakse tugev ühendus.

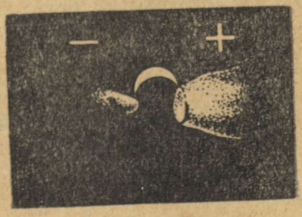
Keevisliide on tunduvalt ökonoomsem neetühendusest. Tänapäeval kasutatakse keevitamist üksikute metall-lehtede, rööbaste, torude ja mitmesuguste masinaosade ühendamiseks.

Kontaktkeevituse kõrval kasutatakse ulatuslikult ka kaarkeevitust. Esimesena maailmas sai elektrikaare 1802. a. vene füüsik V. V. Petrov (1761—1834).

Asetanud kaks söepulka otstega teineteise vastu, laskis Petrov nendest läbi «eriti suurest patareist» saadud voolu. Kokkupuutekohas kuumenesid söepulgad tugevasti. Kuumenes ka söepulki ümbritsev õhk, mis muutus selle tulemusena elektrijuhiks. Sellepärast jätkus vool läbi õhu ka pärast söepulkade teineteisest eemaldamist. Tekkis hele kaarekujuline leek (joon. 220), mille järgi nähtus saigi oma nimetuse «elektrikaar» (tuletage meelde konvektsiooninähtust ning selgitage, miks on leegil kaare kuju).



Joon. 219. Kontaktkeevitus.



Joon. 220. Elektrikaare projektsioon ekraanil.

Elektrikaare temperatuur tõuseb kuni 4000° C. Sellise temperatuuri juures sulavad kõik metallid. Vene insenerid N. N. Benardos ja N. G. Slavjanov kasutasid esimesena elektrikaart keevitamiseks.

Keevitamisel ühendatakse üks elektrijuhe keevitatava esemega, teine aga süsi- või metallvardaga (elektroodiga). Algul puudutatakse elektroodiga eset, siis aga eemaldatakse veidi. Eseme ja elektroodi vahele tekib elektrikaar. Kui elektrood on metallist, siis ta sulab, metall täidab keevitatava koha ning moodustab keevisõmbluse. Kui elektroodiks on süsivarras, siis tuleb leeki viia metallvarras, mis sulades täidab keevitatavate esemete vahelise ruumi. Keevitamiseks vajalik pinge on 20—30 V ning voolu tugevus 150—200 A.

Tänapäeval pööratakse elektrikeevitusele suurt tähelepanu. On moodustatud spetsiaalne E. O. Patoni nimeline instituut, kus uuritakse ning täiustatakse mitmesuguseid keevitamisviise. Tänapäeval on saavutatud keevitamiskiiruseks kuni 2,5 meetrit minutis.

Elektrikaart on kerge saada ka kooli füüsikakabinetis. Kinnitame isolaatorite abil statiividele kaks söepulka. Ühendame söepulkade otstega küllalt jämedad vaskjuhtmed ning lülitame nad järjestikku reostaadiga elektrivõrku või 30—40 V pingega alalisvoolu allikaga.

Suleme vooluringi, viime söepulkade otsad kokkupuutesse ning eemaldame siis veidi. Moodustub hele elektrikaar, mis «tumedal taustal küllalt heledalt nähtav on», nagu kirjutas V. V. Petrov. Kuna elektrikaare kiirgus on silmale kahjulik, siis tuleb teda vaadelda läbi tumeda (tahmatud) klaasi.

XVII PEATÜKK.

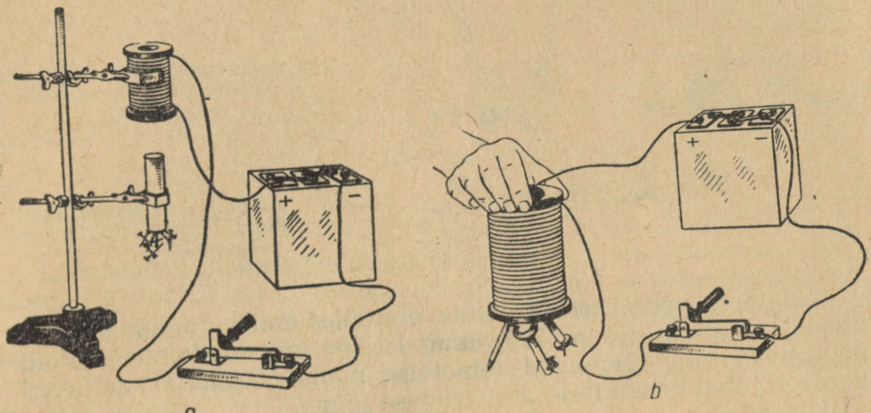
ELEKTROMAGNETILISED NÄHTUSED.

§ 140. ELEKTRIVOOLU MAGNETILINE TOIME.

Magnetiliste nähtustega on igaüks teist kohtunud igapäevases elus ning tööstuses. Te teate, et elektromagnet või püsivmagnet tõmbab külge raud-[1] ja terasesemeid ning et kompassi abil võib orienteeruda maastikul. Paljud teist on tuttavad selliste tehniliste seadmetega, milles kasutatakse elektrivoolu magnetilist toimet (elektrimootorid, elektromagnetid, releed, telefonid jne.).

[1] Igapäevases elus nimetatakse rauaks vähese süsinikusisaldusega terast. Keemiliselt puhast rauda elektrotehnikas ei kasutata. Seepärast on ka selles raamatus edaspidi juttu mitmesuguste terasesortide magnetilistest omadustest.

Teame juba, et isoleeritud traadist pool tõmbab enda külge raudesemeid, kui temast lasta läbi elektrivoolu (§ 115). Asetame sellise pooli lähedale terasvarda (joon. 221, *a*). Lülitame voolu sisse ning lähendame terasvardale väikesi naelu või terasepuru. Varras tõmbab need enda külge. Pooli läbiva voolu mõjul muutus terasvarras magnetiks. Voolu väljalülitamisel varras demagneetub.



a *b*

Joon. 221. *a* — terasvarras magneetub pooli läbiva elektrivoolu mõjul; *b* — terassüdamik suurendab pooli magnetilisi omadusi.

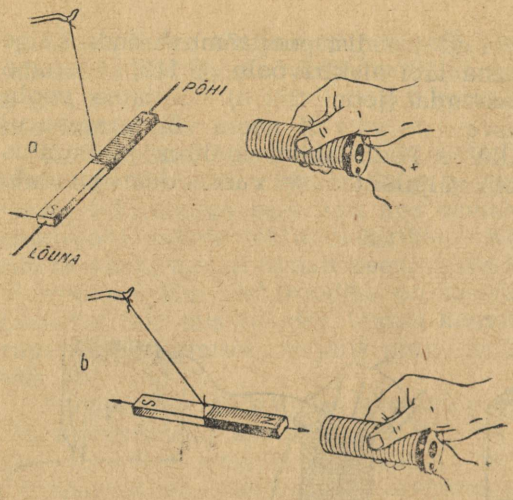
Asetame nüüd terasvarda pooli sisse ning sulgeme vooluringi (joon. 221, *b*). Pooli magnetilised omadused tugevnevad. Pool tõmbab nüüd külge palju massiivsemaid terasesemeid.

Asetame pooli sisse karastatud terasest varda ning lülitame sisse voolu. Varras magneetub, kuid pärast voolu katkestamist ei demagneetu. Erinevalt «pehmest» terasest hoiab karastatud teras pikka aega alal kord omandatud magnetilised omadused. Spetsiaalsetest terasesortidest ja magnetilistest sulamitest valmistatakse ülalkirjeldatud viisil püsivmagneteid, mida ulatuslikult kasutatakse mitmesugustes seadmetes.

Elektrivool magneedib mitte ainult terasvardaid, vaid mõjub ka magnetitele.

Riputame niidi abil üles magnetpulga. Selline pulk võtab analoogiliselt kompassinõelaga põhja—lõuna suuna. Kui lähendada ülesriputatud magnetpulgale vooluga pool (joon. 222, *a*), siis asetub magnetpulk piki pooli telge ning tõmbub pooli poole (joon. 222, *b*). Kui riputada üles vooluga pool ning lähendada sellele magnetpulk, siis pöördub pool magneti suunas ning tõmbub selle poole.

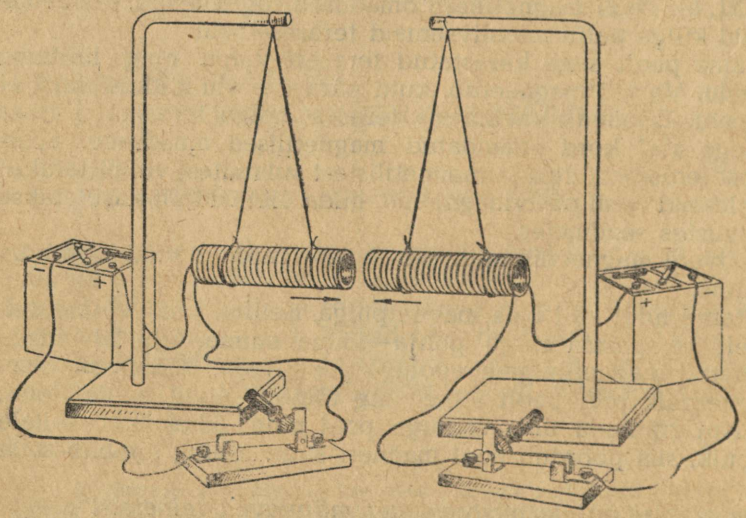
Seega *elektrivool ja püsivmagnet mõjutavad teineteist mingisuguse jõuga.*



Joon. 222. Vooluga pooli mõju ülesriputatud püsivmagnetile.

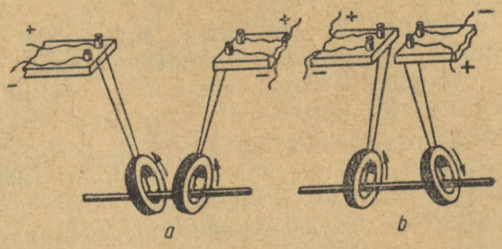
Riputame peenikeste traatide abil üles kaks vooluallikatega ühendatud pooli (joon. 223) ning laseme neisse voolu. Poolid pöörduvad ning tõmbuvad teineteise poole. Järelikult mõjuvad vooluga juhid teineteisele mingisuguse jõuga.

Lähendame teineteisele kaks pooli ning pistame neist läbi puupulga, mis takistab nende pöörlemist. Laseme poolidest voolu läbi. Kui voolud mõlemas poolis on samasuunalised, siis tõmbuvad poolid teineteise poole (joon. 224, *a*), kui aga vastassuunalised, siis tõukuvad teineteisest eemale (joon. 224, *b*).



Joon. 223. Vooluga poolide vastastikune mõju.

Vooluga kaasnevad alati magnetilised nähtused: terasesemete magneetimine ning magnetite ja vooluga juhtide vahel magnetiliste jõudude tekkimine.



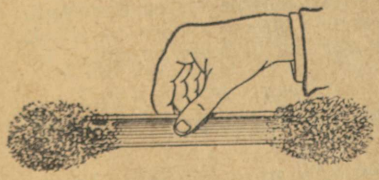
Joon. 224. *a* — samasuunaliste vooludega juhid tõmbuvad; *b* — vastassuunaliste vooludega juhid tõukuvad.

§ 141. MAGNETID.

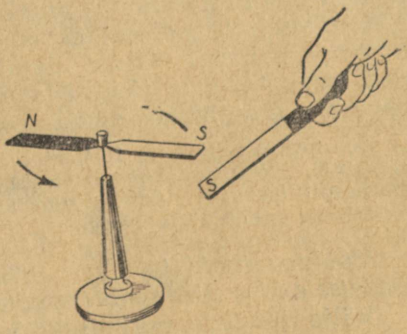
Lähendades magnetit mitmesugustele esemetele veendume, et magnet tõmbab hästi külge ainult terast, malmi ja mõningaid teisi sulameid, mille koosseisu kuulub raud. Tunduvalt halvemini tõmbab magnet külge niklit ja koobaltit. Puitu, klaasi, plastmasse, vaske, alumiiniumi, pliid ja paljusid teisi aineid magnet üldse külge ei tõmba.

Kui magnetpulk asetada rauapurukihile, siis näeme, et kõige rohkem tõmbavad rauapuru külge magnetpulga otsad (joon. 225). Magnetpulga neid kohti, kus magneti mõju on kõige suurem, nimetatakse *magneti poolusteks.* Ülesriputatud magnetpulga seda poolust, mis pöördub põhja poole, nimetatakse magneti põhjapooluseks, märgitakse tähega *N* ning värvitakse harilikult siniseks. Lõunasse pöörduvat magnetpoolust nimetatakse aga lõunapooluseks, märgitakse tähega *S* ning värvitakse tavaliselt punaseks.

Vaadelge kompassi ehitust ning selgitage, kuidas saab kompassi abil orienteeruda maastikul.



Joon. 225. Kõige tugevamini tõmbavad rauapuru külge magnetpulga otsad.



Joon. 226. Magnetite samanimelised poolused tõukuvad, erinimelised aga tõmbuvad.

Kui magnetnõelale lähendada näiteks magnetpulga lõunapoolus (joon. 226), siis see tõmbab enda poole nõela põhjapoolust. Kui korrata katset, lähendades magnetnõelale magnetpulga põhjapooluse, siis näeme, et see tõmbab enda poole magnetnõela lõunapoolust.

Eeltoodust järeldub, et **magnetite erinimelised poolused tõmbuvad, samanimelised aga tõukuvad.**

Magnetiseerime terasvarda või jõhvsae (vineerisae). Selleks võib varda asetada alalisvooluga pooli sisse või tõmmata püsivmagnetiga varda keskelt otsa poole. Magnetnõela abil teeme kindlaks saadud magneti pooluste nimed. Murrame nüüd varda keskelt pooleks. Magnetnõel näitab, et mõlemad varda pooled kujutavad endast magneteid. Mõlemal neil on kaks poolust — põhja- ja lõunapoolus. Ükskõik kui mitmeks osaks me varda murrame, ikka kujutab iga osa endast kahe poolega magnetit. Hiljem näeme, et *ühe poolega magneti saamine on printsipiaalselt võimatu.*

§ 142. MAGNETVÄLI.

Vooluga juhi ja magneti magnetiline mõju avaldub neist kaugemal (§ 140), kusjuures juhist või magnetist eemaldumisega magnetiliste jõudude mõju väheneb. Arvukad katsed tõendavad, et magnetiliste jõudude mõju avaldub mistahes materiaalses keskkonnas (õhus, vees, vaakuumis ja mujal).

Magnetiliste nähtuste uurimise tulemusena tehti kindlaks, et vooluga juhi või püsivmagneti ümber eksisteerib *magnetväli* analoogiliselt elektrilaengu ümber eksisteeriva elektriväljaga. *Magnetväli on* nagu elektriväligi *mateeria eksisteerimise üheks vormiks* (vt. § 107).

Magnetväli ei mõju inimese meeleorganitele, seepärast pole tema vahetu tajumine võimalik. Selles, et magnetväli looduses materiaalselt tõepoolest eksisteerib, võime veenduda tema omaduste põhjal. Nii näiteks mõjub vooluga pooli magnetvälja toodud magnetnõelale jõud. Magnetvälja asetatud terasvarras magneetub, s. t. saab uued omadused.

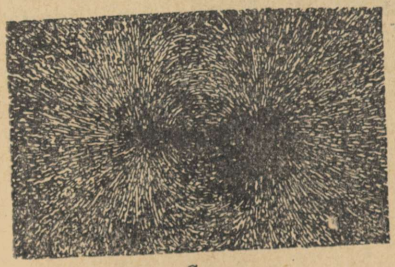
Me tegime selgeks (§ 107), et *liikumatute* elektrilaengute ümber eksisteerib elektriväli. Elektrivool kujutab endast elektrilaengute liikumist juhis. Järelikult eksisteerib *liikuvate* elektrilaengute ümber ka magnetväli, mille omadused on elektrivälja omadustest erinevad.

Vooluga juhid ja magnetid mõjuvad magnetvälja vahendusel üksteisele ning neid ümbritsevatele kehadele.

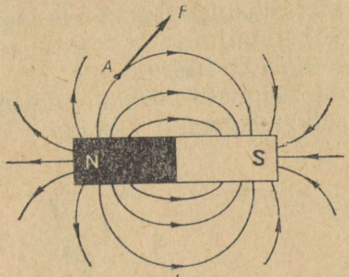
Välja jõudude uurimiseks võib kasutada magnetnõela. Magnetvälja igas punktis mõjub väli mingi jõuga magnetnõela poolustele ning nõel võtab kindla suuna (joon. 226). Magnetilised jõud mõjuvad piki jooni, mida mööda asetub magnetnõel. *Mag-*

netiliste jõudude suunaks välja mistahes punktis võetakse suund, mida näitab magnetnõela põhjapoolus.

Magnetväljas mõjuvate jõudude suuna kindlaksmääramiseks on otstarbekas kasutada rauapuru. Katame magnetpulga klaasplaadiga ning riputame sellele peenikese kihi rauapuru. Kui nüüd kergelt klaasile koputada (hõõrdumise ületamiseks), siis korraldub rauapuru kõverjooneliste ribadena (joon. 227, *a*).



a



b

Joon. 227. *a* — rauapuru asetus magnetpulga magnetväljas; *b* — magnetpulga magnetvälja jõujooned.

Rauapuru osakesed asetuvad magnetväljas neile mõjuvate jõudude sihis. Seega näitab rauapuru asetus magnetiliste jõudude suunda välja mistahes punktis. Jooni, mida mööda paikneb rauapuru magnetväljas, nimetatakse *magnetvälja jõujoonteks.* Jõujoone suunaks loetakse jõu suunda, millega väli antud punktis mõjub magnetnõela põhjapoolusele.

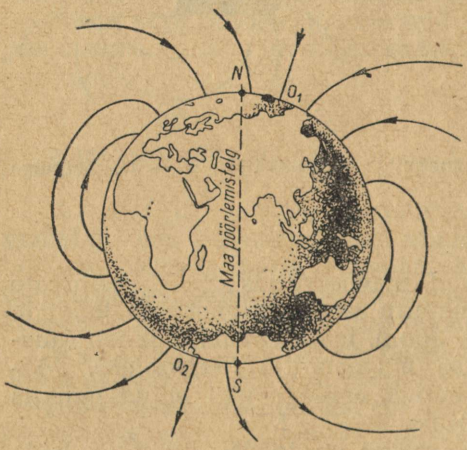
Kui magnetvälja jõujoonte asetus on teada, siis võib leida välja mistahes punktis mõjuva jõu suuna. Joonisel 227, *b* on noolekestega näidatud magnetpulga magnetvälja jõujoonte suunad. Jõujooned suunduvad põhjapooluselt lõunapoolusele. Joonestades vajalikes punktides jõujoontele puutujad, saame magnetjõudude suunad antud punktides.

Pooluste lähedal on jõujooned asetatud tihedamini. Samal ajal on magneti mõju pooluste lähedal suurem kui kaugemal. Järelikult võib jõujoonte tiheduse järgi hinnata magnetiliste jõudude suurust välja mitmesugustes piirkondades. Kohtades, kus jõujooned asuvad tihedamalt, mõjuvad ka suuremad jõud.

Tuleb meeles pidada, et jõujooned on tinglikud jooned, nende ülesandeks on ainult magnetvälja näitlikustamine.

Kompassinõel näitab igas maapinna punktis enam-vähem täpselt põhja—lõuna suunda. Järelikult on Maa ümber magnetväli, mis mõjub kompassinõelale ning kallutab selle piki välja jõujoont.

Maa magnetväli on lähedane magnetpulga väljale (joon. 228). Maa magnetvälja jõujoonte tasapinnad langevad geograafiliste meridiaanide tasapindadega peaaegu kokku. Nende tasapindade vaheline nurk on võrdlemisi väike. Seda nurka nimetatakse *magnetiliseks käände-* ehk *deklinatsiooninurgaks.* Erinevates kohtades on magnetiline käändenurk erinev. Täpsel orienteerumisel tuleb selle nurgaga arvestada.



Joon. 228. Maa magnetvälja jõujooned. *N* — Maa põhjapoolus; *S* — lõunapoolus; Q_1 ja Q_2 — Maa magnetilised poolused.

Nõukogude Liidus ja teistes maades tehakse ulatuslikku uurimistööd Maa magnetvälja tundmaõppimiseks. Teiste seadmete kõrval kasutatakse selleks eesmärgiks ka spetsiaalsete aparaatidega varustatud Maa kunstlikke kaaslasi ja kosmoselaevu. Maa magnetismi loomus on aga siiani veel lõplikult välja selgitamata.

Huvitav on märkida, et Kuu suunas saadetud Nõukogude kosmoselaevad ei leidnud Kuu ümber magnetvälja.

Mõnedes maakohtades kaldub kompassinõel märgatavalt põhja—lõuna suunast kõrvale. Sellist nähtust nimetatakse *magnetiliseks anomaaliaks*[1].

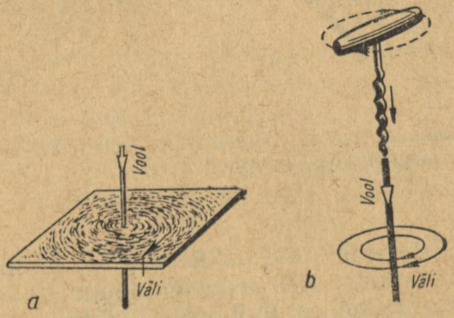
Magnetiline anomaalia esineb seal, kus esinevad suured rauamaagilademed. Kurski magnetilise anomaalia avastamine võimaldaski nimetatud maakohas leida rikkalikud rauamaagilademed, mis asuvad maapinnale võrdlemisi lähedal.

[1] Kreekakeelsest sõnast *anomalia* — ebatasasus, üldisest kõrvalekaldumine.

§ 144. SIRGVOOLU JA VOOLUGA POOLI MAGNETVÄLI

Magnetväli vooluga juhi ümber oleneb voolu tugevusest ja suunast, aga samuti ka juhi poolt moodustatud kontuuri kujust. Õpime tundma vooluga sirge juhtme ja vooluga pooli (solenoidi) magnetvälja.

1. Paneme papitükki tehtud august läbi sirge juhi ning laseme sellest läbi suure tugevusega voolu (umbes 30 A). Riputame papitükile õhukese kihi rauapuru, samaaegselt kartongile kergelt koputades. Rauapuru asetub juhi ümber kontsentriliste ringikestena (joon. 229, *a*). Järelikult *vooluga sirge juhi magnetvälja jõujooned on kontsentrilised ringjooned tsentriga juhi teljel.*



Joon. 229. *a* — rauapuru asetus sirgvoolu magnetväljas; *b* — kruvireegel.

Kui asetada vooluga juhi lähedusse magnetnõel, siis võib määrata jõujoonte suuna. Muutes voolu suuna juhis vastupidiseks, sunnime magnetnõela pöörduma 180° võrra. See aga tähendab, et ka välja suund muutus vastupidiseks.

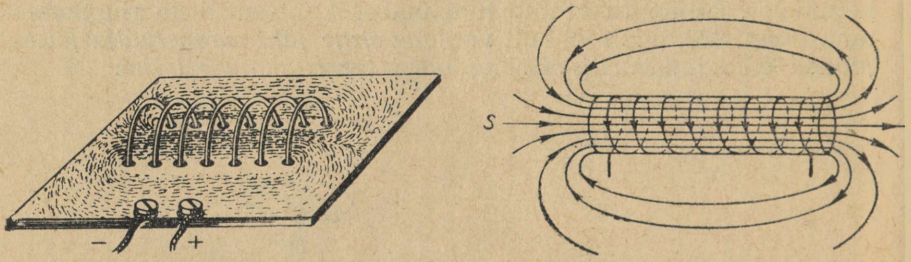
Magnetiliste jõudude suund on seotud elektrivoolu suunaga juhis.

Voolu suuna ja magnetvälja jõujoonte suuna vahelist seost väljendab nn. **kruvireegel** (joon. 229, *b*): **kui kruvi kulgev liikumine ühtib voolu suunaga, siis näitab kruvi pea pöördumise suund magnetvälja jõujoonte suunda.**

2. Laseme voolu läbi pooli, mis on saadud mõne traadikeeru mähkimisel papitükki tehtud avaustesse (joon. 230, *a*). Rauapuru abil saame papitükil vooluga pooli magnetvälja jõujoonte pildi (joon. 230, *a*). Asetades magnetnõela välja mitmesugustesse punktidesse teeme kindlaks jõujoonte suuna. Joonisel 230, *b* on toodud vooluga pooli magnetvälja jõujoonte skeem. *Magnetvälja jõujoo-*

ned kujutavad endast pooli mähist ümbritsevaid kinnisi kõveraid. Rauapuru asetus näitab, et *magnetväli on ka pooli sees.* Seejuures asuvad jõujooned pooli sees kõige tihedamalt, see aga tähendab, et magnetvälja tugevus on seal kõige suurem.

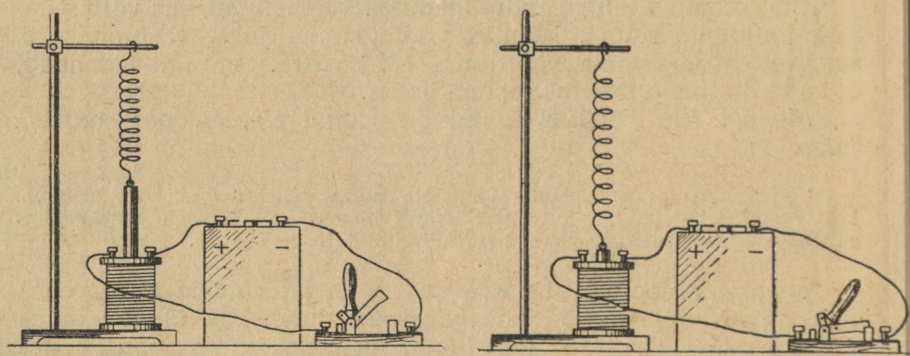
Võrrelge omavahel vooluga pooli ja magnetpulga magnetvälju ning tehke kindlaks, millised on nende väljade ühised omadused ja millised on erinevused.



Joon. 230. *a* — rauapuru asetus vooluga pooli (solenoidi) magnetväljas; *b* — vooluga pooli magnetvälja jõujooned.

Magnetnõela abil võib kindlaks teha, et vooluga pooli ühes otsas tekib põhjapoolus, teises otsas aga lõunapoolus. Voolu suuna muutmine poolis muudab ka pooli otstes tekkinud poolused vastupidisteks.

Pooli magnetvälja jõujoonte suuna kindlaksmääramiseks võib kasutada sirgvoolu magnetvälja kohta sõnastatud kruvireeglit. Jõujoonte suuna teadmine või-



Joon. 231. Terasvarras tõmbub vooluga pooli sisse.

maldab kindlaks teha pooli otstesse tekkinud pooluste nimetusi. Jõujooned väljuvad nimelt pooli põhjapoolusest ning suubuvad lõunapoolusesse.

Asetame pooli kohale vedru otsa riputatud pehmest terasest varda (joon. 231, *a*). Kui lasta poolist voolu läbi, siis tõmbub varras pooli sisse (joon. 231, *b*). Magneetunud terasvarras liigub seega piirkonda, kus magnetväli on kõige tugevam.

§ 145. MAGNETISMI ELEKTRILINE OLEMUS.

Me tegime kindlaks, et juhi ümber tekib alati magnetväli, kui sellest voolu läbi lasta. *Elektrivool ja magnetväli on teineteisega lahutamatult seotud. Iga liikuva elektrilaengu,* näiteks elektroni *ümber tekib magnetväli.* Kui ühes suunas liigub palju elektrone, siis nende magnetväljad liituvad ning moodustavad märgatava magnetvälja.

Kaasaegse teaduse seisukohalt võib iga aine molekuli vaadelda kui mikroskoopilist magnetit, mille ümber on oma magnetväli. See väli tekib molekuli moodustavate aatomite elektronide liikumise tulemusena. Elektroni suunatud liikumine ümber aatomituuma kujutab endast elektrivoolu, millega kaasneb kindel magnetväli. Elektroni pöörlemine ümber oma telje põhjustab täiendava (ja eelmisest tugevama) magnetvälja tekkimise. Molekuli magnetväli kujutab endast kõigi molekuli koosseisu kuuluvate elektronide magnetväljade summat.

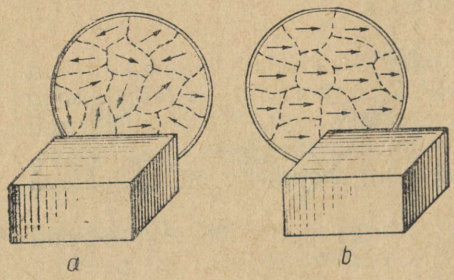
Molekulide kaootilise liikumise tõttu puudub nende magnetpoolustel ka kindel ruumiline orientatsioon ning enamiku molekulide magnetväljad vastastikku kompenseerivad üksteist. Seepärast ei ilmnegi keha magnetilised omadused tavalistes tingimustes.

Kui keha asub magnetväljas (vooluga pooli magnetväljas), siis korralduvad molekulaarmagnetid pooli magnetvälja jõudude mõjul selliselt, et nende põhjapoolused on pööratud ühele, lõunapoolused aga teisele poole. Korraldunud molekulaarmagnetite väljad liituvad, moodustades summaarse välja. Keha on seega magneetunud. Molekulide kaootiline liikumine takistab molekulaarmagnetite korraldumist ning vähendab keha magneetumise astet.

Seega on kõikidel ainetel magnetilised omadused. Seda väitis arvukate katsete põhjal juba 1846.—1847. a. kuulus inglise füüsik Michal Faraday. Erinevatel ainetel on aga need omadused täiesti erinevad.

Terase ja raua head magnetilised omadused seletuvad magneetiseeritud piirkondade, nn. domeenide iseeneslikku tekkimisega. Nende domeenide mõõtmed on 0,001 mm ümber. Iga sellise domeeni molekulaarmagnetid on korraldunud ning nende väljad vastavalt liitunud. Iga selline domeen kujutab endast magnetit.

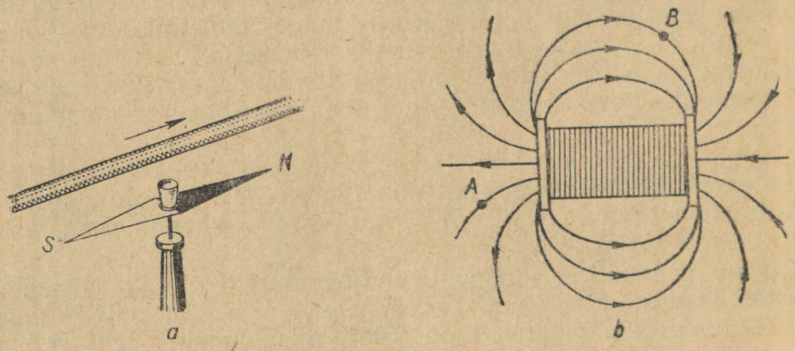
Domeenide poolused on aga orienteeritud kaootiliselt. Seepärast ei ole pehmel terasel harilikult mingeid magnetilisi omadusi. Välise välja mõjul orienteeruvad domeenid selliselt, et ühenimelised poolused on suunatud ühele poole. Selle tulemusena väljad liituvad ning teras osutub magneediks. Joonisel 232, *a* on skemaatiliselt kujutatud domeenide asend terasetükis enne magneetimist, joonisel 232, *b* aga magneetimisel.



Joon. 232. *a* — domeenide asend magneetimata terases; *b* — domeenide asend pärast terase magneetimist.

Pehmes terases lõhub molekulide soojusliikumine välise magnetvälja puudumise korral kiiresti domeenide korrapärasuse ning teras demagneetub. Karastatud teras erineb pehmest terasest selle poolest, et ta säilitab molekulide kaootilisele liikumisele vaatamata domeenide korrapärase asetuse.

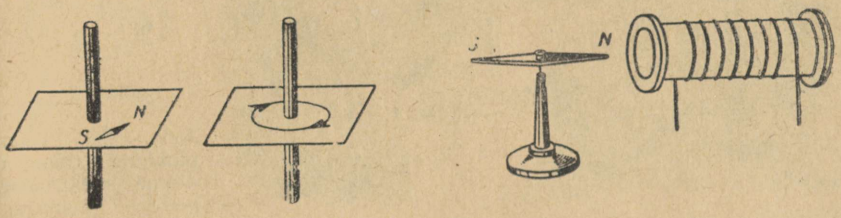
Ainete tugeval kuumutamisel kaotavad kõik ained, sealhulgas ka karastatud teras, oma magnetilised omadused. Kui magneetiseeritud terasvarrast kuumutada kuni hõõgumiseni, siis kaotab see magnetilised omadused. Kontrollige seda katseliselt ning selgitage, miks see nii on.



Joon. 233. Harjutus 37 ülesannete 5 ja 6 juurde.

Harjutus 37.

1. Kuidas saab magnetnõela abil kindlaks teha, kas terasvarras on magneeditud?
2. Kuidas saab kindlaks teha magneeditud terasvarda pooluste nimetusi?
3. Miks hoiduvad magneti küljes rippuvate naelte alumised otsad laiali?
4. Millest magneetuvad ladudes seisvad raudteerööpad?
5. Kuidas asetub vooluga juhi all asetsev magnetnõel (joon. 233, *a*)?
6. Kuidas asetuvad magnetnõelad vooluga pooli magnetväljas punktides *A* ja *B* (joon. 233, *b*)?
7. Määrake voolu suunad joonisel 234 toodud juhtides.
8. Kuidas saab magnetit demagneetida?



Joon. 234. Harjutus 37 ülesande 7 juurde.

§ 146. ELEKTROMAGNET.

Raudsüdamikuga pooli magnetilised omadused on suuremad kui südamikuta poolil (§ 140). Selle põhjuseks on asjaolu, et pooli magnetväljaga liitub terassüdamiku magnetväli. Kirjeldatud nähtus on *elektromagneti* ehituse aluseks. Elektromagnet kujutab endast pehmest rauast südamikuga varustatud isoleeritud traadist pooli.

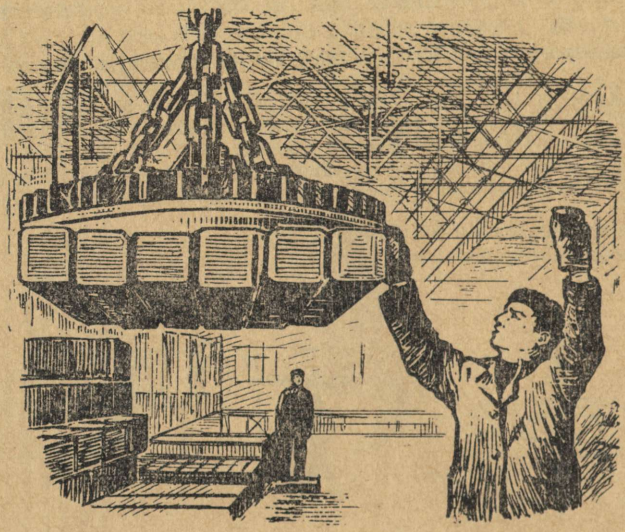
Elektromagneteid kasutatakse tehnikas väga mitmesuguseks otstarbeks, sest neil on püsivmagnetitega võrreldes palju eeliseid.

Elektromagnetid võimaldavad luua suure tugevusega magnetvälja ning omavad suurt tõstejõudu[1]. Võimsate elektromagnetite tõstejõud on kuni 20 tonni (joon. 235). Elektromagneti tõstejõud võib sujuvalt muutuda küllalt suures vahemikus. Selleks tuleb reostaadi abil reguleerida voolu tugevust elektromagneti mähistes.

Elektromagneti tõstejõud sõltub voolu tugevusest ning mähise pikkusühiku kohta tulevate keerdude arvust. Tõstejõu suurus oleneb ka magneti südamiku magnetilistest omadustest ning elektromagneti kujust.

Joonistel 236, 237 ja 238 on toodud mitmesuguseid elektromagnetite tüüpe. Pikkusühiku kohta tulevate keerdude arvu võrd-

[1] Elektromagneti tõstejõuks on selle koorma raskus, mida magnet veel suudab üles tõsta.

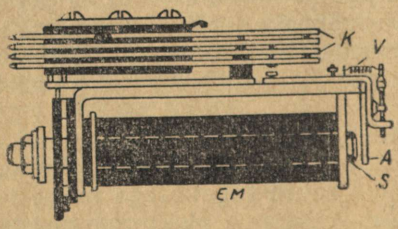


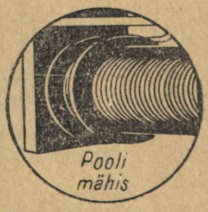
Joon. 235. Terasplokkide transportimine elektromagnetilise kraanaga.

suse ja mähiseid läbiva voolu sama tugevuse korral on kõige suurem tõstejõud mantel-tüüpi elektromagnetil. Sellise elektromagneti magnetväli ei haju ümbritsevasse ruumi, vaid on kontsentreeritud kellakujulisse südamikku ning magnetvälja jõujooned sulguvad ankrus kõige lühemat teed pidi.

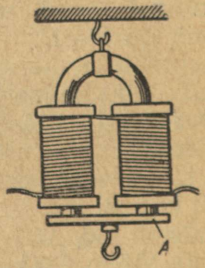
Vaatleme mõningaid elektromagneti kasutamisalasid.

Esemete kinnihoidmiseks kasutatakse lihvimispinkidel, puurpinkidel ja freespinkidel elektromagnetilisi padruneid (joon. 239).



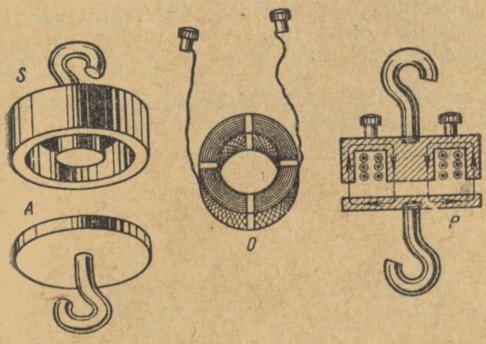


Joon. 236. Telefonirelee elektromagnet. *EM* — elektromagnet; *S* — südamik; *A* — ankur; *V* — vedru; *K* — kontaktplaadid.

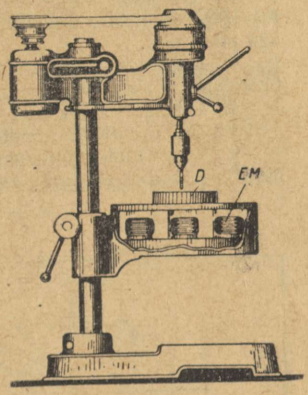


Joon. 237. U-kujuline elektromagnet ankruga *A*.

Tööpingi laua sisse on monteeritud võimsad elektromagnetid, mis hoiavad töödeldavat eset laual vajalikus kohas. On loodud sellised elektromagnetilised padrunid, mis hoiavad 1 dm^2 suuruse toetuspinnaga esemeid tööpingil umbes 1000 kG suuruse jõuga.



Joon. 238. Mantel-tüüpi elektromagnet. *S* — pehmest terasest südamik; *A* — ankur; *M* — elektromagneti mähis; *L* — elektromagneti läbilõige.



Joon. 239. Elektromagnetilise kinnituspadruniga puurpink. *EM* — elektromagnetid; *D* — töödeldav ese.

Paljudes tööpinkides, kus on tarvis kahe jõu ülekandevõlli otsi kiiresti ühendada ja lahutada, kasutatakse *elektromagnetilisi muhve*. Elektromagnetid tekitavad võllide otstes erinimelised magnetpoolused, selle tulemusena võllide otsad tõmbuvad tugevasti kokku ning pöörlevad nagu üks tervik.

Elektromagneteid kasutatakse hirsi-, lina-, ristiku- ja lutserniseemnete puhastamiseks umbrohuseemnetest. Puhastatav seemnekogus segatakse väikese koguse spetsiaalse puruga, mille põhiliseks komponendiks on raud. Nii ettevalmistatud seemned valatakse pöörlevasse trumlisse. Kultuurtaimede seemned on siledad, umbrohuseemned aga konarliku pinnaga. Sellisele pinnale jääb rauda sisaldav puru pidama. Trumlisse on kinnitatud elektromagnetid, mis tõmbavad umbrohuseemned enda külge ning eraldavad need sellega puhastatavast seemnemassist.

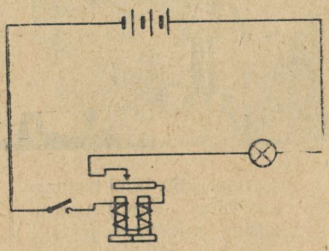
§ 147. LABORATOORNE TÖÖ NR. 18.

Elektromagneti kokkupanek ning tema tööga tutvumine.

Tööriistad: vooluallikas, lüliti, ühendusjuhtmed, kompass või magnetnõel, elektromagneti detailid, reostaat, väikesi naelu, tükk pappi ja katuseplekki (mõlemad mõõtmetega 15 cm × 14 cm) ning lambike 3,5 V, 0,28 A.

Töö käik.

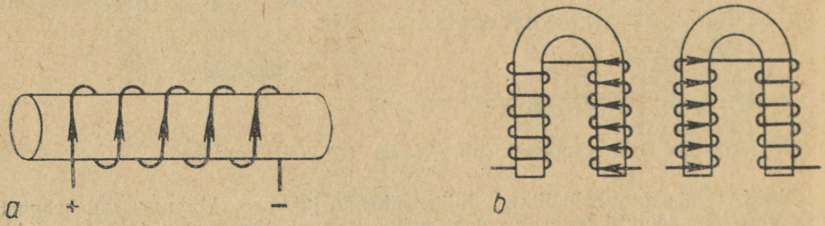
1. Koostage valmisdetailidest vardakujuline elektromagnet ning lülitage see elektrivooluringi reostaadiga järjestikku.
2. Tehke magnetnõela abil kindlaks elektromagneti poolused.
3. Tehke kindlaks, missuguse voolusuuna korral tekib elektromagneti põhjapoolus teie poolt vaadeldaval magneti otsal. Tehke kindlaks, kuidas mõjub elektromagnet naeltele. Selleks asetage naelte ja magneti vahele algul papitükk, siis aga plekitükk.
4. Koostage valmisdetailidest U-kujuline elektromagnet. Mõlemad poolid ühendage järjestikku. Nii saame südamiku otstel isenimelised magnetpoolused.
5. Lülitage koostatud elektromagnet vooluringi ning tehke magnetnõela abil kindlaks pooluste nimetused.
6. Seadke elektromagnetile automaatne katkestaja. Koostage vooluring joonisel 240 toodud skeemi järgi ning vaadelge katkestaja tööd.



Joon. 240. Laboratoorse töö nr. 18 juurde.

Harjutus 38.

1. Määrake joonisel 241, *a* toodud elektromagneti poolused.
2. Kumma elektromagneti mähis on joonisel 241, *b* valesti mähitud?
3. Miks ei kasutata elektromagnetilist kraanat hõõguvate terasplokkide transportimiseks?
4. Joonistage vooluringi elektromagnetiliste kaitsmete skeem.
5. Miks tehakse kompassi karp plastmassist, vasest või alumiiniumist, mitte aga terasest?
6. Juhul kui trollibussi vooluvõtjad eemalduvad toitejuhtmetest, hakkab automaatselt põlema akumulaatoriga toidetav lambike. Joonistage selle lambikese automaatse lülitamise võimalik skeem.

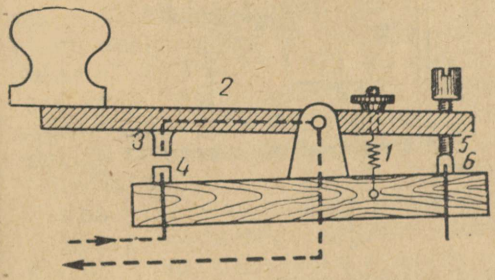


Joon. 241. Harjutus 38 ülesannete *1* ja 2 juurde.

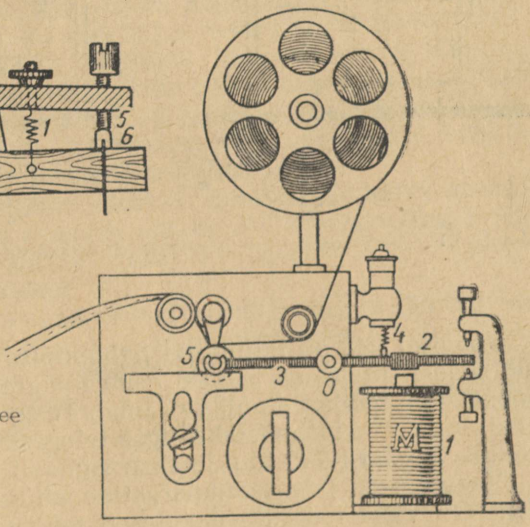
§ 148. ELEKTROMAGNETILINE TELEGRAAF.

Telegraafi[1] kasutatakse signaalide edasiandmiseks suurele kaugusele ning nende signaalide üleskirjutamiseks. Telegraafiliin kujutab endast vooluringi, mis koosneb vooluallikast ning järjestikku ühendatud telegraafivõtmest (telegrammi saatmispunktis) ja kirjutusseadmest (vastuvõtupunktis).

Joonisel 242 a on toodud telegraafivõtme skeem. Võtme abil suletakse ning katkestatakse vooluringi. Normaalolekus hoiab vedru *1* kangi *2* selliselt, et kontaktid *3* ja *4* on teineteisest lahutatud. Vajutades võtme käepidemele suleme kontaktid *3* ja *4* ning vooluringis tekib vool. Kontaktid *5* ja *6* sulevad kirjutamisseadme vooluringi telegrammi vastuvõtmise ajal.



Joon. 242 a. Telegraafivõti. Punktiiriga on näidatud voolu tee võtme sulgemise ajal.

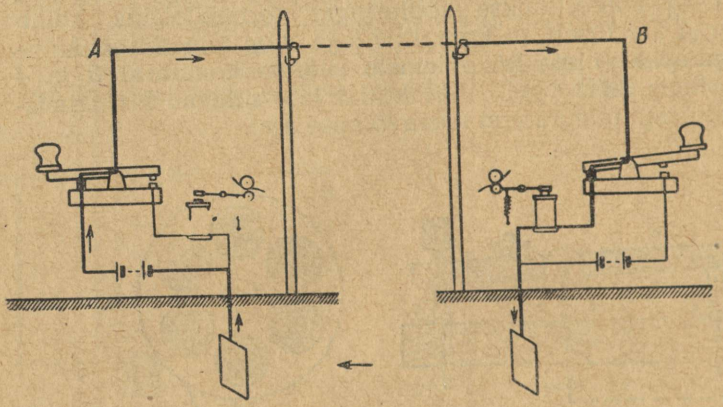


Joon. 242 b. Telegraafiaparaat.

Kirjutusseadme skeem on toodud joonisel 242 b. Teljel *O* pöörleva kangi *3* külge on kinnitatud ankur *2*. Ankrut hoiab ülal vedru *4*. Kangi vasakusse otsa on kinnitatud rattake *5*, mis ulatub värviga täidetud vannikesse. Aparaadi sisemuses asuv vedrumehhanism veab pabeririba rattakesest mööda. Kui elektromagnetit *1* läbib vool, siis tõmmatakse ankur vastu magneti südamikku. Selle tulemusena surutakse rattake vastu liikuvat pabeririba. Värvine rattake jätab seejuures paberiribale joone.

[1] Kreekakeelsest sõnast *tele* — kaugele ja *grapho* — kirjutan.

Kuna telegraafivõti ja kirjutusseade on lülitatud järjestikku, siis tekib võtme lühiajalisel allasurumisel paberiribale punkt, pikemaajalisel vajutamisel aga kriips. Punktide ja kriipsude mitmesuguste kombinatsioonidega märgitakse tähti, numbreid ja kirjavahemärke. Sellist tingmärkide süsteemi nimetatakse *morsetähestikuks*. Seda süsteemi kasutatakse kõikides maades.



Joon. 243. Kahepoolse telegraafiside lihtsustatud skeem.

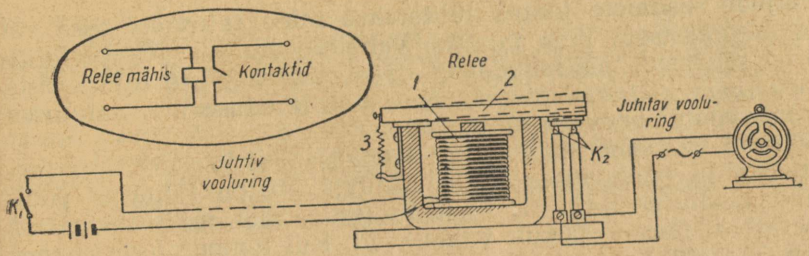
Joonisel 243 on kujutatud kahepoolse telegraafiside lihtsustatud skeem. Mõlemas jaamas asub telegraafivõti ja kirjutusseade. Joonisel on toodud ainult üks juhe. Teise juhtme aset täidab maapind. Seepärast maandatakse igas telegraafijaamas üks vooluallika poolus. Joonisel 243 kujutatakse signaali andmist jaamast *A*.

Kaasaegsete telegraafiaparaatide ehitus on tunduvalt keerukam. On välja töötatud moodused mitme telegrammi üheaegseks edasiandmiseks mõlemas suunas mööda ühte juhet. Enamik telegraafiliine on varustatud seadistega, mis trükivad edasiantava teksti vahetult paberilindile alfabeedi tähtedega. Spetsiaalsed seadmed võimaldavad telegraafi teel edasi anda jooniseid, fotosid ja mitmesuguseid dokumente.

§ 149. ELEKTROMAGNETILINE RELEE.

Elektromagnetiline relee on seade, mille abil on võimalik nõrga voolu abil juhtida eemal asuvaid suure võimsusega seadmeid. Elektromagnetilist releed rakendatakse kaasaja tehnikas ulatuslikult, eriti automaatseadmetes.

Relee põhiliseks osaks on elektromagnet *1* (joon. 244), mille

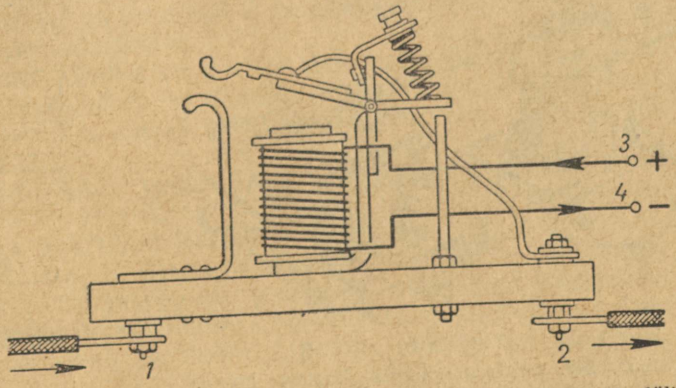


Joon. 244. Elektrimootori töö juhtimine relee abil. Ovaalis on toodud skeemidel kasutatav relee tingmärk.

mähis on lülitatud *juhtivasse* vooluringi. Lüliti K_1 sulgemisel läbib elektromagneti mähist vool (harilikult nõrk). Selle mõjul tõmmatakse ankur 2 elektromagneti südamiku vastu ning *täitevlüli* (juhitava vooluringi) kontaktid K_2 sulguvad. Täitevlülisse on lülitatud suure võimsusega tarbijad (tööpinkide elektrimootorid, valtsimispinkide mootorid jne.). Täitevlülis on tavaliselt oma vooluallikas. Tajuvlüli (juhtiva vooluringi) katkestamisel tõmbab vedru 3 ankru üles ning katkestab sellega voolu täitevlülis.

Suure võimsusega elektrimootorites kasutatakse käivitamiseks *kontaktoreid.* Viimased kujutavad endast elektromagnetilisi releesid. Uurige joonisel 245 toodud kontaktori ehitust ning selgitage selle riista töötamispõhimõtet.

Ühed tehnikas kasutatavad releed on ette nähtud täitevlülide üksteisele järgnevateks sisse- ja väljalülitamisteks, teised lülitavad ühe täitevlüli sisse, teise aga samal ajal välja. On olemas releed, mis lülitavad täitevlüli sisse või välja varem kindlaksmääratud ajal (aegreleed).



Joon. 245. Kontaktori skeem. *1* ja *2* — täitevlüli kontaktid; *3* ja *4* — tajuvlüli kontaktid.

Paljude seadmete juures lülitatakse relee tajuvlüli sisse või välja automaatselt, ilma inimese vahelesegamiseta. Ümberlülititeks on seadmed, mis muudavad väga mitmesuguste füüsikaliste suuruste, näiteks temperatuuri, rõhu, aine tiheduse jne. muutused tajuvlüli voolu tugevuse muutusteks.

Näitena vaatleme automaatset signalisatsiooniseadet, mis teatab tulekahju puhkemisest. Relee tajuvlülisse on lülitatud pooljuhtseadmed-termistorid T_1, T_2 ja T_3 (joon. 246), mille takistused temperatuuri tõustes järsult vähenevad. Kui temperatuur ruumis tõuseb 70—100° C-ni, siis suureneb tajuvlüli voolu tugevus niivõrd, et relee ankur tõmbub elektromagneti südamiku külge ning suleb sellega täitevlüli vooluringi. Viimasesse on lülitatud elektrikõlisti, mis annabki häiresignaali.

Samal põhimõttel toimub termistorite kasutamine ka kummitoodete vulkaniseerimiskambrites, kuivatusahjudes ja mujal, kus temperatuuri hoitakse konstantsena automaatselt.

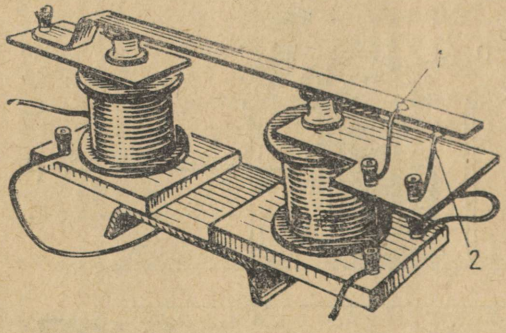
Seadmeid, mis võimaldavad automaatselt juhtida tootmisprotsesse elektriliste signaalide vahetu edasiandmise teel, nimetatakse *telemehhaanilisteks seadmeteks.* Need seadmed võimaldavad mõnest inimesest koosneval tehnilisel personalil juhtida hiiglaslike hüdroelektrijaamade tööd, võimaldavad automatiseerida üksikute tööpinkide ja isegi tsehhide ning tervete tehaste tööd.

§ 150. LABORATOORNE TÖÖ NR. 19.

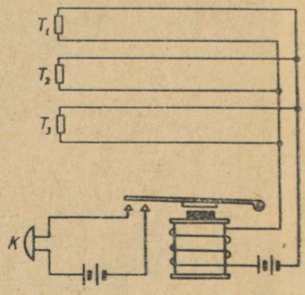
Elektromagnetilise relee koostamine ja katsetamine.

1. variant.

T ö ö r i i s t a d: elektromagneti valmisdetailid, kaks vooluallikat, ühendusjuhtmed, lüliti, väikese võimsusega elektrimootor, elektrilamp.



Joon. 247. Elektromagnetismi kogusse kuuluvatest detailidest monteeritud elektromagnetiline relee.



Joon. 246. Automaatne signalisatsiooniseade.

Töö käik.

1. Koostage valmisdetailidest ankruga elektromagnet. Kontrollige elektromagneti tööd. Selleks lülitage see vooluringi, kuhu kuuluvad vooluallikas ja lüliti.

2. Monteerige elektromagneti külge plaadike täitevlüli kontaktidega (joon. 247). Kui elektromagneti mähises voolu ei ole, siis peab ankur puutuma vastu ülemist kontakti *1*, kui aga mähises on vool, siis vastu alumist kontakti 2.

3 Koostage täitevlüli vooluallikast ja elektrimootorist ning püüdke panna elektrimootor tajuvlüli lüliti sulgemise teel tööle.

4. Lülitage täitevlülisse elektrilamp, mis kustub, kui mootor tööle hakkab.

5. Joonistage seadmete lülituse skeem.

2. variant.

Tööriistad: elektromagnetiline relee koos passiga, kaks vooluallikat, lüliti, ühendusjuhtmed, väikese võimsusega elektrimootor, elektrilamp, reostaat, ampermeeter, jootekolb.

Töö käik.

1. Õppige tundma relee ehitust. Leidke relee mähise otsad. Tehke passi järgi kindlaks tajuvlüli maksimaalne lubatud voolu tugevus ja pinge.

2. Õppige tundma täitevlüli kontaktide ümberlülitamist relee ankru nihkumisel. Tehke passi järgi kindlaks maksimaalne voolu tugevus, mille jaoks on arvestatud täitevlüli kontaktid, relee reageerimiskiirus ning minutis kindlustatud lülituste arv. Kirjutage saadud andmed vihikusse.

3. Koostage tajuvlüli vooluallikast, releest, reostaadist, ampermeetrist ja lülitist. Reostaadi abil reguleerige voolu tugevus lubatud piirkonda ning proovige relee töökindlust.

4. Koostage täitevlüli vooluallikast ja elektrimootorist. Lülitage see relee kontaktidega selliselt, et tajuvlüli lüliti sulgemisel oleks kindlustatud mootori töölehakkamine.

5. Lülitage täitevlülisse elektrilamp selliselt, et see mootori töölehakkamise momendil kustuks.

6. Joonistage seadmete lülitamise skeem.

§ 151. MIKROFONI JA TELEFONI EHITUS NING TÖÖTAMINE.

Telefoniside on tänapäeva ühiskonnas tugevalt juurdunud. Vaatleme mikrofoni[1] ja telefoni[2] — telefoniside põhiliste seadmete ehitust ja töötamispõhimõtet.

Mikrofon (joon. 248) koosneb metallkerest *1*, mis on pealt kaetud õhukese söeplaadiga — membraaniga 2. Kere sisemuses on isoleeritud alusele kinnitatud söeklots *4* süvenditega, mis on täidetud söepuruga 5.

Mikrofon lülitatakse vooluallika ringi selliselt, et vool läheb kerest isoleeritud metallkruvilt 6 söeklotsile, sealt söepurule, membraanile ja mikrofoni kerele.

Kui vajutada kergelt sõrmega membraanile, siis surub viimane söepuru kokku. Söeosakesed puutuvad üksteisega tihedamini kokku ning kindlustavad sellega parema elektrilise kontakti. Söepuru takistus väheneb ja voolu tugevus mikrofonis suureneb.

---

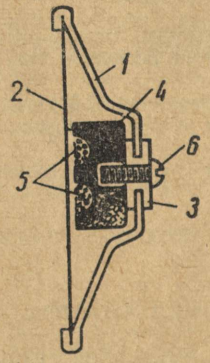
[1] Kreekakeelsetest sõnadest *mikros* — väike ja *phone* — heli.

[2] Kreekakeelsetest sõnadest *tele* — kaugele ja *phone* — heli.

Pärast membraani sirgestumist eemalduvad söepuru osakesed elastsusjõudude mõjul veidi üksteisest, puru takistus suureneb, voolu tugevus aga väheneb.

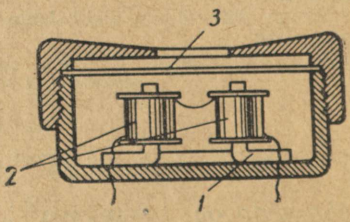
Kui mikrofoni ees rääkida, siis panevad häälelained membraani võnkuma sama sagedusega, millega võngub hääl. On ilmne, et vastavalt hääle sagedusele hakkab muutuma ka söepuru takistus ning järelikult ka voolu tugevus mikrofoni vooluringis. Järelikult *mikrofon muudab voolu tugevust vooluringis vastavalt häälevõnkumiste sagedusele.*

Mikrofoniga järjestikku lülitatakse vooluringi telefon (joon. 249). Mikrofonis tekkiv pulseeriv vool juhitakse läbi telefoni U-kujulise elektromagneti. Elektromagneti südamik *1* on valmistatud magneeditud terasest. Elektromagneti mähised 2 koosnevad mitmest tuhandest peenikese traadi keerust. Elektromagneti südamike lähedale on paigutatud õhuke terasmembraan *3*, mis on südamike külgetõmbe tulemusena kergelt nende poole paindunud.



Joon. 248. Süsimikrofoni ehitus.

Joon. 249. Telefoni ehitus.



Pulseeriva voolu läbiminemisel elektromagneti mähistest muutub perioodiliselt südamiku magneetumise aste ning järelikult ka membraanile mõjuv külgetõmbejõud. Selle tulemusena võngub membraan elektromagneti mähiseid läbiva voolu sagedusega ning paneb võnkuma ka membraanilähedased õhukihid. Nii tekitab telefon häälelainetuse. Selle tulemusena kuuleme telefonist samu sõnu ja lauseid, mida räägiti mikrofoni ees.

Kirjeldatud printsiip on kaasaegse telefoniside aluseks. Muidugi on kaasaegsete telefoniseadmete skeemid kirjeldatust tunduvalt keerulisemad.

Harjutus 39.

1. Joonisel 250 on kujutatud minimaalvoolurelee, mis laadimise lõppemisel lahutab akumulaatorite patarei autogeneraatorist. Selgitage relee töötamist. Kuidas reguleeritakse selle minimaalse voolu tugevust, mille juures relee tööle hakkab?

2. Joonistage veetorni vett pumpava pumba mootori automaatse sisse- ja väljalülitamise automaatseadme skeem. Automaat peab mootori välja lülitama, kui paak täis saab, ning mootori uuesti tööle panema, kui veenivoo langeb ettenähtud tasemele.

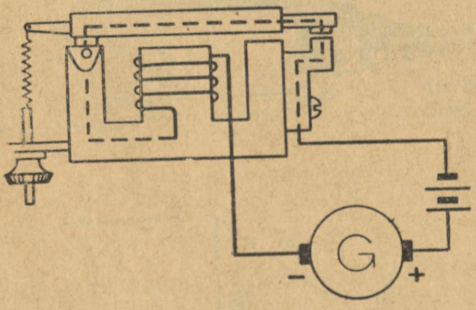
3. Telemehhaanikaseadmetes kasutatakse ulatuslikult pooljuhttakisteid, mille takistus nende valgustamisel tunduvalt väheneb. Konstrueerige nendest takistitest koosnev automaatseade tänavavalgustuse sisse- ja väljalülitamiseks.

4. Selgitage välja, millistel eesmärkidel kasutatakse teie töökohas elektromagnetilisi releesid.

§ 152. MAGNETVÄLJA MÕJU VOOLUGA JUHILE.

Me teame juba (§ 140), et kaks vooluga juhti mõjuvad teineteisele, sest ühe juhi magnetväli mõjub mingi jõuga teises juhis liikuvatele laengutele.

Selgitame välja põhjused, millest oleneb magnetvälja poolt vooluga juhile mõjuva jõu suurus ja suund.



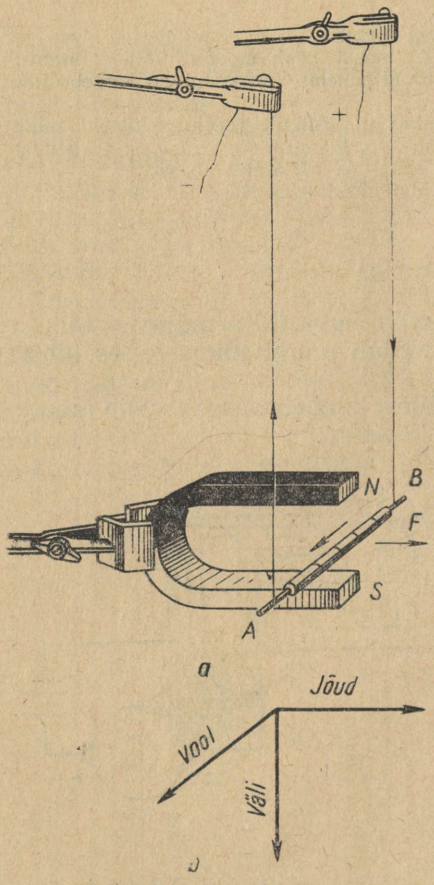
Joon. 250. Harjutus 39 ülesande 1 juurde. Minimaalvoolurelee.

Riputame painduvate traatide abil üles sirge juhi *AB* ning asetame selle magnetvälja (joon. 251, *a*). Laseme juhist voolu läbi joonisel noolega näidatud suunas. Vooluga juht hakkab magnetväljas liikuma risti magnetvälja jõujoonte suunaga. Järelikult mõjub magnetväli juhis liikuvatele elektrilaengutele (elektronidele) mingisuguse jõuga *F*, mis on risti magnetvälja jõujoontega ning voolu suunaga juhis.

Voolu suuna muutmisel muutub jõu *F* suund vastupidiseks. Kui vahetada magneti pooluste asukohad (muuta magnetvälja jõujoonte suund vastupidiseks), siis muutub jõu *F* suund jällegi.

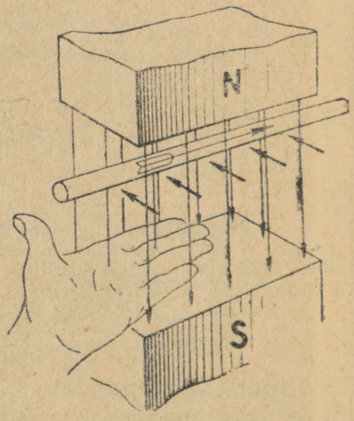
Seega *jõu suund, millega magnetväli mõjub temasse asetatud vooluga juhile, oleneb voolu suunast juhis ning magnetvälja jõujoonte suunast.*

Juhile mõjuva jõu suuna kindlaksmääramiseks võib kasutada vasaku käe reeglit: **kui asetada vasak käsi selliselt, et magnetvälja jõujooned suunduvad peopessa ning väljasirutatud sõrmed näitavad voolu suunda, siis näitab sõrmedega risti asetatud pöial** (sõrmedega ühel tasapinnal) **juhile mõjuva jõu suunda** (joon. 252).



Joon. 251. Magnetvälja mõju vooluga juhile. All on näidatud voolu suund, magnetvälja suund ja juhile mõjuva jõu suund.

Joon. 252. Vasaku käe reegli juurde.



Uurimused näitasid, et mõjuv jõud on seda suurem, mida tugevam on magnetväli, mida tugevam on juhti läbiv vool ning mida pikem on magnetväljas olev juht.

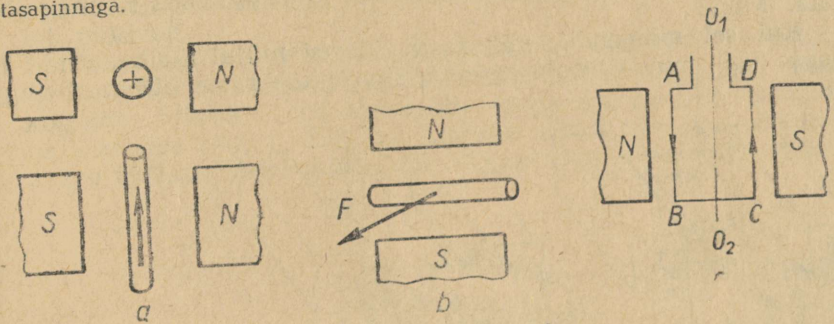
Tehti kindlaks, et vooluga juhile mõjuva jõu suurus oleneb voolu suuna ja jõujoonte suuna vahelisest nurgast. Kui voolu suund on risti jõujoonte suunaga (joon. 251), siis on jõud maksimaalne. Nurga vähenemisel väheneb ka mõjuva jõu suurus ning saab nulliks, kui voolu suund ühtib jõujoonte sihiga (nurk nende vahel on sel juhul kas 0° või 180°).

Magnetvälja poolt vooluga juhile mõjuv jõud oleneb magnetvälja tugevusest, juhis liikuva voolu tugevusest, magnetväljas oleva juhi pikkusest ning magnetvälja jõujoonte ja voolu suuna vahelisest nurgast.

Harjutus 40.

1. Tehke kindlaks magnetpooluste vahele asetatud vooluga juhtide liikumissuunad (joon. 253, *a*).

Juhis. Märk + tähendab, et vool liigub vaatlejast eemale risti joonise tasapinnaga.



Joon. 253. Harjutus 40 ülesannete 1, 2 ja 3 juurde.

2. Määrake voolu suund juhis (joon. 253, *b*).

3. Raamis, mis võib vabalt pöörelda ümber telje O_1O_2, on vooluu suund *ABCD* (joon. 253, *c*). Määrake raami lõikudele *AB*, *BC* ja *CD* mõjuvate jõudude suunad. Kuidas hakkab raam liikuma?

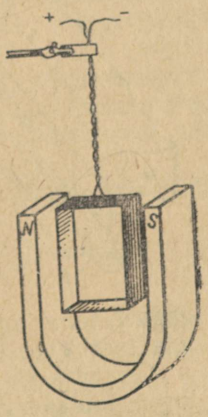
§ 153. ALALISVOOLUMOOTOR.

Vooluga juhi liikumisel magnetväljas muundub elektrienergia mehhaaniliseks energiaks, s. t. juhtme nihutamisel tehti tööd elektrienergia arvel.

Masinat, mis muundab elektrienergia mehhaaniliseks energiaks, nimetatakse *elektrimootoriks*. Elektrimootori töö põhineb vooluga raami pöörlemisel elektriväljas.

Lahendades harjutuses 40 toodud ülesannet 3, jõudsime järeldusele, et magnetvälja poolt avaldatavate jõudude mõjul hakkab vooluga raam pöörlema oma telje O_1O_2 ümber. Kontrollime seda katseliselt.

Mähime tugevast paberist karkassile mõnikümmend keerdu isoleeritud traati. Saadud traatraami asetame U-kujulise magneti magnetvälja (joon. 254). Ühendame raami mähise otsad vooluallikaga ning suleme saadud voolu-ringi. Raam pöördub 90° ning asetub risti magnetvälja jõujoontega.

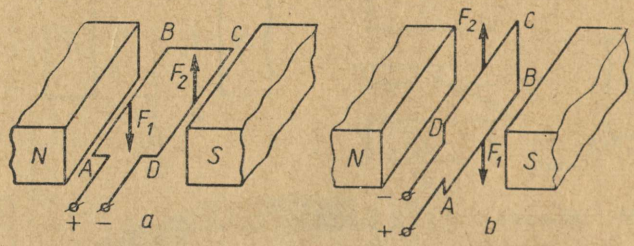


Joon. 254. Vooluga raam magnetväljas.

Joonisel 255 on skemaatiliselt kujutatud magnetväljas asuvale vooluga raamile mõjuvad

jõud. Asendis *a* mõjuvad raami külgedele *AB* ja *CD* võrdsed ning suunalt vastupidised jõud F_1 ja F_2. Raam pöördub kellaosuti liikumisele vastassuunas senikaua, kuni tema tasapind on risti magnetvälja jõujoontega (asend *b*). Selles asendis püüavad raamile mõjuvad jõud teda laiemaks venitada, kuid ei suuda raami pöörata. Miks?

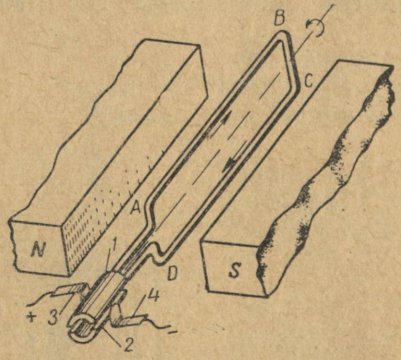
Kui sel momendil, mil raam inertsi mõjul läbib asendit *b* (joon. 255), muuta voolu suunda, siis jätkab raam liikumist ning



Joon. 255. Vooluga raamile magnetväljas mõjuvad jõud.

pöördub veel 180° võrra. Raami edasiseks pöörlemiseks on jällegi vaja muuta voolu suunda. Järelikult võib raami panna pidevalt pöörlema, kui iga poolpöörde järgi, mil raami tasapind on risti magnetvälja jõujoontega, muuta voolu suunda.

Voolu suuna automaatne muutmine toimub *kollektori* abil. Lihtne kollektor koosneb kahest teineteisest isoleeritud poolrõngast *1* ja *2* (joon. 256). Raami üks ots ühendatakse ühe poolrõn-



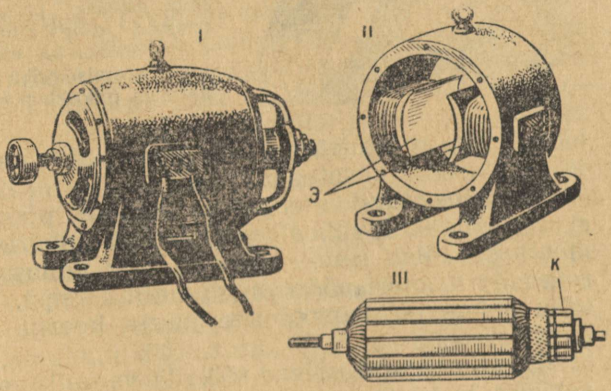
Joon. 256. Lihtsa kollektori ehituse skeem.

gaga *1*, teine aga poolrõngaga 2. Vool juhitakse raami poolrõngastele toetuvate harjade *3* ja *4* kaudu.

Oletame, et inertsi mõjul pööreldes ületas raam joonisel 255, *b* kujutatud asendi. Sellele järgneva poolpöörde vältel toetub hari *3* poolrõngale *1*, hari *4* aga poolrõngale *2*. Seejuures liigub vool raamis suunas *ABCD*. Poolpöörde lõppemisel kontaktid vahetuvad,

poolrõngale 2 libiseb nüüd hari *3*, poolrõngale *1* aga hari *4*. Sel momendil muudab vool raamis oma suunda ning liigub suunas *DCBA*. Selle tulemusena pöördub raam veel 180°. Iga poolpöörde järgi libisevad poolrõngad ühe harja küljest teise külge, voolu suund muutub eelmisega võrreldes vastupidiseks ning raam pöörleb pidevalt.

Tehnilistes elektrimootorites on raam asendatud *ankruga* III (joon. 257), mis kujutab endast terassilindrile paigutatud raamide kogumit. Mitme raami olemasolu, kusjuures raamide tasapinnad on üksteise suhtes võrdsete nurkade võrra pööratud, kindlustab ankru ühtlase pöörlemise ning ühtlase veojõu mootori võllil. Iga



Joon. 257. Väikese võimsusega alalisvoolumootor. *I* — välisvaade; *II* — mootori kere koos elektromagnetitega (ergutusmähistega); *III* — ankur koos kollektoriga *K*.

raami mähise otsad on ühendatud kollektori *K* plaadikeste paariga. Kollektori plaadikeste arv on võrdne ankrule paigutatud mähiste otste arvuga.

Elektrimootori magnetväli tekitatakse võimsa elektromagnetiga *E*, mille pooluste vahele paigutatakse ankur. Magnetvälja hajumise vähendamiseks jäetakse elektromagneti pooluskingade ja ankru vahele väikene pilu. Nii ankrut kui ka elektromagnetit toidetakse ühe vooluallika abil. Olenevalt mootori ülesannetest lülitatakse ankru ja elektromagneti mähised kas paralleelselt või järjestikku.

Ühe esimestest elektrimootoritest maailmas konstrueeris 1834. aastal akadeemik B. S. Jakobi.

§ 154. ALALISVOOLUMOOTORITE KASUTAMINE.

Elektrimootoreid kasutatakse ulatuslikult tööstuses, transpordis ja põllumajanduses. Elektrimootoritel on soojusmasinatega võrreldes palju eeliseid. Ühesuguse võimsuse juures on elektrimootorite kaal ja mõõtmed väiksemad, nad on töötamisel mugavamad ja töökindlamad, väga lihtsalt juhitavad ning nende kasutegur



Boriss Semjonovitš Jacobi (1801—1874) — vene füüsik ja elektrotehnik, kes ehitas maailma esimese praktikas kasutatava elektrimootori ning tähtedega telegraafiaparaadi. Tema töötas ka välja esemetest metallkoopiate saamise viisi ning ühe metalli teisega katmise (nikeldamise, kroomimise) meetodi.

ulatub 96%-ni (tuletage meelde aurumasina, sisepõlemismootori ja auruturbiini kasutegurid).

Elektrimootorid arendavad väikese pöörlemiskiiruse juures suurt veojõudu, võimaldavad ankru pöörlemiskiiruse sujuvat muutmist küllalt suures ulatuses ilma võimsuse tunduva muutmiseta ning mootori pöörlemissuuna muutmist. Nimetatud omaduste tõttu polegi elektrimootorite juures keerulist ja kulukat käigukasti tarvis.

Elektrimootorid võivad töötada vee all, vaakuumis, naftapuuraukudes ja teistes sellistes kohtades, kus soojusmasinate kasutamine ei ole võimalik.

Olenevalt vajadusest valmistatakse elektrimootoreid väga mitmesuguste võimsustega, alates mõnest vatist kuni sadade ja tuhandete kilovattideni. Nii näiteks on valtsimismasinatele monteeritud elektrimootorite võimsus kuni 8500 kW.

Elektrimootorite eelised võimaldavad neid kasutada väga mitmesugustel tehnika ja rahvamajanduse aladel (tööpinkide, valtsimismasinate, allveelaevade, lüpsimasinate, vihmutusseadmete jt. masinate juures).

Alalisvoolumootoreid kasutatakse raudteerongide vedamiseks. Hiljuti anti NSV Liidus ekspluatatsiooni maailma pikim elektriraudtee — Moskva—Baikali raudtee.

Alalisvoolumootoreid kasutatakse kaevandustõstukite, tõstekraanade, kaevanduse elektrivedurite, tehaste elektrikärude, trammide, trollibusside ja paljude teiste seadmete juures.

§ 155. LABORATOORNE TÖÖ NR. 20.

Elektrimootori mudeli monteerimine ja vooluringi lülitamine.

Tööriistad: elektrimootori valmisdetailid, alalisvoolu allikas, ühendusjuhtmed, reostaat, ampermeeter.

Töö käik.

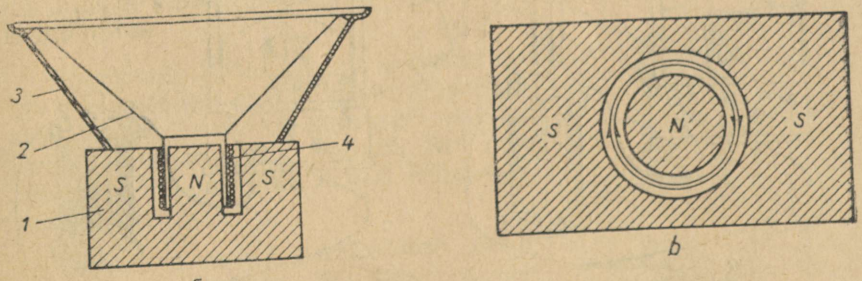
1. Monteerige antud detailidest elektrimootori mudel. Ankru ja elektromagneti mähised ühendage järjestikku.
2. Koostage vooluring järjestikku ühendatud vooluallikast, lülitist, reostaadist, ampermeetrist ja elektrimootorist. Joonistage vooluringi skeem vihikusse.
3. Sulgege vooluring ning suurendage reostaadi abil sujuvalt mootori ankru pöörlemiskiirust. Jälgige seejuures ampermeetri näitu. Kuidas muutub ankru pöörlemiskiirus voolu tugevuse suurenedes?

§ 156. ELEKTRODÜNAAMILINE VALJUHÄÄLDAJA.

Valjuhääldajaid kasutatakse hääle reprodutseerimiseks raadiovastuvõtjates, televiisorites ja teistes seadmetes.

Joonisel 258 on toodud elektrodünaamilise valjuhääldaja skemaatiline lõige. Valjuhääldaja koosneb tugevast püsivmagnetist *1* ning raamile *3* kinnitatud paberist koonusest ehk difuusorist *2*. Difuusori kitsamasse otsa on kinnitatud peenest traadist keritud helipool *4*. Pool paigutatakse magneti pooluseid eraldavasse kitsasse rõngakujulisse pilusse.

Kui pooli läbib elektrivool, siis hakkab pool magnetvälja mõjul poolustevahelises pilus liikuma. Kui pooli läbib helisagedusega pulseeriv vool, siis hakkab pool võnkuma. Pooli võnkesagedus ja amplituud langevad seejuures ühte saatja mikrofoni ees tekitatava häälevõnkumise sageduse ja amplituudiga. Pooli võnkumine kandub edasi temaga ühendatud difuusorile. Viimane täidab telefoni membraani ülesannet (§ 151), tekitades valjuhääldajat ümbritsevas ruumis häälelaineid. Kuna difuusori pindala on suur, siis on ka hääle tugevus ja tema valjus küllalt suured.



Joon. 258. Elektrodünaamilise valjuhääldaja skeem.

Harjutus 41.

1. Miks valmistatakse elektrimootori ankru südamik pehmest terasest?
2. Tehke kindlaks, kus teie töökohas kasutatakse alalisvoolumootoreid.
3. Tehke kindlaks helipooli liikumise suund dünaamilises valjuhääldajas, kui vool poolis liigub joonisel 258, *b* noolega näidatud suunas.

XVIII PEATÜKK.

ELEKTRIENERGIA TOOTMINE, EDASIANDMINE JA KASUTAMINE.

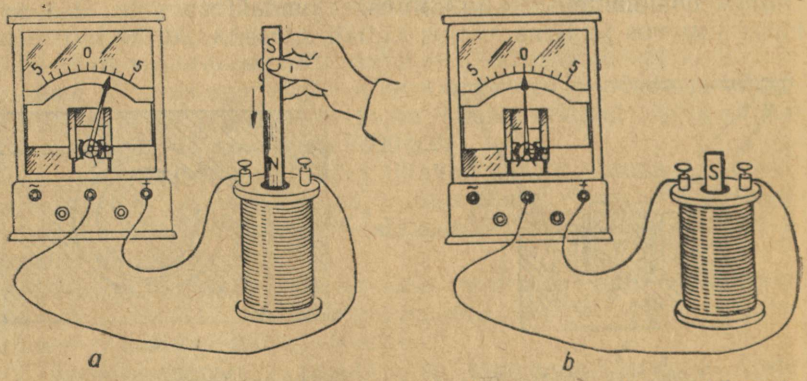
§ 157. ELEKTROMAGNETILINE INDUKTSIOON.

Elektrienergia tootmine galvaanielementide abil on kulukas. Tunduvalt odavam on elektrienergia tootmine generaatorite abil, kus elektrienergiat saadakse mehhaanilise energia arvel. Elektrijaamadesse paigaldatud generaatorid toodavadki põhilise osa tööstuslikuks otstarbeks kasutatavast elektrienergiast. Generaatorite töö aluseks on 1831. a. suure inglise füüsiku M. Faraday poolt avastatud *elektromagnetilise induktsiooni nähtus.*

Teades, et vooluga juhtme ümber tekib magnetväli, püstitas Faraday vastupidise probleemi — kas ei saa magnetvälja abil tekitada voolu? Vastuse sellele küsimusele leidis Faraday pärast 10 aasta pikkust visa tööd.

Kordame Faraday katseid. Võtame suure keerdude arvuga pooli ning ühendame selle otsad milliampermeetri klemmidega (joon. 259, *a*).

Lükkame pooli sisse magnetpulga. Milliampermeeter näitab voolu olemasolu. Voolu tekkimise põhjuseks on magnetvälja muutumine pooli sees. Kui magnetpulk on poolis paigal, siis voolu ei ole (joon. 259, *b*). Kui tõmmata magnetpulk poolist välja, siis



Joon. 259. *a* — magneti liikumise ajal tekib poolis vool; *b* — liikumatu magneti korral poolis voolu ei teki.

täheldame eelmisega võrreldes vastassuunalise voolu tekkimist. Kirjeldatud nähtust nimetatakse *elektromagnetiliseks induktsiooniks* ning tekkivat voolu *induktsioonvooluks.*

Juhti, mille otsad on teineteisega ühendatud, nimetatakse *sule-*

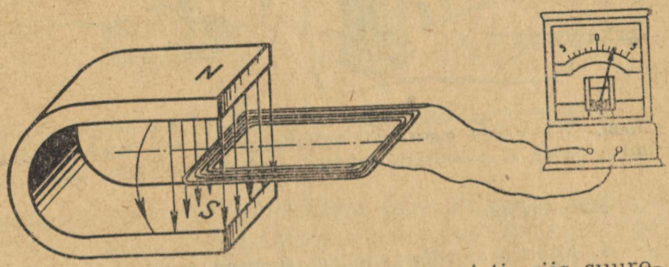
tud kontuuriks. Nii näiteks kujutab endast kontuuri milliampermeetriga suletud pool või raam.

Vaatleme lähemalt induktsioonvoolu tekkimise tingimusi.

Nihutades magnetit mitmesuguse kiirusega, veendume, et induktsioonvoolu tugevus kontuuris suureneb magneti liikumiskiiruse suurenedes. Liigutades pooli suhtes magneti teist poolust, näeme, et induktsioonvoolu suund on eelmise katsega võrreldes vastupidine.

Painutame juhi ristkülikukujuliseks raamiks (joon. 260) ning nihutame seda risti magnetvälja jõujoontega. Seejuures tekib induktsioonvool, mille suund oleneb nii juhi liikumise suunast kui ka magnetvälja jõujoonte suunast.

Tehnikas kasutatakse induktsioonvoolu suuna määramiseks parema käe reeglit (joon. 261): **kui asetada parem käsi selliselt, et magnetvälja jõujooned suunduvad peopessa ning väljasirutatud pöial näitab juhi liikumise suunda, siis näitavad sõrmed induktsioonvoolu suunda juhis.**

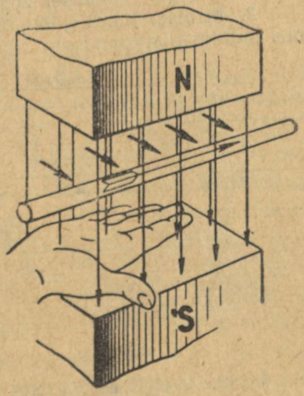


Joon. 260. Induktsioonvool tekib kontuuri läbiva magnetvoo muutumisel.

Kui nihutada raami magnetvälja jõujoontega risti, siis suureneb raami läbivate jõujoonte hulk. Raami nihutamisel vastupidises suunas väheneb jõujoonte arv, mis raami läbib.

Raami nihutamisel muutub raami läbiv *magnetvoog* (raami läbiv jõujoonte arv). Kui magnetvoog suureneb, siis on induktsioonvoolul üks suund, kui aga väheneb, siis on voolu suund eelmisega vastupidine.

Nihutame raami paralleelselt magnetvälja jõujoontega. Sel juhul raami läbiv magnetvoog ei muutu ning induktsioonvoolu ei teki.

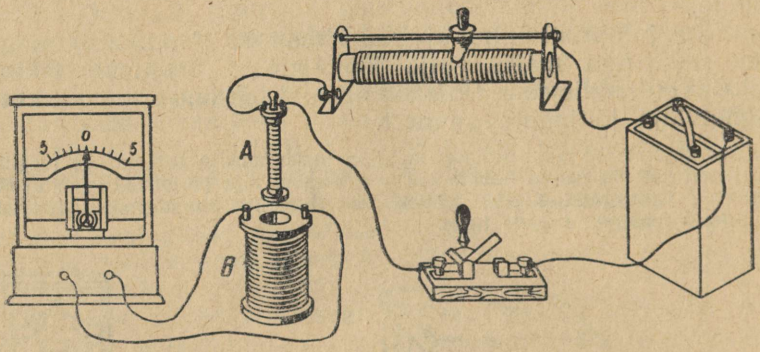


Joon. 261. Parema käe reegli juurde.

Induktsioonvool tekib siis, kui muutub kinnist kontuuri läbiv magnetvoog. Faraday katsetes muutus magnetvoog magneti lähendamise tulemusena. Induktsioonvoolu võib saada ka elektromagneti nihutamise tulemusena (joon. 262). Magnet-

voog muutub ka siis, kui jätta elektromagnet paigale, kuid muuta selles voolu. Selleks võib kas voolu sisse või välja lülitada või siis muuta voolu tugevust reostaadi abil.

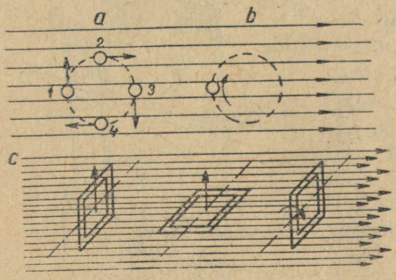
Tehtud katsetest järeldub, et **induktsioonvool tekib kinnises kontuuris siis, kui muutub seda läbiv magnetvoog** (ükskõik millisel viisil see saavutatakse).



Joon. 262. Voolu sisse- või väljalülitamine või voolu tugevuse muutmine poolis *A* põhjustab induktsioonvoolu tekkimise poolis *B*.

Harjutus 42.

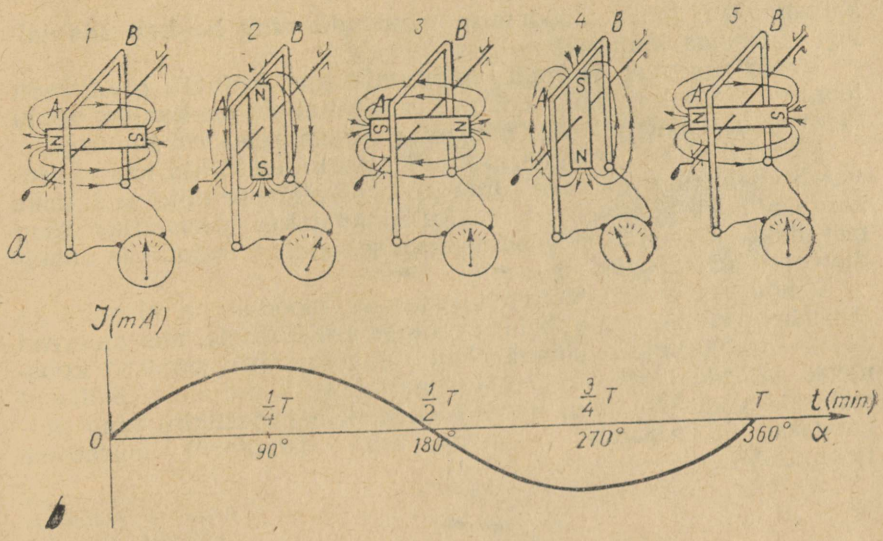
1. Millises asendis ja millise suunaga induktsioonvool tekib juhi liikumisel magnetväljas joonisel 263, *a* kujutatud viisil?
2. Kuidas muutub induktsioonvool juhis, mis liigub homogeenses elektriväljas mööda ringjoont joonisel 263, *b* noolega näidatud suunas?
3. Millisel juhul (joon. 263, *c*) tekib homogeenses magnetväljas liikuvas raamis induktsioonvool?



Joon. 263. Harjutuse 42 juurde.

§ 158. VAHELDUVVOOLUGENERAATORI EHITUS JA TÖÖTAMINE.

Magneti edasi-tagasi liigutamine kinnise kontuuri sees põhjustab kord ühe-, kord teisesuunalise induktsioonvoolu tekkimise kontuuris. Täpselt samasuguse tulemuse saame, kui paneme raami sisse pöörlema magneti (joon. 264).



Joon. 264. Induktsioonvool tekib ka magneti pöörlemisel kontuuri sees.

Kinnitame magneti teljele ning hakkame seda ühtlase kiirusega pöörama 40—50 traadikeerust koosneva raami sees. Raami külge lülitatud milliampermeeter näitab perioodiliselt oma suurust ja suunda muutva induktsioonvoolu olemasolu. Sellist voolu nimetatakse *vahelduvvooluks*.

Asendi *1* (joon. 264, *a*) läbimisel liigub magneti põhjapoolus raami lõigust *AB* kaugel, kontuuri läbivate jõujoonte arv on sel momendil maksimaalne ning peaaegu ei muutu. Seepärast on induktsioonvool raamis null. Magneti põhjapooluse lähenemisel lõigule *AB* väheneb kontuuri läbivate jõujoonte arv ikka kiiremini ja kiiremini ning saab lõpuks nulliks. Induktsioonvoolu tugevus kontuuris kasvab ning saavutab maksimaalse väärtuse momendil, mil põhjapoolus möödub lõigust *AB* (asend 2). Nüüd hakkab põhjapoolus lõigust *AB* eemalduma, induktsioonvoolu suurus seejuures väheneb.

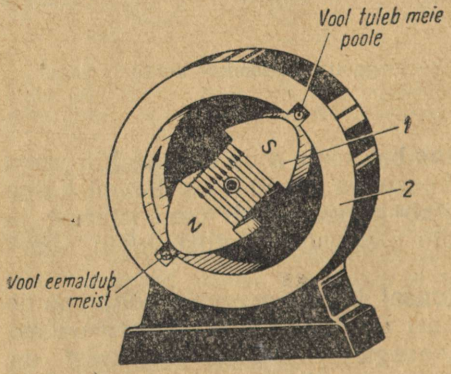
Induktsioonvoolu suunda saab siin määrata parema käe reegli abil. Sel juhul tuleb oletada, et juhe *AB* liigub magneti suhtes vasakule, magnetvälja jõujooned on suunatud aga alt üles. Induktsioonvool on esimese poolpöörde jooksul suunatud vaatlejast eemale. Teise poolpöörde ajal läheneb lõigule *AB* magneti lõunapoolus, jõuab lõigu kohale ning hakkab siis uuesti eemalduma (asendid *3* ja *4*). Seepärast on induktsioonvoolu suund eelmise poolperioodiga võrreldes vastupidine. Voolu tugevus ka selle poolpöörde ajal algul suureneb, saavutab maksimaalse väärtuse

lõunapooluse juhist möödumise momendil ning hakkab siis jällegi vähenema, kuni saab nulliks.

Voolu tugevuse ja suuna muutumist ajas kujutab graafiliselt joonisel 264, *b* kujutatud kõver. Ordinaatteljele on kantud voolu tugevus, abstsissteljele aga magneti pöördenurgad või siis aeg.

Magneti ühe täispöörde sooritamiseks kulunud aja kestel saavutab voolu tugevus kaks korda absoluutväärtuse ning saab kaks korda nulliks. Seda ajavahemikku nimetatakse *perioodiks* ning märgitakse tähega *T*. Perioodide arvu sekundis nimetatakse vahelduvvoolu *sageduseks*.

Vaadeldud induktsioonvoolu saamise moodus on aluseks ka tänapäeva võimsatele vahelduvvoolugeneraatoritele, mis annavad 11 000—16 000 voldist pinget. Nende generaatorite mähised koosnevad jämeda isoleeritud traadi paljudest keerdudest. Selliseid mähiseid võetakse mitu, need ühendatakse järjestikku ning paigutatakse generaatori liikumatu kere (*staatori*[1]) uuretesse (joon. 265).



Joon. 265. Vahelduvvoolugeneraatori skeem. *1* — rootor; 2 — staator.

Staatori sisemuses pöörleb tugev elektromagnet. Elektromagnetit toidetakse alalisvooluga. Generaatori pöörlevat osa nimetatakse *rootoriks*[2]. Rootori paneb pöörlema kas hüdro- või auruturbiin (joon. 266 ja 267).

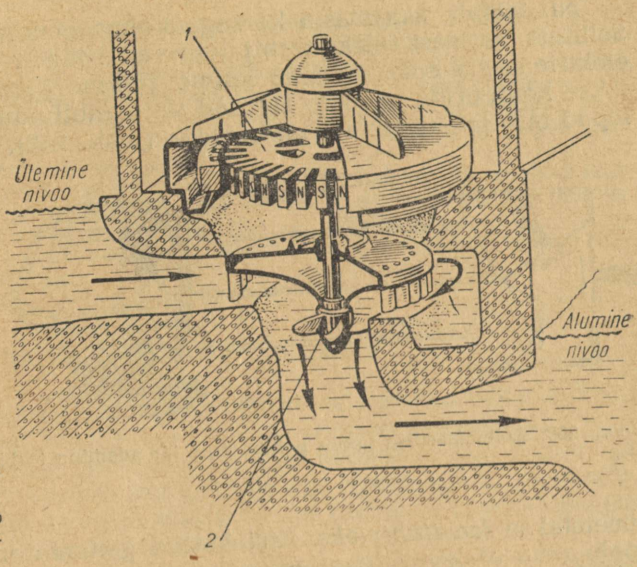
NSV Liidus ja Euroopa riikides on tööstusliku vahelduvvoolu sageduseks 50 perioodi sekundis. See tähendab, et vool muudab sekundis oma suunda 100 korda.

Vahelduvvool põhjustab juhtide soojenemist ning avaldab magnetilist toimet analoogiliselt alalisvooluga. Vahelduvvoolu ei saa aga kasutada akumulaatorite laadimiseks ning metallide elektrolüüsiks (miks?).

Kaasaegsete generaatorite staatoritele on asetatud harilikult

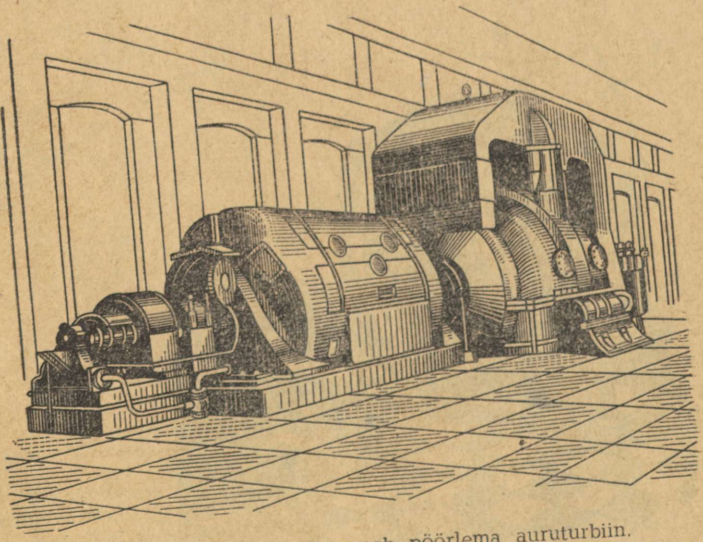
---

1 Kreekakeelsest sõnast *stator* — liikumatult seisev.
2 Ladinakeelsest sõnast *rotare* — keerama, väntama.



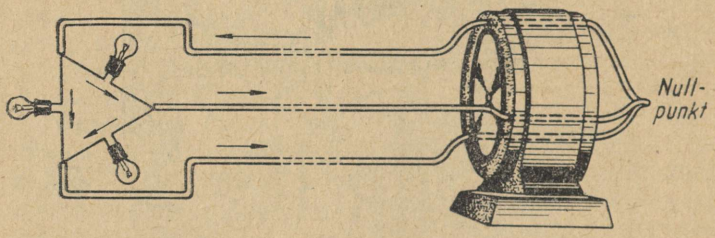
Joon. 266. Vahelduvvoolugeneraatori rootori *1* paneb pöörlema hüdroturbiin 2.

kolm erinevat kontuuri, mis on üksteise suhtes $\frac{1}{3}$ täispöörde võrra nihutatud. Elektromagneti pöörlemisel saavutab voolu tugevus maksimaalse väärtuse igas kontuuris $\frac{1}{3}$ perioodi võrra hiljem kui eelmises kontuuris.



Joon. 267. Vahelduvvoolugeneraatori rootori paneb pöörlema auruturbiin.

Nii täidab üks masin korraga kolme generaatori ülesandeid. Sellisest masinast tuleks tarbijateni viia 6 juhet. Tegelikult toimub elektrienergia edasiandmine kolme juhtme abil. Selleks ühendatakse kontuuride mähiste algused ühte (nullpunkti) ning mähiste lõpud tarbijateni viivate juhtmetega (joon. 268). Igat sellist juhet

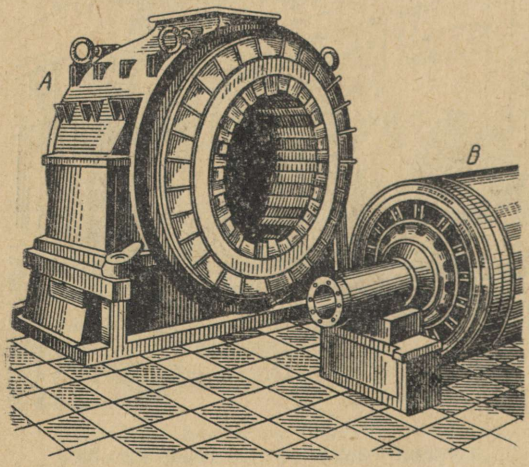


Joon. 268. Kolmefaasilise voolu generaatori ühendamine tarbijatega.

nimetatakse *faasijuhtmeks*. Kirjeldatud generaatori abil saadavat voolu nimetatakse *kolmefaasiliseks vooluks*.

Kolmefaasilise voolu kasutamine on majanduslikult efektiivne, sest väheneb generaatorite valmistamiseks ning ülekandeliinide ehitamiseks vajaliku metalli kulu. Pealegi on kolmefaasilise voolu mootorid väga lihtsad, mistõttu neid kasutatakse laialdaselt tööstuses.

Joonisel 269 on toodud lahtimonteeritud vahelduvvoolugeneraator.



Joon. 269. Suure võimsusega vahelduvvoolugeneraator. *A* — staator, *B* — rootor.

Väikese võimsusega vahelduvvoolu generaatorites tehakse elektromagnet liikumatu, raamikujuline kontuur aga pannakse magnetväljas pöörlema (joon. 270). Et kontuuri tarbijatega ühendavad juhtmed keerdu ei läheks, kasutatakse generaatoris libisevat kontakti. Selleks ühendatakse kontuuri otsad raamiga samale teljele kinnitatud pöörlevate rõngastega (üks ots ühe, teine teise rõngaga). Vedrude abil surutakse rõngaste külge kas vasest või söest valmistatud harjad. Harjad ühendatakse juhtmete abil tarbijatega.

Ka siin liigub kontuuri iga külg ühe poolperioodi jooksul põhjapooluse, teise poolperioodi jooksul aga lõunapooluse eest mööda. Seepärast on ka vool esimese poolperioodi ajal ühe-, teise poolperioodi ajal aga teisesuunaline.

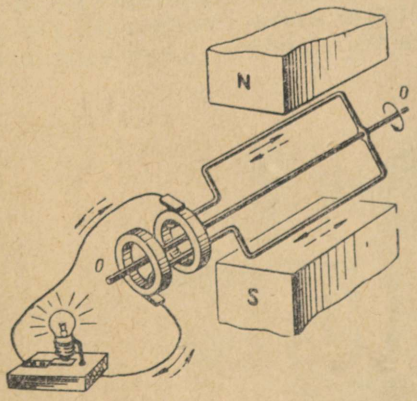
Tehke iseseisvalt kindlaks, kuidas saadakse selle generaatori kontuuris ja välises vooluringis vahelduvvool.

§ 159. ALALISVOOLUGENERAATOR.

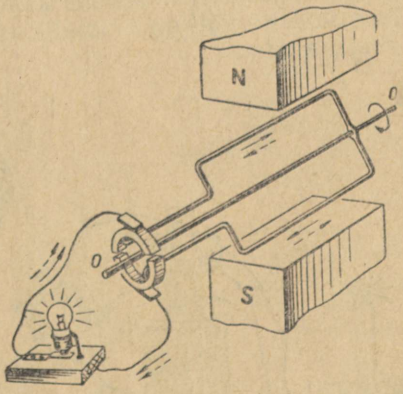
Kui asendada vahelduvvoolugeneraatoris kontaktrõngad kahe poolrõngaga (joon. 271), siis saame alalisvoolugeneraatori.

Sellise generaatori pöörlevas raamis muutub voolu suund iga poolpöörde järel. Välises vooluringis aga voolu suund ei muutu, sest momendil, mil muutub voolu suund raamis, libisevad harjad ühelt poolrõngalt teisele poolrõngale.

Voolu pulseerimise (voolu tugevuse muutuse) vähendamiseks suurendatakse alalisvoolugeneraatorites raamide arvu. Generaatori libisev kontakt koosneb seepärast raamide arvuga võrdsest plaadipaaride hulgast. Nendele plaatidele kinnitatakse raamide otsad



Joon. 270. — Väikese võimsusega vahelduvvoolugeneraatori skeem. Nooled näitavad induktsioonvoolu suunda raamis ja välises vooluringis. Pidev nool näitab voolu suunda esimese poolpöörde jooksul, punktiirjoon aga raami teise poolpöörde jooksul.



Joon. 271. Lihtsa alalisvoolugeneraatori skeem.

selliselt, et kõik raamid oleksid ühendatud üksteisega järjestikku. Üksikutest plaatidest koosnevale kollektorile toetuvad harjad, mille kaudu juhitakse välisvooluringi minimaalselt pulseerivat alalisvoolu.

Alalisvoolugeneraatori ehitus on täpselt sama, mis alalisvoolumootoril (joon. 257). Seepärast räägitakse, et alalisvoolumasinad on *pööratavad:* kui panna elektrimootori ankur mingi jõuallika abil pöörlema, tekib välises vooluringis alalisvool; voolu laskmisel generaatori rootorisse hakkab viimane pöörlema.

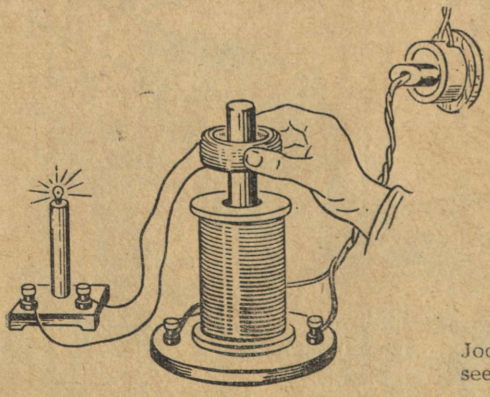
Seega on Faraday poolt avastatud elektromagnetilise induktsiooni nähtus aluseks elektrienergia tööstuslikule tootmisele.

Harjutus 43.

1. Miks ei ole soovitav asetada telefonijuhtmeid vahelduvvoolu juhtmetega ühtede ja samade postide otsa?
2. Miks undavad vahelduvvoolu võrku lülitatud elektromagnetid?
3. Kui ühendada teineteisega kaks milliampermeetrit ning ühte neist kiigutada, siis hakkab võnkuma ka teise milliampermeetri osuti. Selgitage kirjeldatud nähtust.

§ 160. TRANSFORMAATOR.

Enamik elektrienergia tarbijaid on arvestatud suhteliselt madalale pingele — 127 V; 220 V või 380 V. Elektrijaamade generaatorid annavad aga 11 000—16 000 V. Sellega seoses tekib vajadus pinge muutmiseks. Selleks kasutatakse transformaatoreid[1]. Transformaatorite abil on võimalik tõsta või alandada pinget vahelduvvoolu ahelates.



Joon. 272. Muutuv magnetväli indutseerib poolis vahelduvvoolu.

[1] Ladinakeelsest sõnast *transformare* — ümber moodustama. Transformaator — muundaja.

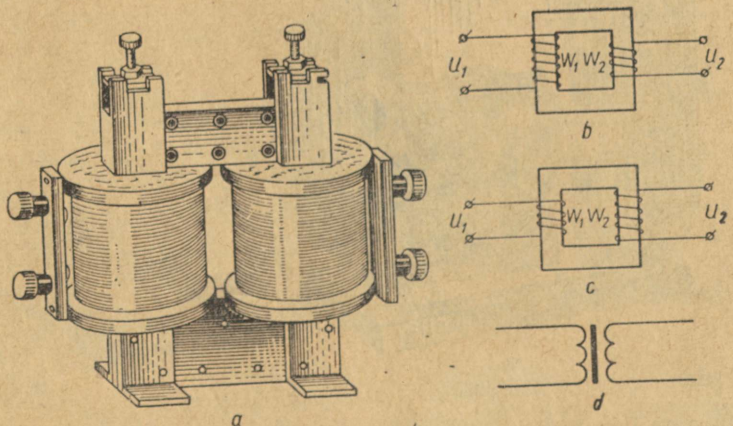
Tutvume transformaatori töötamispõhimõttega. Lülitame 127- (või 220-) voldisesse võrku suure keerdude arvuga pooli (joon. 272). Pooli metallsüdamikus ning ümbritsevas ruumis tekib muutuv magnetväli. Paigutame sellesse välja väikese keerdude arvuga pooli. Pooli otstega ühendame 6 V pingele arvestatud lambi. Muutuv magnetväli indutseerib poolis vahelduvvoolu ning lamp põleb. Elektrivõrgu pinge transformeeriti antud juhul tunduvalt madalamaks pingeks.

Pöörake tähelepanu *juhtidest ühenduse puudumisele* poolide vahel. *Elektrienergia muundub siin muutuva magnetvälja energiaks, see omakorda aga uuesti elektrienergiaks.*

Selleks et magnetväli ei hajuks ümbritsevas ruumis, kasutatakse suletud südamikku ning transformaatoritel on joonisel 273, *a* toodud kuju.

Transformaatori seda mähist, mida toidetakse vahelduvvooluga, nimetatakse *primaarmähiseks*, seda mähist aga, kus indutseeritakse vool, nimetatakse *sekundaarmähiseks*. Kui sekundaarmähise keerdude arv on primaarmähise keerdude arvust väiksem, siis transformaator madaldab pinget. Sellist transformaatorit nimetatakse pinget madaldavaks transformaatoriks (joon. 273, *b*). Kui sekundaarmähisel on primaarmähisega võrreldes rohkem keerde, siis transformaator tõstab pinget ning teda nimetatakse vastavalt pinget tõstvaks transformaatoriks (joon. 273, *c*).

Elektrilistel skeemidel kasutatakse transformaatori tähistamiseks joonisel 273, *d* toodud tingmärki.



Joon. 273. *a* — transformaatori üldvaade; *b* — pinget madaldava transformaatori skeem; *c* — pinget tõstva transformaatori skeem; *d* — transformaatori tingmärk skeemidel.

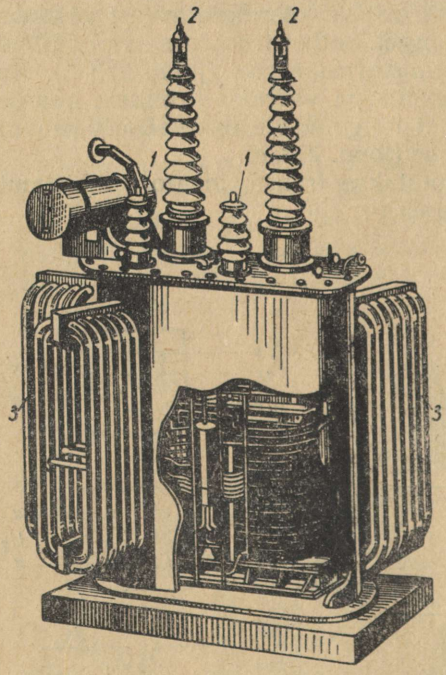
Katsed näitavad, et väikeste energiakadude korral **pinged transformaatori mähiste otstel on võrdelised mähiste keerdude arvudega:**

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

kus U_1 ja U_2 on pinged vastavalt primaarmähise ja sekundaarmähise otstel ning n_1 ja n_2 primaar- ja sekundaarmähise keerdude arvud.

Pideva ümbermagneetimise tulemusena transformaatori südamik kuumeneb. Et vältida südamiku liigset soojenemist, valmistatakse see õhukestest kergesti ümbermagneetuvatest transformaatoriterase lehtedest. Lehed isoleeritakse üksteisest lakikihiga.

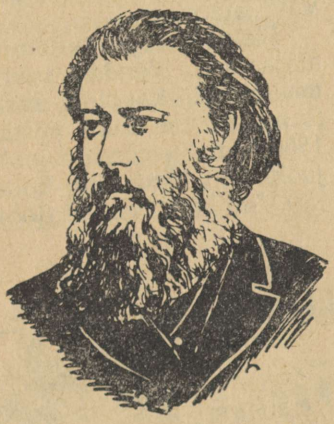
Joonisel 274 on kujutatud suure võimsusega transformaator. Selline transformaator on paigutatud õlivanni. Konvektsiooni tule-



Joon. 274. Suure võimsusega transformaator. *1* — alampingemähise väljund; 2 — ülempingemähise väljund; *3* — torud, mida mööda liigub jahutusõli.

musena liigub transformaatori töötamise ajal soojenev õli õlivanni ümbritsevatesse torudesse, kus teda jahutatakse välise õhuga. Jahtunud õli jahutab omakorda transformaatorit.

Transformaatori kasutegur ulatub kuni 99%-ni. Esimese trans-



Pavel Nikolajevitš Jablotškov (1847—1894) — väljapaistev vene elektrotehnik, kes konstrueeris kaarlambi, nn. Jablotškovi küünla, mida kasutati paljudes maades linnade tänavate, väljakute ja hoonete valgustamiseks. Lampide toitmiseks konstrueeris Jablotškov transformaatori.

formaatori ehitas vene elektrotehnik P. N. Jablotškov. Oma transformaatorit kasutas ta elektrivalgustuses. Pärast transformaatori täiustamist I. F. Ussagini (1855—1919) poolt sai võimalikuks vahelduvvoolu ulatuslik kasutamine tööstuses.

§ 161. ELEKTRIENERGIA ÜLEKANDMINE SUURTELE KAUGUSTELE.

Elektrienergia ülekandmisel suurtele kaugustele kulub tunduv osa energiast kasutult, nimelt juhtmete soojendamiseks. Joule'i-Lenzi seaduse järgi (§ 133) on juhtmete soojendamiseks kuluv energiahulk võrdeline voolu tugevuse ruuduga ($Q = I^2Rt$). Kui vähendada voolu tugevust näiteks 20 korda, siis väheneb energiakulu juhtmete soojendamiseks järelikult 20^2 korda, s. o. 400 korda.

Transformaator võimaldab vähendada voolu tugevust juhtmetes praktiliselt ilma ülekantavat võimsust muutmata ja seda tänu pinge tõstmisele. Kuna energiakaod transformaatoris on väikesed, siis on sekundaarmähises indutseeritud voolu võimsus I_2U_2 praktiliselt võrdne primaarmähist läbiva voolu võimsusega I_1U_1:

$$I_1U_1 = I_2U_2, \text{ siit } \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}.$$

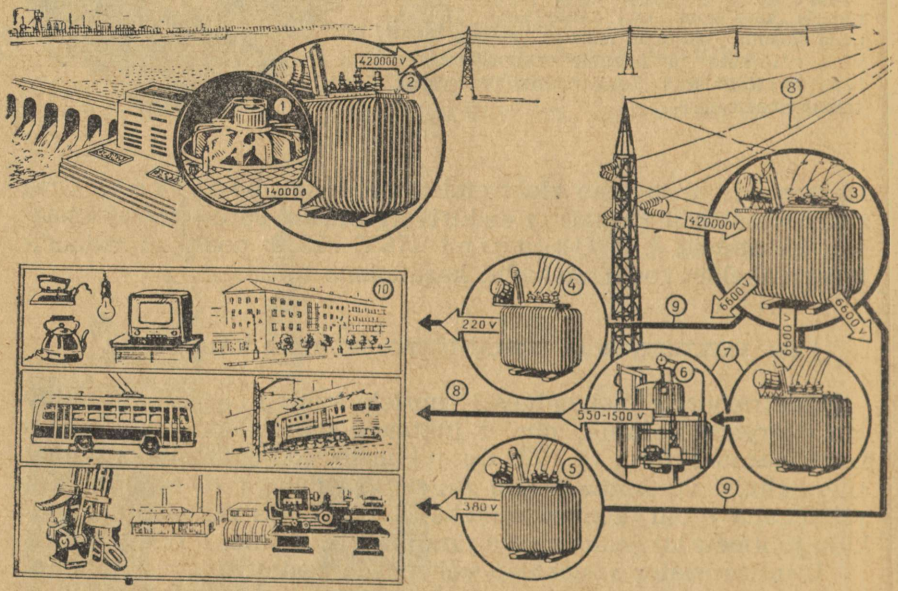
Seega võime öelda: **pinge tõstmisel mingi arv korda väheneb voolu tugevus sama arv korda.**

Toome näite.

Elektrienergia ülekandmiseks V. I. Lenini nimelisest Volga hüdroelektrijaamast Moskvasse (vahemaa 900 km) tõstetakse pinge eelnevalt võimsate transformaatorite abil 14 kV-lt 420 kV-le, s. t. 30 korda. Voolu tugevus ülekandeliinis väheneb selle tulemusena samuti 30 korda; energiakaod juhtmete soojendamiseks

vähenevad samal ajal aga 900 korda ning ei ületa 7% ülekantavast energiast.

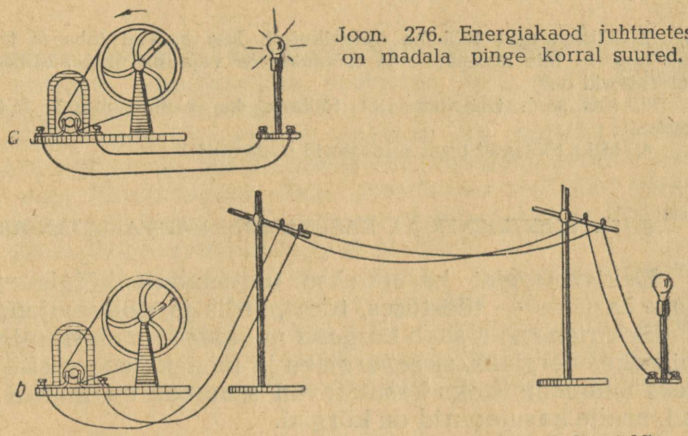
Elektrienergia tarbimispiirkondades asuvad pinget madaldavad alajaamad. Nendest suunatakse elektrienergia kas õhuliine või maa-aluseid kaableid mööda tarbimispunktidesse, kus pinge transformeeritakse kuni vastava tööpingeni — elektrivedurite jaoks 1500 V-ni, trammide jaoks 600 V-ni, tööpinkide elektrimootorite jaoks 380 V-ni ning koduse majapidamise jaoks ja valgustuseks 220 V-ni või 127 V-ni (joon. 275).



Joon. 275. Pinge muutmine transformaatorite abil.

Paljude mõõteriistade ja igapäevases elus kasutatavate tarbijate juures on transformaatorid monteeritud vahetult riistadesse. Nii on näiteks raadiovastuvõtjatesse ja televiisoritesse monteeritud transformaatorid, mis alandavad pinget kuni 6,3 V-ni ning tõstavad pinget kuni 300 V-ni. Televiisori kineskoobi jaoks tõstetakse pinge kuni 15 000 V-ni.

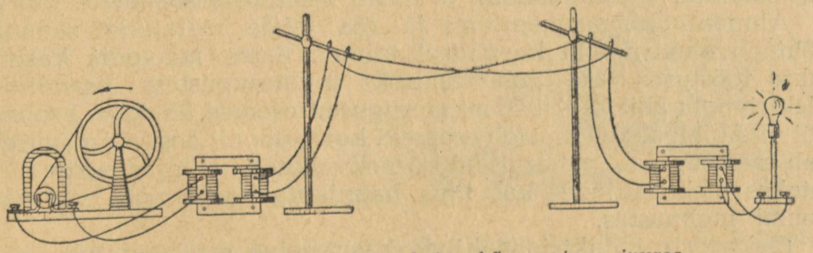
Vaatleme elektrienergia suurele kaugusele ülekandmise mudelit. Kasutame siin suure takistusega juhtmeid. Sel juhul ei hakka vahetult vahelduvvoolu generaatoriga ühendamisel põlev lambike



Joon. 276. Energiakaod juhtmetes on madala pinge korral suured.

(joon. 276, *a*) üldse polema, kui ta ühendatakse ülekandeliini lõppu (joon. 276, *b*). Suur osa elektrienergiast kulub siin juhtmete soojendamiseks.

Kui pinget ülekandeliini alguses transformaatori abil tõsta, liini lõpus aga transformeerida endisele kõrgusele, siis hakkab liini lõpus olev lambike heledasti põlema (joon. 277). Sel juhul on energiakaod ülekandeliinis väikesed, sest seda läbib kõrgepingeline väikese tugevusega vool.



Joon. 277. Elektrienergia ülekandmine kõrge pinge juures.

Harjutus 44.

1. Kirjutage tabelisse puuduvad andmed transformaatorite kohta. Energiakaod transformaatorites lugeda nulliks.

Transformaator nr.	1	2	3	4	5
keerdude arv n_1	1000	300	...	2000	...
" " n_2	200	1800	500	...	8000
pinge U_1 voltides	50	10	120	220	120
" U_2 "	...	...	40	44	300
vool I_1 amprites	...	...	1,5	...	...
" I_2 "	2	0,5	...	5	0,2

2. Küsige oma töökoha elektrikutelt, kus asuvad tehases transformaatorid, mis tagavad teie masinatele ja tööpinkidele vajaliku pinge. Millised need transformaatorid on?

3. Kas saab transformaator töötada ka alalisvooluga? Põhjendage oma vastust.

4. Miks töötavad transformaatorid undavad?

§ 162. ELEKTRIENERGIA KASUTAMINE RAHVAMAJANDUSES.

Elektrienergiat kasutatakse ulatuslikult kõigis rahvamajanduse harudes — tööstuses, transpordis ja põllumajanduses.

Elektrienergiat saab kergesti muundada mehhaaniliseks ja keemiliseks energiaks, siseenergiaks ja teisteks energialiikideks. Nendeks muundamisteks kasutatavad seadmed on lihtsad ja töökindlad, nende kasutegurid on kõrged.

Elektrienergiat on suhteliselt lihtne edasi anda suurtele kaugustele. See on eriti kasulik majanduslikult. Ainult elektrienergia kasutamine võimaldab tootmisprotsesse automatiseerida.

Kaasaegses tööstuslikus tootmises etendab elektrienergia otsustavat osa. Kõik materjalide mehhaanilise töötlemise protsessid, näiteks lõikamine, sepistamine, stantsimine, valtsimine jne. põhinevad elektrienergia kasutamisele. Elektrienergiat kasutatakse kaevandusvedurite, söe- ja maagitransportööride, kaevandustõstukite, söekombainide ja teiste mäetööstusseadmete juures.

Alumiiniumi, magneesiumi ja rea teiste metallide saamine põhineb elektrivoolu keemilisel toimel. Sama meetodit kasutatakse tööstuses vase puhastamiseks mitmesugustest lisanditest. Elektrivoolu abil kaetakse mitmesugused esemed õhukese kroomi- või niklikihiga. See kaitseb esemeid korrosiooni[1] eest ning suurendab esemete iga. Spetsiaalseid kõrgekvaliteedilisi terasesorte sulatatakse elektriahjudes kas ilma hapnikuta keskkonnas või vaakuumi tingimustes.

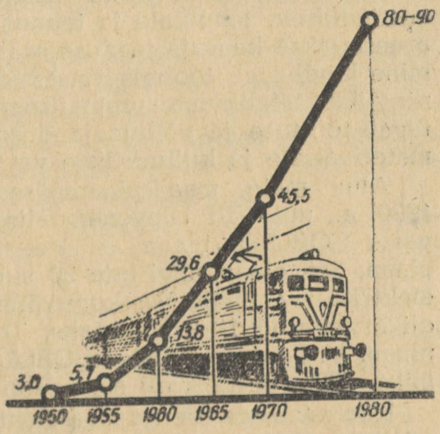
Elektriliste induktsioonahjude kasutamine masinaehituses esemete pindkarastamiseks, hõõgutamiseks ning tsementeerimiseks võimaldab parandada termiliste protsesside tehnoloogiat ning tõsta tööviljakust. Sellise induktsioonahju abil võib traktori väntvõlli karastada 45 sekundiga. Enne induktsioonahju kasutuselevõtmist kulus samaks operatsiooniks 4 tundi.

Üha ulatuslikumalt rakendatakse masinaehituses metallide elektrilist töötlemist. Elektrisädeme abil töödeldakse karastatud terasest esemeid ning ülitugevaid sulameid. Elektrisädeme abil lõigatakse metalli ning puuritakse avasid, sealhulgas ka kõvasulamitesse. Need avad võivad olla väga mitmesuguse kujuga. Nende läbimõõte mõõdetakse millimeetri kümnendike ja isegi sajandikega.

[1] Korrosioon — metallide pindade oksideerumine väliskeskkonna mõjul, näiteks roostekihi tekkimine terasesemetele.

Elektrienergia ulatuslik kasutamine tööstuses võimaldab automatiseerida paljusid tehnoloogilisi protsesse. Ikka enam kasutatakse automaattööpinke, automaatliine ja automaattsehhe. Katsetatakse täielikult automatiseeritud tehaseid. Nii näiteks töötab juba mitu aastat täielikult automatiseeritud tehas, mis toodab sisepõlemismootorite kolvirõngaid. Reas ettevõtetes töötavad elektronarvutusmasinad, mis vastavalt etteantud programmile kontrollivad ning juhivad tehase tehnoloogilist protsessi.

Elektrienergiat kasutatakse ulatuslikult raudteetranspordis. Elektrifitseeritud raudteeliinide pikkuse poolest on Nõukogude Liit maailmas esikohal. Piltliku kujutuse elektrifitseeritud raudteeliinide pikkuse kasvust NSV Liidus annab joonisel 278 toodud diagramm. Elektrivedurite kasutamine tõstab raudteede läbilaske-



Joon. 278. Elektrifitseeritud raudteeliinide pikkuse kasv NSV Liidus (tuhandetes kilomeetrites).

võimet 2—2,5 korda (seda tänu rongide liikumiskiiruse ja kaalu kasvule) ning on seega majanduslikult väga kasulik. 1980. aastaks peab elektrirongidele langema mitte vähem kui 80% veoste üldmahust.

Põllumajanduses kasutatakse elektrienergiat peamiselt söötade ettevalmistamiseks loomakasvatusfarmides (õlgede ja juurvilja purustamiseks, söötade aurutamiseks), lehmade lüpsmiseks, lammaste pügamiseks, farmide varustamiseks veega, põldude niisutamiseks, viljapeksmiseks, kasvuhoonete ja inkubaatorite kütmiseks, vilja kuivatamiseks ning mitmesuguste põllumajandussaaduste töötlemiseks (koore eraldamiseks, või valmistamiseks, juurvilja ja puuvilja konserveerimiseks jne.).

§ 163. NSV LIIDU ELEKTRIFITSEERIMINE.

Elektrifitseerimiseks nimetatakse elektrienergia saamist võimsates elektrijaamades, selle edasiandmist kõrgepingeliinide abil tarbijateni ning elektrienergia ulatuslikku kasutamist rahvamajanduses ja mitmesugustes kultuuri- ja igapäevase elu valdkondades.

Kommunistliku ühiskonna ülesehitamise põhiülesannete formuleerimisel juhindub partei V. I. Lenini geniaalsest definitsioonist: «Kommunism — see on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine.» Selles lauses on lühidalt väljendatud mõte sellest, et kõige eesrindlikuma ühiskonnakorra ning elektrienergia kasutamisele põhineva kõrgeltarenenud tööstuse olemasolu on kommunistliku ühiskonna ehitamise vajalikuks tingimuseks.

Elektrienergia ulatuslik kasutamine võimaldab organiseerida eesrindlikule tehnikale ja tehnoloogiale baseeruvat tööstust, kus arvestatakse kaasaja teaduse saavutustega. Elektrienergia kasutamine kindlustab tootmisprotsesside komplekssе mehhaniseerimise ning ikka täielikuma automatiseerimise. Elektrienergia kasutamine tagab tööstuse ja põllumajanduse kiire arengu ning elanikkonna materiaalsete ja kultuuriliste vajaduste täieliku rahuldamise.

Alus meie maa plaanipärasele elektrifitseerimisele pandi 1920. a., mil VIII Ülevenemaalisel Nõukogude Kongressil võeti vastu GOELRO plaan — Venemaa elektrifitseerimise riiklik plaan. See plaan nägi ette 30 suure (tolleaja mastaabis) rajooni-elektrijaama ehitamise koguvõimsusega 1,5 miljonit kW. Plaan oli arvestatud 10—15 aastaks. Tolle aja kohta oli see hiiglaslik plaan. V. I. Lenin nimetas GOELRO plaani partei teiseks programmiks. 1936. aastaks oli see plaan umbes kolmekordselt ületatud.

Kiires tempos arenes maa elektrifitseerimine järgnevatel aastatel. Juba 1940. aastal tõusis NSV Liit elektrienergia tootmises teisele kohale Euroopas ning kolmandale kohale maailmas. Tänapäeval asub NSV Liit elektrienergia tootmises teisel kohal maailmas, lähenedes kiires tempos Ameerika Ühendriikide elektrienergia tootmise tasemele.

Elektrifitseerimise aluseks on terveid tööstuspiirkondi teenindavate võimsate elektrijaamade ehitamine. Võimsate elektrijaamade ehitamine on majanduslikult märksa kasulikum kui väikeste jaamade ehitamine. Seda näitab elektrienergia omahinna võrdlemine. Väikestes tehaste elektrijaamades on 1 kWh elektrienergia tootmine 30—200 korda kallim kui võimsates hüdroelektrijaamades.

Meie kodumaal töötavad kümned võimsad soojuselektrijaamad, mis on ehitatud kütuse leiupaikade lähedusse. Enamik neist kasutavad odavaid kütuseid (madalasordiline kivisüsi, turvas, masuut, põlevkivi, looduslik gaas). Pidevalt suurenevad ka soojuselektrijaamade võimsused. 1963. a. anti ekspluatatsiooni kuus

maailma suurimat soojuselektrijaama, nimelt Konakovo, Krivoi-Rogi, Jermakovo, Leedu, Kiriši ja Kutšurgani soojuselektrijaam, igaüks võimsusega üle 2 milj. kW. Nendes on üles seatud maailma suurimad turbogeneraatorid võimsusega 200 000 ja 300 000 kW.

Meie maal töötavad paljud suure võimsusega hüdroelektrijaamad. Maailma suurima elektrijaama — Angaraale ehitatud Bratski hüdroelektrijaama võimsus on 4,5 milj. kW. Täies hoos on Jenisseile püstitatava 5 milj. kW võimsusega Krasnojarski hüdroelektrijaama ehitamine. See jaam kindlustab tulevikus 20 miljardi kWh elektrienergia tootmise aastas.

NLKP programm näeb ette meie maa täieliku elektrifitseerimise 1980. aastaks. Elektrienergia aastatoodang peab 1970. a. tõusma 900—1000 miljardi kilovatt-tunnini, 1980. aastaks aga 2700—3000 miljardi kilovatt-tunnini (see on 9—10 korda rohkem kui 1960. a.).

20 aasta jooksul on ette nähtud 180 võimsa elektrijaama ehitamine. Hiiglaslikud elektrijaamad ehitatakse suurtele Siberi jõgedele: Alam-Obi hüdroelektrijaam ja Ust-Ilimi hüdroelektrijaam võimsusega 4 milj. kW, Bogutšanõ, Jenissei, Ossinovka, Niznjaja Tunguska ja Sajaani hüdroelektrijaam, igaüks võimsusega üle 4 milj. kW. Nendes elektrijaamades monteeritakse üles hüdroturbiinid võimsusega 500 000 kW. Võrdluseks märgime, et Ameerika Ühendriikide suurimate hüdroturbiinide võimsus on ainult 120 000 kW.

Sama ajavahemiku jooksul tuleb NSV Liidus ehitada umbes 460 võimsat soojuselektrijaama võimsusega 600 000 kW kuni 2,4 milj. kW. Võimsates soojuselektrijaamades seatakse üles kuni 1,5 milj. kW võimsusega auruturbiinid. Paljud soojuselektrijaamad hakkavad varustama tööstuskeskusi mitte ainult elektrienergiaga, vaid ka soojusega. Osaliselt läbitöötanud auru hakatakse kasutama tööstuslikuks otstarbeks ning hoonete kütmiseks.

Suurte tööstuspiirkondade elektrijaamad annavad praegu oma energia ühtsesse energiavõrku. Selliselt ühendatud elektrijaamad moodustavad antud rajooni energiasüsteemi. Energiasüsteemide loomine võimaldas majanduslikult efektiivselt sobitada soojus- ja hüdroelektrijaamade töö. Talvel, kus suureneb elektrienergia kulutamine valgustamiseks, hüdroelektrijaamad aga ei saa veepuuduse tõttu täie võimsusega töötada, suurendatakse soojuselektrijaamade poolt toodetava energia hulka. Suvel, kus vett on palju ning hüdroelektrijaamad töötavad täie võimsusega, võib vastavalt vähendada soojuselektrijaamades toodetava energia hulka.

NLKP programmis räägitakse NSV Liidu ühtse energiasüsteemi loomisest. Sellesse süsteemi kuuluksid kõik meie maa elektrijaamad. Sellisest süsteemist saab anda energiat piirkondadele, kus sellest puudust tuntakse. Siberi elektrijaamades toodetavat ener-

giat võib suunata Uraali, Kesk-Aasiasse ja NSV Liidu Euroopa-osasse. Ühtse energiasüsteemi loomine nõuab ka ülekandeliinide pinge tõstmist mitme miljoni voldini. Arvestused näitavad, et elektrienergia ülekandmine kaugemale kui 500 km on otstarbekas alalisvooluna. Praegu on ekspluatatsiooni antud eksperimentaalne alalisvoolu ülekandeliin Volgograd—Donbass pingega 800 000 V.

Meie maal tehakse ulatuslikku uurimistööd uut tüüpi elektrienergia generaatorite ja elektrijaamade väljatöötamiseks. Juba on ekspluatatsiooni antud aatomienergial töötavad tööstuslikud elektrijaamad. Aja jooksul avastatakse uusi energiaallikaid ning uusi meetodeid mitmesuguste energialiikide muundamiseks elektrienergiaks.

XIX PEATÜKK.

ALGTEADMISI RAADIOVASTUVÕTUST.

§ 164. VAHELDUVVOOLU TEKKIMINE VÕNKERINGIS.

Elektrienergiat võib üle kanda mitte ainult juhtmeid mööda, vaid ka ilma juhtmeteta, nimelt *elektromagnetiliste lainete* abil. Sellised lained lähtuvad juhilt, mida läbib vahelduvvool sagedusega sajad tuhanded, miljonid ja kümned miljonid hertsid. Elektromagnetilised lained levivad selliselt juhilt radiaalselt kõikides suundades. Seepärast nimetatakse neid laineid ka raadiolaineteks (ladinakeelsest sõnast *radio* — kiirgan). Raadiolainete levimiskiirus vaakuumis on 300 000 $\frac{km}{s}$.

Tavalised vahelduvvoolugeneraatorid ei kõlba kõrgsagedusliku vahelduvvoolu tootmiseks, sest nende rootorite pöörlemiskiirus on piiratud. Kõrgsagedusliku vahelduvvoolu saamiseks kasutatakse võnkeringi.

Võnkering kujutab endast poolist L ja kondensaatorist C koosnevat vooluringi (joon. 279). Sellises võnkeringis hakkavad elektrilaengud võnkuma kord ühes, kord teises suunas. See laengute võnkumine kujutab endast suure sagedusega vahelduvvoolu.

Vaatleme võnkeringi koostisosade, nimelt pooli ja kondensaatori ehitust.

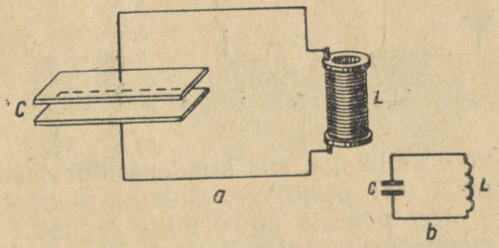
Lihtne *kondensaator*[1] koosneb kahest elektrijuhist valmistatud plaadist ja nende vahel asuvast dielektrikust (isolaatorist). Kui kondensaatori plaadid ühendada alalisvoolu allikaga, siis lähevad elektrilaengud plaatidele seni, kuni pinge vooluallika klemmidel ja kondensaatori plaatidel muutub võrdseks. Kondensaator laadub, tema plaatidele kogunevad võrdsed, kuid märgilt vastupidi-

[1] Kondensaator on seadis, kuhu võib koguda elektrilaenguid.

sed laengud. Laetud kondensaatori plaatide vahel eksisteerib elektriväli. Sellel väljal on olemas oma energia.

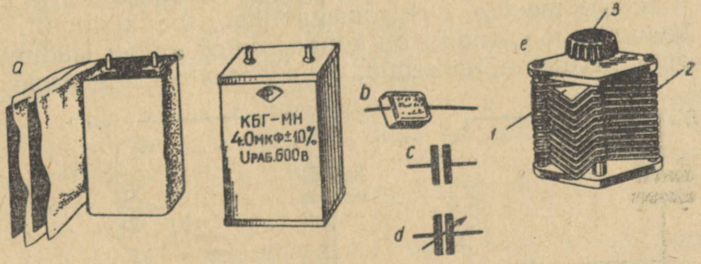
Mida suurem on plaatide pindala, seda rohkem võib laenguid minna vooluallikalt kondensaatorile. Seepärast iseloomustab iga kondensaatorit *elektrimahtuvus*[1] ehk lihtsalt mahtuvus.

Kondensaatori plaatide pindala suurendamiseks tehakse need sageli kahest alumiiniumpaberi ribast, mille vahele paigutatakse parafiiniga immutatud paberiribad. Väikeseks pakiks rullitult moodustavad need ribad suure mahtuvusega kondensaatori. Pakk paigutatakse kas plastmass- või alumiiniumkesta, millest on läbi viidud kondensaatori katete väljundid (joon. 280, *a*).



Joon. 279. *a* — võnkering; *b* — võnkeringi skeem.

Joonisel 280, *c* on toodud muutuva mahtuvusega kondensaator. Selline kondensaator koosneb liikumatutest plaatidest 2 ja nende vahel liikuvatest plaatidest *1*. Liikuvad plaadid on liikumatutest isoleeritud nende vahele jääva õhukihiga. Nupu 3 pööramisel ühele poole väljuvad liikuvad plaadid liikumatute vahelt, pööramisel teisele pole aga lähevad liikumatute plaatide vahele tagasi. Esimesel juhul kondensaatori mahtuvus väheneb, teisel juhul aga suureneb.

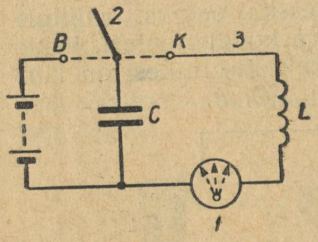


Joon. 280. Kondensaatorid. *a* — paberkondensaator; *b* — vilgukivikondensaator; *c* — muudetava mahtuvusega (pöörd-) kondensaator; *d* — muutumatu ja muutuva mahtuvusega kondensaatorite tingmärgid.

[1] Katsed näitavad, et kondensaatori mahtuvus oleneb mitte ainult plaatide pindalast, vaid ka nendevahelisest kaugusest ja plaatide vahele paigutatud dielektrikust.

Võnkeringi koosseisu kuuluvat pooli L (joon. 279) nimetatakse *induktsioonpooliks*. Kui pooli läbib vool, siis tekib pooli ümber magnetväli, millel on oma energia.

Tekitame võnkeringi abil vahelduvvoolu. Koostame sel eesmärgil joonisel 281 toodud skeemi järgi vooluringi. Kui pöörata lüliti 2 punkti B ning ühendada kondensaatori C plaadid alalis-

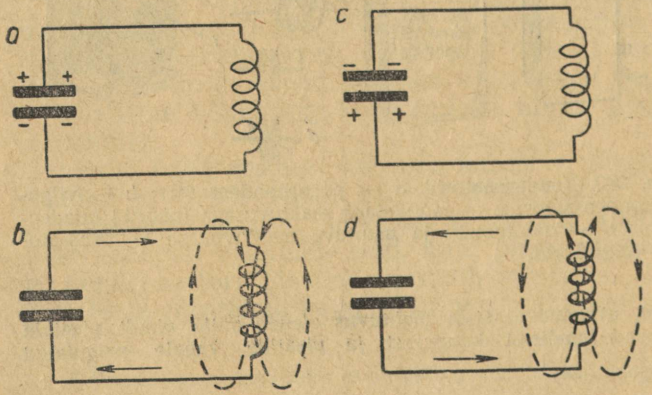


Joon. 281. Skeem elektromagnetiliste võngete saamiseks.

voolu allikaga, siis kondensaator laadub. Kondensaatori ülemine plaat saab positiivse, alumine plaat aga negatiivse laengu.

Kui pöörata ümberlüliti 2 punkti K, siis kaldub milliampermeetri osuti kord ühele kord teisele poole, näidates vahelduvvoolu tekkimist võnkeringis.

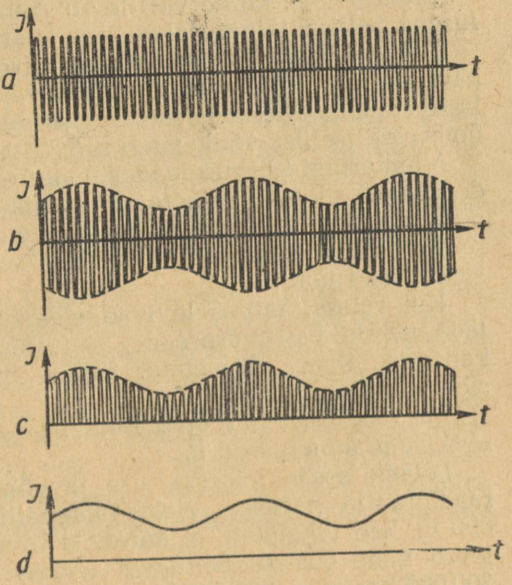
Kondensaatori elektrivälja (joon. 282, *a*) mõjul hakkavad elektrilaengud mööda juhtmeid liikuma. Tekib kindlasuunaline vool. Vool kestab seni, kuni kondensaator on tühjaks laaditud (joon. 282, *b*). Kondensaatori tühjakslaadimise käigus muutub elektrivälja energia järk-järgult pooli magnetvälja energiaks. Koos laengu lõppemisega kaob kondensaatori plaatide vahel olev elektriväli. Elektrilaengute liikumine esialgses suunas aga veel ei lõpe. Laengute liikumine jätkub pooli magnetvälja energia arvel (tuletage meelde elektromagnetilist induktsiooni). Magnetvälja kadumise momendiks on kondensaator ümber laadunud ning laengute liikumine katkenud. Kondensaatori ülemisele plaadile on



Joon. 282. Energia muundumine võnkeringis.

kogunenud nüüd negatiivne laeng, alumisele aga positiivne (joon. 282, *c*).

Kuna võnkering kujutab endast suletud vooluringi, siis hakkavad kondensaatori plaatidele kogunenud laengud elektrivälja mõjul liikuma, kusjuures voolu suund on esialgsega võrreldes vastupidine (joon. 282, *d*). Milliampermeetri osuti kaldub see-



Joon. 283. Vahelduvvoolu graafikud. *a* — kõrgsagedusvoolu graafik; *b* — kõrgsagedusvoolu amplituudi muutumine häälevõnkumise sagedusega; *c* — voolu muutumine detektori vooluringis; *d* — voolu muutumine telefonis.

pärast esialgsega võrreldes vastupidises suunas. Protsess kordub vastupidises järjekorras, siis jälle esialgses järjekorras jne.

Mida väiksem on kondensaatori mahtuvus ning pooli keerdude arv, seda vähem kulub aega kondensaatori ümberlaadimiseks ning *seda suurem on võnkeringis tekkiva vahelduvvoolu sagedus*. Valides mitmesuguse mahtuvusega kondensaatoreid ning mitmesuguse keerdude arvuga poole, võib saada väga mitmesuguse sagedusega võnkumisi. Raadiotehnikas kasutatakse võnkumisi sagedusega 100 kHz—10 000 MHz.

Eelpool kirjeldatud võnkumised kustuvad kiiresti, sest kondensaatorile antud energia kulub võnkeringi juhtide soojendamiseks. Summutamata võnkumiste saamiseks kasutatakse spetsiaalseid seadmeid (elektronlampe, pooljuhtseadmeid), mis võimaldavad automaatselt täiendada võnkeringi energiat alalisvooluallika energia arvel.

Kõrgsagedusvõnkumisi tekitavaid seadmeid nimetatakse *kõrgsagedusgeneraatoriteks*. Nende peamiseks osaks on võnkering. Joonisel 283, *a* on toodud kõrgsagedusvoolu graafik.

§ 165. ENERGIA ÜLEKANDMINE ELEKTROMAGNETILISTE LAINETENA.

Nägime (§ 160), et elektrivälja muutumine põhjustas magnetvälja tekkimise, magnetvälja muutumine põhjustab aga omakorda elektrivälja tekkimise. Selliselt omavahel seotud elektri- ja magnetväljad kujutavad endast *elektromagnetilist välja.*

Elektromagnetiline väli levib ruumis *elektromagnetilise lainetusena.* Sellisel lainetusel on oma energia.

Eespool vaadeldud võnkering kiirgab elektromagnetilisi laineid halvasti, sest elektromagnetiline väli on kontsentreeritud kindlasse ruumi — kondensaatori plaatide vahele ning pooli lähemasse ümbrusse (sellist võnkeringi nimetatakse kinniseks võnkeringiks).

Võnkeringi kiirgusomaduste suurendamiseks paigutatakse kondensaatori plaadid teineteisest võimalikult kaugele. Üheks plaadiks võetakse antenn, teiseks aga maa. Sel juhul kiiratakse suurem osa võnkeringi energiast elektromagnetiliste lainetena ümbritsevasse ruumi.

Kui ruumi, milles levivad elektromagnetilised lained, paigutada nende vastuvõtuseade, siis oleme saavutanud energia ülekandmise ilma juhtmeteta. Sellist moodust kasutatakse raadiosides.

Iga raadiosaatja töötab kindlal sagedusel ehk nagu räägitakse — *kindlal lainepikkusel.*

Leiame seose lainepikkuse ja võnkesageduse vahel. Kiiraku raadiosaatja näiteks elektromagnetilisi laineid lainepikkusega 600 m. See tähendab, et antennis toimuva ühe täisvõnke jooksul levib laine 600 m. Sekundis levivad elektromagnetilised lained 300 000 km, s. o. 300 000 000 m. Järelikult mahub sellele pikkusele $\frac{300\,000\,000}{600} = 500\,000$ lainet. Seega teeb saatja sekundis 500 000 võnget, s. o. tema sagedus on 500 kHz.

Kui märgime sageduse tähega f, lainepikkuse tähega λ ning laine levimiskiiruse tähega c, siis võime nende suuruste vahelise seose kirjutada valemina:

$$f = \frac{c}{\lambda}.$$

Saatejaama antenn kiirgab välja elektromagnetilisi laineid. Need lained, jõudnud vastuvõtja antennini, annavad osa oma energiast antennile ning tekitavad vastuvõtja võnkeringis vahelduvvoolu, mille sagedus võrdub saatja sagedusega. Kui saatjasse monteerida telegraafivõti ning katkestada selle abil perioodiliselt raadiolainete kiirgamist, siis võib erineva pikkusega signaalide abil pidada sidet suurte kauguste tagant. Vastuvõtujaamas tuleb need signaalid võimendada ning juhtida läbi telegraafiaparaadi elektromagneti mähise.

Raadiosaate juures paigutatakse hääleallikas mikrofoni ette. Spetsiaalse seadme abil mõjub mikrofoni vool võnkeringis tekkivale kõrgsageduslikule vahelduvvoolule, muutes viimase amplituuti vastavalt häälevõnkumise sagedusele (joon. 283, *b*).

§ 166. ELEKTROMAGNETILISTE LAINETE VASTUVÕTMINE.

Tänapäeval töötab tuhandeid raadiojaamu väga mitmesugustel sagedustel. Kuidas eraldada neist ainult meid huvitava jaama signaale?

Selleks on tarvis raadiovastuvõtjat, mille võnkeringi sagedust saab muutuva mahtuvusega kondensaatori ning paljude väljavõtetega pooli abil muuta. Kui vastuvõtja võnkeringi võnkesagedus on võrdne saatejaama sagedusega, siis tekib elektriline resonants (§ 69) ning vastuvõtja saab lainetuselt maksimaalselt energiat.

Elektrilist resonantsi võib vaadelda järgmise katse abil. Tekitame koolitüüpi kõrgsagedusgeneraatoriga summutamata võnkumise. Generaatorist veidi eemale paigutame vastuvõtva võnkeringi. Selle võnkeringi mahtuvust saab muuta pöördkondensaatori abil. Seni, kuni vastuvõtja võnkering ei ole resonantsis generaatori võnkeringiga, lambike vastuvõtjas ei põle, sest voolu tugevuse amplituud on väike. Kui aga reguleerida vastuvõtja võnkering generaatoriga ühesugusele sagedusele, siis tekib resonants. Selle tulemusena kasvab järsult voolu amplituud ning lambike hakkab põlema.

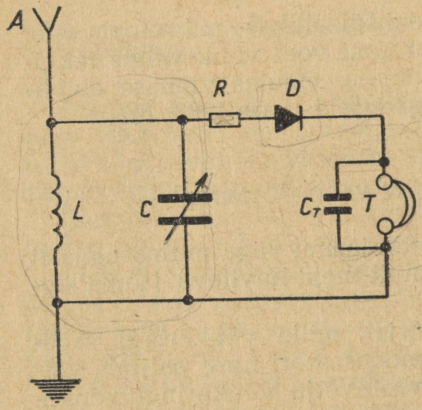
§ 167. POOLJUHTDIOODIGA RAADIOVASTUVÕTJA.

Tutvume lihtsa raadiovastuvõtja (joon. 284) ehituse ja töötamispõhimõttega. See vastuvõtja koosneb induktsioonpoolist *L*, muudetava mahtuvusega kondensaatorist *C* (need osad moodustavad võnkeringi), pooljuhist *D* ja telefonist *T*, millega paralleelselt on lülitatud kondensaator *C*$_T$.

Muudetava mahtuvusega pöördkondensaator võimaldab häälestada vastuvõtja võnkeringi saatja sagedusele. Selle tulemusena tekib vastuvõtja võnkeringis kõrgsageduslik vahelduvvool, mille amplituud muutub vastavalt häälevõnkumise sagedusele (joon. 283, *b*).

Telefoni peab läbima konstantse suunaga muutuva tugevusega vool (pulseeriv vool). Kõrgsagedusliku vahelduvvoolu alaldamine (s. o. pulseerivaks alalisvooluks muutmine) toimub pooljuhi *D* abil. Pooljuhti *D* iseloomustab ühesuunaline juhtivus. Sellist seadet nimetatakse *dioodiks*.

Dioodi ühesuunalist juhtivust võib vaadelda lihtsa katse abil.



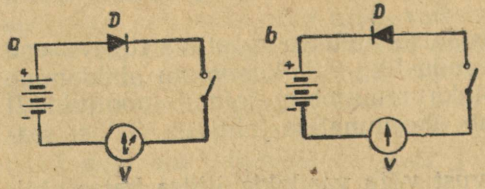
Joon. 284. Pooljuhtdioodiga raadiovastuvõtja skeem.

Ühendame alalisvoolu allikaga järjestikku dioodi ja voltmeetri. Kui lülitada diood joonisel 285, *a* kujutatud viisil, siis tekib vooluringis vool, kui aga nii nagu on näidatud joonsel 285, *b*, siis voolu ei ole. *Diood muudab võnkeringis tekkiva kõrgsagedusliku vahelduvvoolu kõrgsageduslikuks pulseerivaks vooluks* (joon. 283, c).

Telefoni *T* membraan ei suuda oma inertsuse tõttu võnkuda kõrgsagedusliku pulseeriva voolu sagedusega. Membraan suudab jälgida ainult kõrgsagedusliku voolu amplituudi muutumise sagedust. *Seepärast tekitabki membraani võnkumine täpselt samasuguse häälevõnkumise, mis mõjus saatja mikrofonile.*

Parema kuuldavuse huvides lülitatakse telefoniga paralleelselt konstantse mahtuvusega kondensaator C_T, mida nimetatakse blokeerivaks kondensaatoriks. See kondensaator laadub pulseeriva voolu suurima tugevuse korral. Momendil, mil voolu tugevus langeb nullini, annab kondensaator kogutud energia vooluna tagasi ning voolu tugevus telefonis suureneb. *Sel teel silub kondensaator pulseerivat voolu* (joon. 283, *d*).

Kirjeldatud raadiovastuvõtjat nimetatakse sageli *detektorvastuvõtjaks*, sest nii nimetatakse seadet, mis muudab kõrgsagedusliku vahelduvvoolu helisageduslikuks vooluks.



Joon. 285. Dioodi ühesuunalise juhtivuse kontrollimine.

§ 168. LABORATOORNE TÖÖ NR. 21.

Detektorvastuvõtja monteerimine ning raadiosaate vastuvõtmine.

Tööriistad: muutuva mahtuvusega kondensaator, induktsioonpool, pooljuhtdiood, telefon, konstantse mahtuvusega kondensaator, antenn (ühine mitmele õpilaste grupile), maandus (ühine mitmele õpilaste grupile).

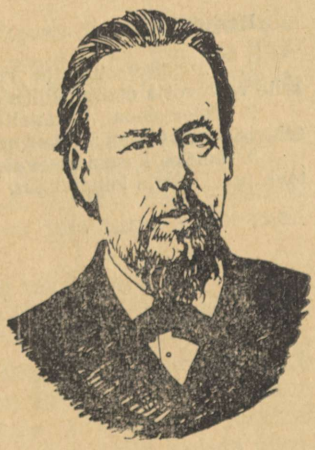
Töö käik.

1. Tutvuge detektorvastuvõtja osadega. Joonestage üles vastuvõtja skeem.
2. Koostage võnkering ning ühendage sellega pooljuhtdiood ja telefon.
3. Ühendage võnkering antenni ja maandusega.
4. Kuulake kõrvaklappidega ning seadke kondensaatori nuppu pöörates võnkering resonantsi mingi saatjaga.
5. Kontrollige, kuidas mõjub vastuvõtule antenni ja maanduse puudumine. Selleks lülitage need kordamööda välja.

Tähelepanu! Äikese ajal ei tohi kasutada välisantenni (miks?).

§ 169. A. S. POPOV — RAADIO LEIUTAJA.

Aleksandr Stepanovitš Popov sündis 1859. a. Uraalis. Kaheksateistkümneaastase noorukina sõitis ta Peterburgi ning astus ülikooli matemaatika-füüsika teaduskonda. Selleks et õppida ning



Aleksandr Stepanovitš Popov (1859—1906) — suur vene teadlane, raadiovastuvõtja leiutaja.

ära elada, tuli tal anda tunde, teha kaastööd ajakirjale ning töötada elektrimontöörina ühes esimeses Peterburi elektrijaamas. Pärast ülikooli lõpetamist sai Popovist Kroonlinna ohvitseride miiniklassi õpetaja.

Juba 1889. a. rääkis Popov: «Inimesel ei ole sellist meeleorganit, mis tajuks elektromagnetiliste lainete olemasolu eetris; kui leiutada seade, mis asendaks sellist organit, siis võiks seda kasutada signaalide edasiandmiseks teatud vahemaa taha.»

7. mail[1] 1895. a. demonstreeris Popov Vene Füüsika-Keemia Seltsi istungil oma äikesemärkijat. Seade registreeris äikese ajal tekkivaid elektromagnetilisi laineid (siit ka seadme nimi). 1896. a. konstrueeris Popov elektromagnetiliste signaalide saatja ja andis 250 m kaugusele edasi maailma esimese raadiogrammi. 1899. a. lõi ta soomuslaeva «Kindral-admiral Apraksin» päästetööde organiseerimiseks raadioside 40 km kaugusele.

1900. aastal autasustati Popovi IV Ülemaailmsel Elektrotehnilisel Kongressil Pariisis raadio leiutamise eest audiplomi ja kuldmedaliga.

1905. a. revolutsioonipäevil sai Popov Peterburi Elektrotehnika Instituudi direktoriks.

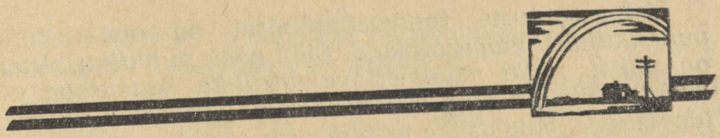
Kaitstes revolutsioonilist üliõpilaskonda politsei jälitamise eest, tõmbas ta endale haridusministri viha. 13. jaanuaril 1906. a., pärast ägedat arvamuste vahetamist tsaariministriga suri Aleksandr Stepanovitš Popov verevalumist peaajusse.

Popovi avastusest väljakasvanud raadio ja televisioon ei teeni ainult kultuurilisi eesmärke. Seda kasutatakse ulatuslikult masinate ja seadmete kaugjuhtimiseks. Nii näiteks antakse kogu informatsioon kosmoselaevadelt edasi raadio ja televisiooni kaudu.

Harjutus 45.

1. Detektorvastuvõtja vooluringis ei ole vooluallikat (joon. 284). Mis on selle vastuvõtja energiaallikaks?
2. Televisiooni I kanalil vastuvõetavate lainete pikkus on 6,03 m. Leidke televisiooni I kanali võnkeringis tekkiva vahelduvvoolu sagedus.
3. Leidke kosmoselaevale «Vostok-2» paigutatud 20,006 MHz sagedusel töötava raadiosaatja lainepikkus.

[1] 7. mail tähistatakse meie maal igal aastal raadiopäeva.



VALGUSNÄHTUSED.

XX PEATÜKK.

VALGUSE LEVIMINE HOMOGEENSES KESKKONNAS.

§ 170. VALGUSALLIKAD.

Inimene tajub välismaailma oma meeleorganite abil. Nendest üheks tähtsamaks on *silm*. Silmaga näeme ümbritsevaid esemeid, vaatleme mitmesuguseid nähtusi ja looduses esinevaid värve ning kontrollime tootmisprotsessi.

Silm näeb ainult neid kehi, mis ise kiirgavad valgust või siis peegeldavad nendele langevat valgust. Selliseid kehi, mis ise kiirgavad valgust, nimetatakse *valgusallikateks*. Meie kõige võimsamaks looduslikuks valgusallikaks on Päike.

Juba kaugest minevikust alates on inimesed kasutanud kunstlikke valgusallikaid (lõke, peerg, tõrvik, küünal, petrooleumilamp ja gaasipõleti). Nendes kasutati kas tahke, vedela või gaasilise kütuse põlemist. XIX sajandi lõpus hakati kasutama elektrivalgustust (§ 136).

Lõke, küünal, elektrilamp — kõik need on *soojuslikud valgusallikad. Mida kõrgem on nende temperatuur, seda rohkem kiirgavad nad valgust.*

Viimasel ajal on hakatud ulatuslikult kasutama *külmhelendus-lampe*, nn. *luminestsentslampe*. Nendes lampides paneb elektrivool helendama hõrendatud gaasi ja lambi sisepinnale kantud spetsiaalsed ained — *luminofoorid*. Luminofoore võib valida selliselt, et nende valgus on lähedane päikesevalgusele (päevavalguslambid)[1]. Luminestsentslambid on tavalistest elektrihõõglampidest 3—4 korda ökonoomsemad. Gaasi temperatuur nendes lampides on 60—80° C. Külma valguse näideteks looduses on jaaniussikeste poolt kiiratav valgus, kõdunevate orgaaniliste esemete (kõdunev puit, liha) poolt kiiratav valgus ning mitmesuguste mikroorganismide valgus.

---

[1] Päevavalguslambid töötas NSV Liidus välja teadlaste kollektiiv akadeemik S. I. Vavilovi juhendamisel.

Valgusnähtuste tundmaõppimisel on otstarbekas kasutada *punktikujulisi valgusallikaid. Silm näeb punktikujulisena igat valgusallikat, mille mõõtmed valgusallika kaugusega võrreldes on küllalt väikesed ning mis kiirgab valgust igas suunas ühesuguse tugevusega.* Hiiglaslike mõõtmetega tähed paistavad meile punktikujulistena (miks?). Punktikujulisele valgusallikale küllalt lähedane on elektrikaar (§ 139).

§ 171. VALGUSE OLEMUS.

Küsimusele — mida kujutab endast valgus — ei olegi nii lihtne vastata. Vaatleme alguses mõju, mida avaldab mitmesugustele kehadele langev valgus. Kõigile on teada, et *päikesevalgus ning elektrivalgus soojendavad kehi, millele nad langevad.* Lõunas saab valgustatava pinna iga ruutmeeter päikesepaistelisel päeval 15 kcal minutis. Päikesevalguse soojuslikku toimet kasutatakse hoonete kütmiseks, vee soojendamiseks, heina, puuvilja jne. kuivatamiseks.

Valgus avaldab ka keemilist toimet — pleegitab värve ning kangaid. Valguse keemilisele toimele põhineb fotografeerimine. Kõige tähtsamaks keemiliseks protsessiks, mis toimub looduses päikesekiirte energia arvel, on orgaaniliste ainete moodustumine taimede rohelistes lehtedes nende poolt neelatavast süsihappegaasist. Puidu, kivisöe või turba põletamisel kasutame me nende keemilist energiat, mis on moodustunud Päikese energia arvel. Kaasaegses tehnikas ulatuslikult kasutatavates *fotoelementides muundatakse valgusenergia elektrienergiaks.*

1900. a. vene teadlase P. N. Lebedevi (1866—1912) poolt läbiviidud väga täpsed katsed näitasid, et *valgusel on ka mehhaaniline toime.* Valgus avaldab rõhku pinnale, kuhu ta langeb.

Vaatlused ning katsed veenavad meid selles, et **valgus on mateeria eriline eksisteerimise vorm,** mis omab energiat. Viimane võib muunduda teisteks energialiikideks. On tõestatud, et **valgus kujutab endast elektromagnetilist lainetust,** mille lainepikkused asuvad vahemikus 0,8—0,4 mikronit. Seega on valguse olemus analoogiline raadiolainete olemusega (§ 164).

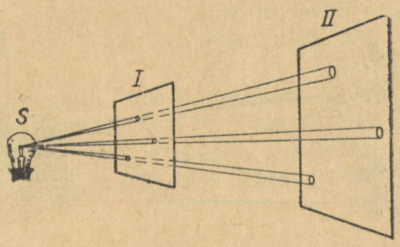
§ 172. VALGUSE SIRGJOONELINE LEVIMINE.

Mistahes valgusallikalt levib valgus kiirtekimpudena igas suunas (joon. 286). Igapäevase elu kogemused näitavad, et **homogeenses keskkonnas levib valgub sirgjooneliselt.** Valguse levimise sirgjoonelisust kasutatakse sirgjoonte märkimisel maastikule, püssi sihtimisel, töödeldavate pindade õigsuse kontrollimisel jne.

Sirgjooni, mida mööda valgus levib, nimetatakse *valguskiir-*

teks või lihtsalt *kiirteks*. Valguskiir on geomeetriline mõiste, mis võimaldab kergesti kirjeldada valgusnähtusi.

Puhtas õhus ei ole valguskiir nähtav. Seda on kerge katseliselt näidata. Asetame valguskiirte kimbu teele risttahukakujulise klaasnõu ning katame selle pealt paberiga (joon. 287). Valguskiirte kimp on nähtav kuni anumani ning pärast anumat, anumas aga mitte. Õhus olevad tolmuosakesed peegeldavad valgust ning teevad sel teel valguskiirte kimbu nähtavaks.



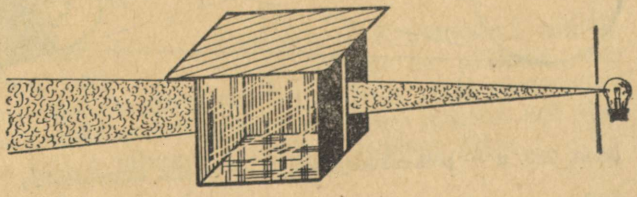
Joon. 286. Valgusallikalt levib valgus kiirtekimpudena. *I* — avaustega ekraan, *II* — kiirtekimpude läbimõõdud on suuremad kui avaused.

Valguse sirgjoonelise levimisega seletub *varjude ja poolvarjude tekkimine*.

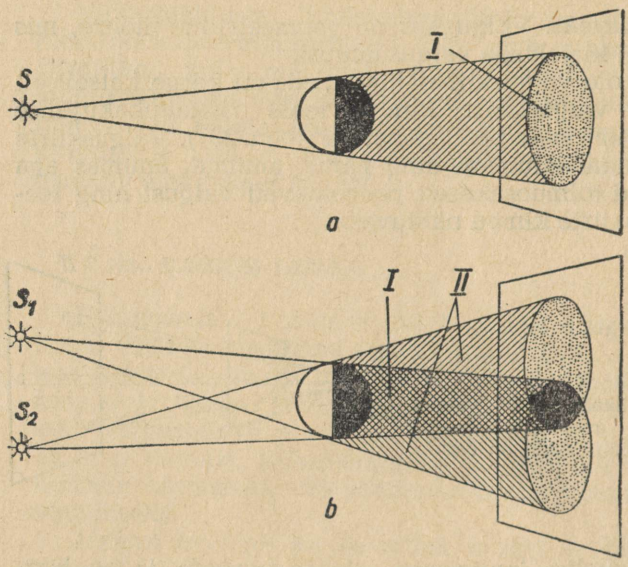
Kui punktikujulisest valgusallikast *S* lähtuvate valguskiirte teele asetada läbipaistmatu ese, siis tekib selle taga vari (joon. 288, *a*), mida piiravad valgusallikast keha piirdele langevad valguskiired. Keha taha paigutatud ekraanil tekib tume vari *I* (täisvari). Kui läbipaistmatut eset valgustatakse kahe valgusallikaga (joon. 288, *b*), siis tekib peale täisvarju *I* veel poolvari *II*. Selgitage joonise 288 abil poolvarju tekkimist.

Kuna reaalsed valgusallikad (küünlaleek, elektrilambi hõõgniit) ei ole punktikujulised, siis tekivad valgustatavate esemete taha täisvarjudega koos alati ka poolvarjud.

Valguse sirgjoonelise levimisega saab seletada ka *päikese-* ja *kuuvarjutuste* tekkimist. Maa ja Kuu ise ei helendu, vaid nad ainult peegeldavad Päikese valgust. Tiirlemisel ümber Maa satub Kuu perioodiliselt Maa ja Päikese vahele. Sel juhul jääb osa maapinnast Kuu taga asuvasse varjukoonusesse (joon. 289, *a*). Maakera selles piirkonnas on nähtav *täielik päikesevarjutus*. Täisvarju piirkonda ümbritseb poolvarju piirkond. Selles piirkonnas



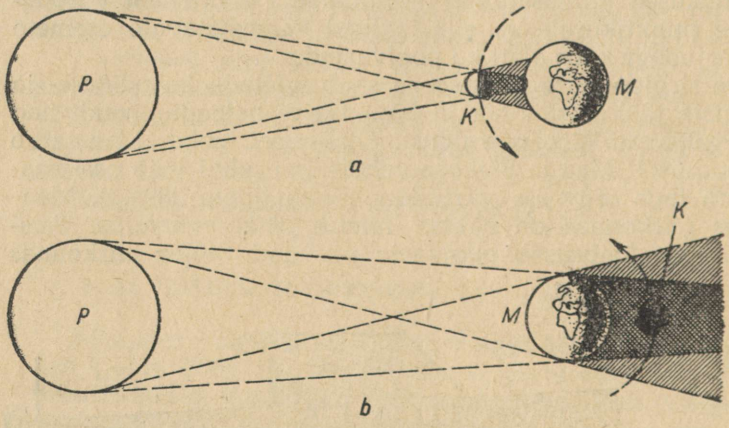
Joon. 287. Pilust läbiminev valgus ei ole anumas nähtav.



Joon. 288. *a* — varju tekkimine; *b* — täis- ja poolvarju tekkimine.

on nähtav *osaline päikesevarjutus*. Maa pöörlemisel ümber oma telje nihkub varjutuspiirkond mööda maapinda edasi.

Kui Maa jääb Päikese ja Kuu vahele, siis satub Kuu Maa varjukoonusesse (joon. 289, *b*). Sel juhul on näha *täielik kuuvarjutus*.

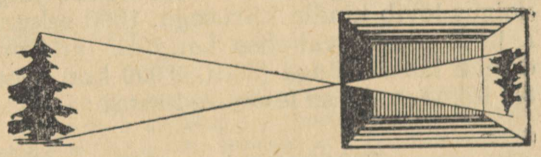


Joon. 289. *a* — päikesevarjutus; *b* — täielik kuuvarjutus.

Kuna Maa ja Kuu orbiitide tasapinnad on teineteise suhtes kallutatud, siis ei toimu kuuvarjutused mitte iga kuu, vaid umbes üks kord aastas. Selgitage joonise 289, *b* järgi, millistes piirkondades on näha osaline kuuvarjutus.

Vanasti sisendas päikesevarjutus inimestesse hirmu. Ebausu kammitsais olevad inimesed uskusid neid seletusi, mida loodusnähtuste kohta andis religioon. Tänapäeval, mil on selge taoliste loodusnähtuste põhjus, tehakse juba ette kindlaks päikese- ja kuuvarjutuste ajad ning piirkonnad, kust neid on võimalik vaadelda. Nii näiteks toimub lähim päikesevarjutus, mis on nähtav NSV Liidu territooriumil, 22. septembril 1968. a. (Varjutus on nähtav Siberis.)

Täielike päikesevarjutuste vaatlemiseks korraldatakse spetsiaalseid ekspeditsioone. Varjutuse ajal uuritakse Päikese krooni (Päikese atmosfääri välise kihi) ehitust ning koostist. Tavalisel ajal ei ole see vaadeldav, sest seda takistab Päikese pinna intensiivne kiirgus.



Joon. 290. Kujutise saamine väikese ava abil.

Valguse sirgjoonelise levimisega seletub huvitav nähtus — *kujutiste saamine väikese ava abil.* Kui kasti ühte seina teha nõelaga väike ava, selle vastassein aga asendada mattklaasiga või õlitatud paberiga ning asetada ava ette mingi valgustatud ese, siis on mattklaasil näha selle eseme ümberpööratud kujutis (joon. 290). Ava vähendamisel muutub kujutis teravamaks, kuid seejuures vähem heledaks. Kui asendada mattklaas fotoplaadiga, siis võib selle lihtsa riistaga saada eseme foto, kui ainult valida õige säritusaeg.

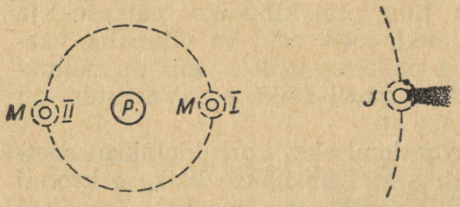
Selgel päikesepaistelisel päeval võib puude all näha heledaid ringikujulisi laike. Need on päikeseketta kujutised, mis on saadud puulehtede vahele jäävate väikeste avade abil. Osalise päikesevarjutuse ajal on need laigud sirbikujulised.

§ 173. VALGUSE KIIRUS.

Esimesena maailmas tõestas taani teadlane Olaf Römer (1644—1710) 1675. a., et *valgus ei levi silmapilkselt, vaid lõpliku,* olgugi et väga suure *kiirusega.* Selle järelduse tegi ta astronoomiliste vaatluste alusel.

On teada, et päikesesüsteemi kõige suuremal planeedil, nimelt Jupiteril, on 12 kuud, mis oma liikumisel satuvad perioodiliselt Jupiteri varjukoonusesse. Jupiteri ühe kuu (joon. 291) vaatlemise tulemusena arvutas Römer ette kuu järgmised varjutused. Sel ajal asus Maa Jupiterile kõige lähemal (asend *I* joonisel 291).

Oma vaatluste jätkamisel märkas Römer, et mida rohkem eemaldus Maa Jupiterist, seda suuremaks muutusid erinevused varjutuste tegelike alguste ja arvutustulemuste vahel. Ajaks, mil Maa oli jõudnud asendisse *II* (joon. 291), oli see erinevus jõudnud 1000 sekundini. Sellist suurt vahet ei saanud põhjendada arvestuste juures tehtud ebatäpsustega.



Joon. 291. Valguse kiiruse määramine.

Nähtuse selgitamiseks tegi Römer julge oletuse, mille kohaselt valgus levib kindla kiirusega. 1000 sekundiga peab valgus levima *I* ja *II* asendi vahelise kauguse, mis on ligikaudu võrdne Maa orbiidi läbimõõduga (300 000 000 km). Nende andmete alusel arvutas Römer valguse levimise kiiruse:

$$300\,000\,000 \text{ km} : 1000 \text{ s} = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

(Hilisemad täpsemad mõõtmised andsid valguse kiiruseks $299\,776 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.)

Römeri järeldusi kinnitasid hiljem spetsiaalselt selleks otstarbeks korraldatud katsed. Valguse kiirusega levivad ka raadiolained. See kinnitab valguse ja raadiolainete ühesugust olemust.

Maapealsetes tingimustes näib valgus levivat silmapilkselt. Päikeselt Maale jõudmiseks kulub valgusel aga ligikaudu 8 minutit, kõige lähemalt tähelt Maale jõudmiseks aga koguni 4,5 aastat. Kaugematelt tähtedelt lähtuval valgusel kulub meieni jõudmiseks sadu ja tuhandeid aastaid. Seega näeme tegelikult tähistaeva kauget minevikku, mitte aga tänapäeva.

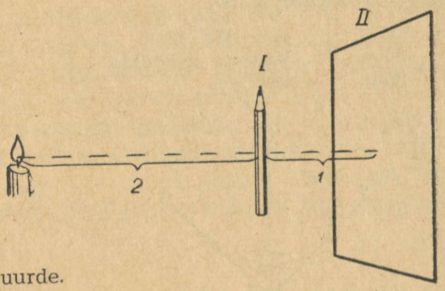
Astronoomias on kasutusele võetud spetsiaalne pikkusühik — *valgusaasta*. See on vahemaa, mille valgus läbib ühe aastaga. Üks valgusaasta on ligikaudselt võrdne 10^{13} kilomeetriga.

Kiirusega $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ *levib valgus õhus ja õhutühjas ruumis.* On tõestatud, et see on *suurim võimalik kiirus looduses.* Teistes keskkondades on valguse kiirus väiksem. Näiteks vees on valguse kiirus $225\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, klaasis $200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. *Mida väiksem on valguse levimiskiirus keskkonnas, seda suurem on selle keskkonna opti-*

line tihedus. Klaas ja vesi on seega õhust optiliselt tihedamad. Tuleb silmas pidada seda, et aine optiline tihedus ei lange ühte keskkonna mehhaanilise tihedusega.

Harjutus 46.

1. Tekitage seinale mingi eseme vari. Tehke kindlaks, kas vari võib olla esemest suurem, väiksem või esemega võrdne. Millest olenevad varju mõõtmed?
2. Joonistage täis- ja poolvarjud, mis tekivad ekraanil, kui selle ja küünla vahele asetatakse pliiats (joon. 292). Kaugus küünlast pliiatsini on kaks korda suurem kui kaugus pliiatsist ekraanini.



Joon. 292. Harjutus 46 ülesande 2 juurde.

3. Tehke kindlaks (nii joonise abil kui ka arvutamise teel) maja kõrgus, kui maja vari on 15 korda pikem vertikaalselt asetatud meetripikkuse joonlaua varjust. Kasutage kirjeldatud meetodit mitmesuguste esemete kõrguse määramiseks.
4. Kui kaua kulub valgusel aega Marsilt Maani jõudmiseks nende suure vastasseisu ajal (Maa ja Marsi vahelise kõige väiksema kauguse — 55 milj. km korral)?

XXI PEATÜKK.

VALGUSNÄHTUSED KAHE KESKKONNA PIIRIL.

I. VALGUSE PEEGELDUMINE.

§ 174. VALGUSE PEEGELDUMINE.

Sirgjooneliselt levib valgus ainult homogeenses keskkonnas. Kui valguse teel asub mõni teistsuguse optilise tihedusega keskkond, siis üks osa valgusest läbib selle keskkonna, osa neeldub (selle tulemusena keskkond soojeneb), ülejäänud osa aga peegeldub keskkonna piirilt tagasi.

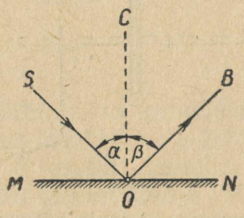
Pinda (kahe erineva optilise tihedusega keskkonna piirpind), mis peegeldab enamiku temale langevast valgusest, nimetatakse *peegelpinnaks* (metalli või puidu poleeritud pind, peegli pind) või *heledaks* pinnaks (valge paber, kriit, portselan). Tavalise peegli pind peegeldab tagasi kuni 85% temale langevast valgusest.

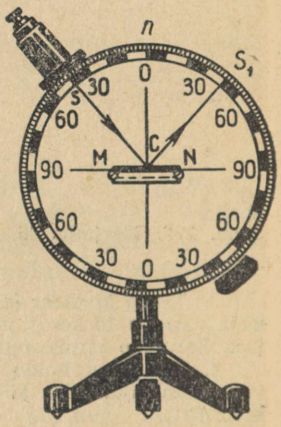
Kehi, mis lasevad suurema osa neile langevast valgusest läbi, nimetatakse *läbipaistvateks* kehadeks (klaas, vesi, õhk). 1 km paksune õhukiht laseb läbi kuni 90% temale langevast valgusest.

Neid kehi, mis neelavad enamiku langevast valgusest, nimetatakse *tumedateks* ehk *läbipaistmatuteks* kehadeks. See jaotus on tinglik, sest peaaegu kõikide läbipaistmatute kehade (näiteks metallide) õhukesed kihid lasevad valgust läbi, samal ajal aga läbipaistvate kehade paksud kihid osutuvad läbipaistmatuteks (seepärast valitseb näiteks suurtes meresügavustes igavene pimedus).

Vaatleme valguse peegeldumist kahe keskkonna siledalt piirpinnalt (peegelpinnalt). Asetame valgusallikast *S* lähtuva valguskiire teele tasapeegli *MN* (joon. 293). Peeglilt peegeldunud kiir liigub suunas *OB*.

Joon. 293. Valguse peegeldumine peegelpinnalt.





Joon. 294. Peegeldumisnurk S_1Cn on võrdne langemisnurgaga SCn.

Punkti *O* nimetatakse valguskiire *langemispunktiks*. Kiirt *SO* nimetatakse *langevaks kiireks*, nurka *SOC* ($\angle\alpha$) langeva kiire ja langemispunktist *O* tõmmatud pinnanormaali *OC* vahel aga *langemisnurgaks*. Peeglilt tagasipeegeldunud valguskiirt *OB* nimetatakse *peegeldunud kiireks* ning nurka *BOC* ($\angle\beta$) *peegeldumisnurgaks*.

Leiame joonisel 294 toodud katseriista abil seose langemis- ja peegeldumisnurga vahel. Katseriist kujutab endast vertikaalsele teljele kinnitatud ketast, mille äärele on kantud nurgakraadid. Ketta äärel asub nihutatav valgusallikas, mis annab kitsa kiirtekimbu.

Suuname mööda ketta tasapinda libiseva kiire *SC* peeglile *MN*. Peeglilt tagasipeegelduv kiir CS_1 libiseb samuti mööda ketta tasapinda ning on seega hästi nähtav. Langeva kiire suuna muutmisel muutub ka peegeldunud kiire suund, kuid katse näitab, et *langemisnurk ja peegeldumisnurk jäävad seejuures alati võrdseks*. Katse näitab ka seda, et *peegeldunud kiir asub alati langeva kiirega ja langemispunktist tõmmatud pinnanormaaliga ühes tasapinnas*.

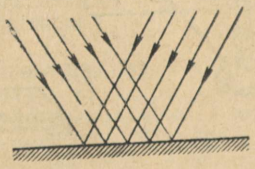
Järelikult võib peegeldumise seadused sõnastada järgmiselt:

1. Valguse peegeldumisel on peegeldumisnurk võrdne langemisnurgaga.

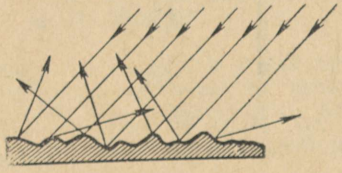
2. Peegeldunud kiir asub ühes tasapinnas langeva kiire ning langemispunktist peegeldavale pinnale tõmmatud normaaliga.

Kui lasta valguskiir peeglile suunas S_1C (joon. 294), siis läheb peegeldunud kiir suunas CS. Tähendab, langev kiir ja peegeldunud kiir võivad vahetada oma kohad. Valguskiire seda omadust nimetatakse *valguskiire pööratavuseks.*

Kui peegelpinnale langevad paralleelsed valguskiired, siis on ka peegeldunud kiired paralleelsed (joon. 295). Hoopis teistsugune on tulemus siis, kui paralleelsed valguskiired langevad ebatasasele pinnale (joon. 296). Kuna siin asetsevad peegeldavad pinnakesed üksteise suhtes väga mitmesuguste nurkade all, siis peegelduvad ka kiired erinevates suundades. Toimub valguskiirte hajumine. Mittehelenduvad kehad ongi nähtavad ainult seepärast, et nad hajutavad neile langevat päikesevalgust või kunstlike valgusallikate valgust.



Joon. 295. Paralleelsete kiirte peegeldumine peegelpinnalt.



Joon. 296. Paralleelsete kiirte hajumine ebatasaselt pinnalt.

Hajunud valgus väsitab silmi palju vähem kui otseselt valgusallikalt tulev valgus. Seepärast püütaksegi töö- ja eluruumides valgust kunstlikult hajutada: kasutatakse piim- või mattklaasist kupleid, valgusallikate valgus suunatakse lakke jne. Ka päikesevalgus on hajunud valgus. Hajumine toimub siin õhus ja pilvedes.

§ 175. KUJUTIS TASAPEEGLIS.

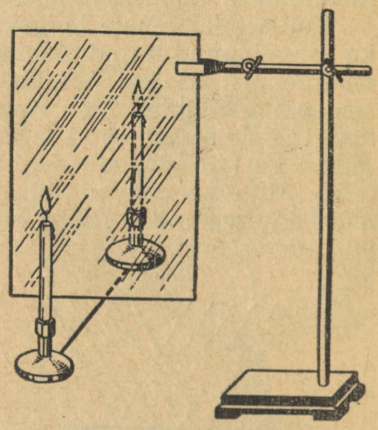
Kõigile on hästi teada, et tasapeeglis on näha peegli ette asetatud esemete kujutised. Kujutis tekib peegli taga ning on peeglist niisama kaugel kui ese peeglist.

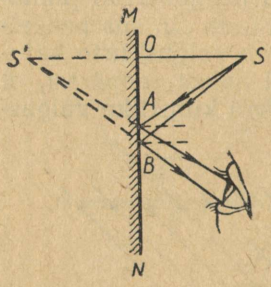
Valgusallika iga punkt S saadab välja hajuva valguskiirte kimbu (joon. 297). Kiirtekimp jääb hajuvaks ka pärast peeglilt peegeldumist. Hajuva kiirtekimbu teele asetatud silm näeb punkti S kujutist peegli taga punktis S', kus lõikuvad hajuvate kiirte pikendused. Punkt S' asub peegli taga ning peeglist niisama

kaugel kui punkt *S*. Punkti *S'* nimetatakse *punkti S näivaks kujutiseks* (sest see tekib mitte kiirte eneste, vaid nende kujutletavate pikenduste lõikumisel).

Kolmnurkade *SAO* ja *S'AO* võrdsusest (põhjendage vastavate nurkade võrdsust valguse peegeldumise seaduste alusel) järeldub, et $SO = S'O$, s. o. *ese ja selle kujutis asuvad peeglist võrdsetel kaugustel* (üks ühel ja teine teisel pool peeglit).

Joon. 298. Küünal ja selle näiv kujutis asuvad peeglist võrdsetel kaugustel.





Joon. 297. Punkt *S'* on punkti *S* näiv kujutis.

Kontrollime tehtud järeldust katse abil (joon. 298). Paigutame vertikaalsest klaasplaadist võrdsetele kaugustele kaks ühesugust küünalt. Süütame klaasplaadi ees oleva küünla. Ka peegli taga asuv küünal paistab meile nüüd põlevana. See tähendab, et teine küünal on paigutatud sinna, kus tekib esimese (põleva) küünla näiv kujutis.

Uurige jooniselt tasapeeglis nähtava kujutise parema ja vasaku poole asetust. *Ese ja tema kujutis peeglis on sümmeetrilised*, nad erinevad teineteisest täpselt samuti nagu parema käe kinnas vasaku käe omast (joon. 299).

Tasapeegleid kasutatakse väga laialdaselt. Nii näiteks varustatakse täpsed elektrimõõteriistad parallaktiliste vigade vältimiseks peegelskaalaga.

§ 176. LABORATOORNE TÖÖ NR. 22.

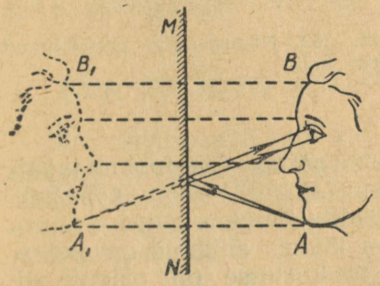
Tasapeeglilt toimuva peegeldumise uurimine.

T ö ö r i i s t a d: tasapeegel, joonestuskolmnurk, mall, neli nööpnõela ning leht paberit.

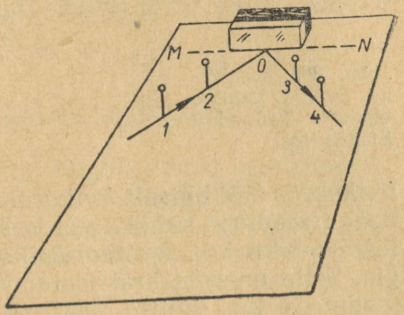
Töö käik.

1. Tõmmake paberilehele sirgjoon *MN* ning paigutage selle juurde tasapeegel nii, nagu on näidatud joonisel 300.

2. Vajutage paberisse nööpnõelad *1* ja *2* nii, nagu on kujutatud joonisel 300. Vaadates piki nende nõelte poolt määratud sirget asetage kohale nõelad *3* ja *4* selliselt, et nad paistaksid peeglis nõelte *1* ja *2* taga. (Peeglist vaadates peavad kõik nõelad seega üksteist katma.)



Joon. 299. Kujutise konstrueerimine tasapeeglis.



Joon. 300. Laboratoorse töö nr. 22 juurde.

3. Eemaldage peegel ning tõmmake nõelte *1* ja *2* ning *3* ja *4* poolt määratud sirged (langev kiir ja peegeldunud kiir) kuni lõikumiseni sirgega *MN* (punktis *O*).

4. Tõmmake punktist *O* normaal sirgele *MN* ning mõõtke malliga langemis- ja peegeldumisnurk. Võrrelge neid.

5. Korrake katset kolm korda, muutes iga kord langemisnurka. Tehke läbiviidud katsete alusel järeldus langemis- ja peegeldumisnurga suhte kohta.

6. Vaadelge, kuidas muutub näiva kujutise asend nõelte asendi muutmisel ja kallutamisel.

7. Leidke konstruktsiooni teel peegli suhtes kaldu asetatud nõela näiv kujutis.

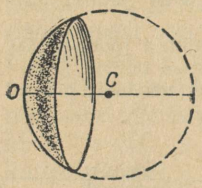
§ 177. SFÄÄRILINE PEEGEL.

Valguskiirte suunamiseks kasutatakse sageli sfäärilise pinnaga peegleid (joon. 301). Kui peegeldumine toimub sfääriosa sisepinnalt, siis nimetatakse peeglit *nõguspeegliks*, kui aga välispinnalt, siis nimetatakse peeglit *kumerpeegliks*.

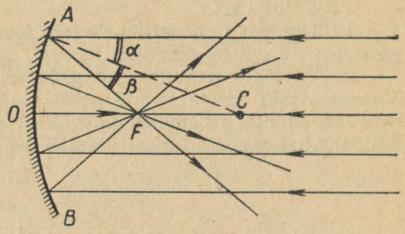
Valguse peegeldumine sfääriliselt pinnalt allub valguse peegeldumise seadustele.

Vaatleme üksikasjalisemalt nõguspeeglit, mida tehnikas sageli rakendatakse. Joonisel 302 on toodud sellise peegli ristlõige. *O* on peegli lagipunkt, *C* — kõveruskeskpunkt (selle sfääri keskpunkt, mille osa on meie peegel). Punkti *C* nimetatakse ka peegli *optiliseks keskpunktiks*. Sirget *CO*, mis ühendab peegli lagipunkti kõveruskeskpunktiga, nimetatakse peegli *optiliseks peateljeks*.

Laseme peeglile langeda optilise peateljega paralleelsete kiirte kimbu. Pärast peegeldumist lõikuvad kõik need kiired optilisel peateljel asuvas punktis *F*. Seda punkti nimetatakse peegli *pea-*



Joon. 301. Sfääriline peegel kujutab endast kerapinna (sfääri) osa.

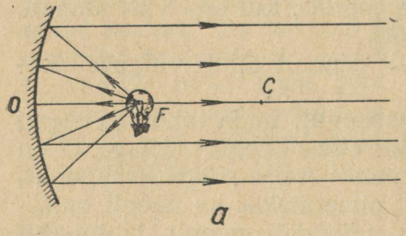


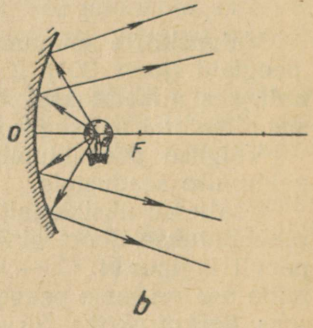
Joon. 302. Nõguspeeglilt peegeldunud kiirte käik.

fookuseks ehk lihtsalt *fookuseks*[1]. Katsed näitavad, et fookus jagab peegli raadiuse kaheks võrdseks osaks: $OF = FC$ (joon. 302). Sellesse punkti kontsentreerub kogu peeglile langeva valguse energia. Selle energia ärakasutamiseks on lõunas ehitatud nn. helioseadmed[2], kus suurte nõguspeeglite fookustesse on paigutatud veekatlad. Peeglite poolt kontsentreeritud päikesekiired kuumutavad kateldes olevat vett, mida saab kasutada hoonete kütmiseks ja teisteks kommunaalmajanduse ülesanneteks.

Asetame nõguspeegli fookusesse valgusallika (joon. 303, *a*). Pärast nõguspeeglilt peegeldumist levivad valguskiired paralleelsete kiirte kimbuna (tuletage meelde valguskiire pööratavust). Kui paigutada nõguspeegli fookusesse küllalt suure võimsusega valgusallikas, võib sellise kiirtekimbuga valgustada kümnete kilomeetrite kaugusele.

Nõguspeeglit, mille fookusesse on paigutatud valgusallikas, nimetatakse *reflektoriks*[3]. Reflektoreid kasutatakse prožektorites, autolaternates, jalgrattalampides ja mujal. Nõguspeegleid kasuta-





Joon. 303. *a* — reflektor; *b* — hajuva valgusega prožektor.

[1] Ladinakeelsest sõnast *focus* — kolle.
[2] Kreekakeelsest sõnast *helios* — päike.
[3] Reflektor — peegeldaja.

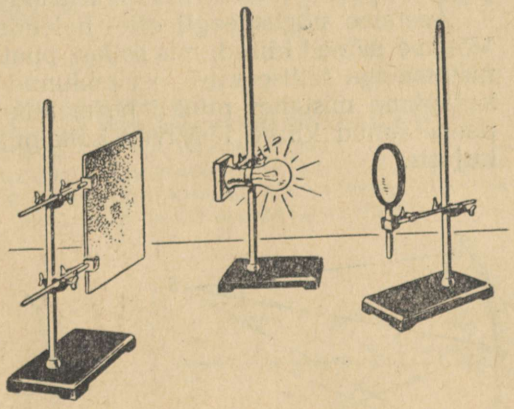
takse ka astronoomiliste vaatluste jaoks määratud peegelteleskoopides.

Kui valgusallikas paigutada peegli ja fookuse vahele, siis peegeldunud kiirtekimp hajub. Seda tüüpi prožektoreid (joon. 303, *b*) kasutatakse ehitusplatside, lennuväljade ja väljakute valgustamiseks.

Sfääriliste peeglite abil võib seega muuta mitte ainult valguskiirte kimbu suunda, vaid ka selle kuju.

§ 178. SFÄÄRILISTE PEEGLITEGA SAADUD KUJUTISED.

Kui nõguspeegli ette on asetatud valgusallikas, siis annavad peeglilt peegeldunud kiired meile selle valgusallika kujutise. Teeme katseliselt (joon. 304) kindlaks, kuidas muutuvad kujutise asend ja mõõtmed valgusallika (küünla või elektrilambi) lähendamisel peeglile.



Joon. 304. Kujutise saamine nõguspeeglis.

Asetame lambi peeglist võimalikult kaugele. Peegeldunud kiired lõikuvad peegli fookuses ning annavad sinna paigutatud ekraanil lambi hõõgniidi tõelise kujutise. Kujutis on esemega võrreldes vähendatud ja ümber pööratud.

Lähendades lampi peeglile ning ekraani vastavalt nihutades näeme, et lambi kujutis eemaldub peeglist ning suureneb. Peegli kõveruskeskpunkti asetatud lambi kujutis langeb esemega kokku (nii asendi kui suuruse poolest). Kuid kujutis on seejuures endiselt ümber pööratud.

Lambi edasisel nihutamisel peegli poole on saadavad kujutised suurendatud (s. o. lambist suuremad). Kui paigutada lamp peegli fookusesse, siis liiguvad sellest väljunud kiired pärast peegeldumist üksteisega paralleelselt. Ekraanil saame siis heleda laigu.

Kui paigutada lamp peegli ja selle fookuse vahele, siis näeme peeglist ekraanile tekkiva kujutise asemel lambi suurendatud ja samapidist kujutist. Analoogiliselt tasapeegliga näib ka siin kujutis asuvat peegli taga.

Nõguspeegli abil saadud kujutise asend ja suurus olenevad eseme asendist peegli suhtes.

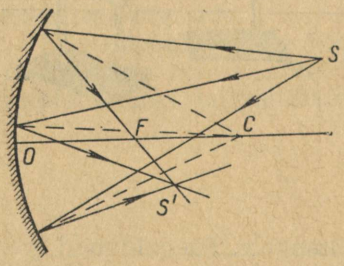
Kumeralt peeglilt peegelduvad kiired osutuvad alati hajuvateks (miks?). Seepärast on kumerpeegli abil saadavad kujutised alati näivad ning vähendatud. Need kujutised asuvad peegli taga.

Kumerpeegli vaateväli on tasapeegliga võrreldes suurem. Seepärast kinnitatakse veoautode kabiinide külge kumerpeeglid. Sellisest peeglist näeb autojuht hästi masina taga olevat teed.

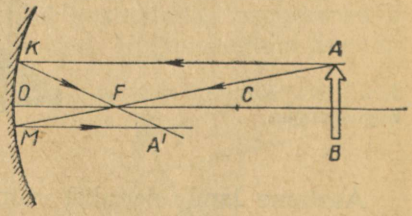
§ 179. KUJUTISE KONSTRUEERIMINE NÕGUSPEEGLIS.

Kasutades valguse peegeldumise seadusi, võib eseme kujutise peeglis saada geomeetrilise konstruktsiooni teel.

Asetame nõguspeegli ette helendava punkti S (joon. 305). Võtame mõned kiired, mis sellest punktist peeglile langevad. Joonistame iga sellise kiire peegeldunud kiire. (Tuletage meelde, et kerapinna mistahes punkti normaaliks on kera raadius.) Peeglilt peegeldunud kiired lõikuvad kõik punktis S', mis ongi punkti S kujutis.



Joon. 305. S' — helendava punkti S tõeline kujutis.



Joon. 306. Eseme kujutise konstrueerimine nõguspeeglis.

Punkti kujutise konstrueerimiseks on küllalt sellest punktist väljuva *kahe* kiire väljajoonestamisest. Harilikult valitakse kaks sellist kiirt, mille käik pärast peegeldumist on teada. Eespool on juba kindlaks tehtud, et:

1) *optilise peateljega paralleelne kiir läheb pärast nõguspeeglilt peegeldumist läbi fookuse;*

2) *valguskiire pööratavusest järgneb, et läbi nõguspeegli*

fookuse minev kiir on pärast peegeldumist paralleelne optilise peateljega;

3) *nõguspeegli optilist keskpunkti (kõveruskeskpunkti) läbiv kiir peegeldub tagasi samas suunas.*

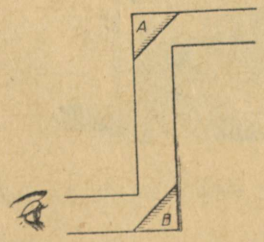
Konstrueerime nõguspeegli optilisest keskpunktist kaugemale asetatud helenduva eseme *AB* äärmiste punktide kujutised selles peeglis (joon. 306).

Punkti *A* kujutise saamiseks võtame kõigepealt peegli optilise peateljega paralleelse kiire *AK*. Pärast peegeldumist läbib see kiir peegli fookuse. Teise kiire *AM* joonestame läbi peegli fookuse. Pärast peegeldumist osutub see kiir paralleelseks peegli optilise peateljega. Peegeldunud kiirte lõikepunkt *A'* on eseme punkti *A* kujutiseks. Konstrueerige eelöelduga analoogiliselt punkti *B* kujutis *B'*. Kõikide vahepealsete punktide kujutised asuvad punktide *A'* ja *B'* vahel. Kujutise konstrueerimise tulemus langeb täiel määral ühte katse teel saadud kujutisega.

Konstrueerige nõguspeegli fookuse ja optilise keskpunkti vahele paigutatud eseme kujutis.

Harjutus 47.

1. Kuidas peegeldub tasapeeglile risti langev kiir?
2. Miks lumi päikese käes sätendab? Miks helgivad lihvitud vääriskivid?
3. Millise nurga all langev kiir on risti peegeldunud kiirega?
4. Joonisel 307 on kujutatud lihtne periskoop, mida kasutatakse esemete vaatlemiseks varjendist. Joonistage kiire käik punktist *S* kuni varjendis asuva vaatleja silmani. Kuidas peavad teineteise suhtes asetsema tasapeeglid *A* ja *B*?



Joon. 307. Harjutus 47 ülesande 4 juurde.



5. Milleks on autojuhi ette kabiini kinnitatud tasapeegel?
6. Kuidas on praktiliselt kõige kergem määrata nõguspeegli fookuskaugust?
7. Kuidas saadakse auto «kaugtuled» ja «lähituled»?
8. Miks kasutavad hambaarstid nõguspeegleid? Millist kujutist arst sellise peegli abil näeb?
9. Legend räägib sellest, et Arhimedes kasutas vaenlase laevade süütamiseks peeglit. Millist peeglit tuli selleks otstarbeks kasutada? Kas see legend on tõenäoline?

II. VALGUSE MURDUMINE.

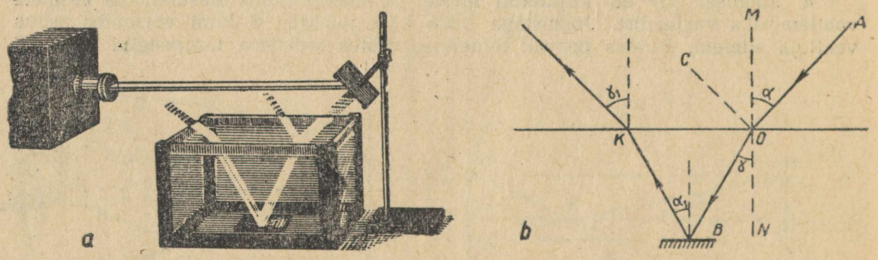
§ 180. VALGUSE MURDUMINE.

Valguskiire suuna muutmist üleminekul ühesuguse optilise tihedusega keskkonnast teistsuguse optilise tihedusega keskkonda nimetatakse valguse murdumiseks. (Murdumine toimub kahe keskkonna piirpinnal.)

Valguse murdumine on tuntud igapäevase elu kogemustest. Osaliselt vette asetatud esemed paistavad veepinnalt murdunutena; jõe põhi tundub olevat lähemal, kui ta tõeliselt on jne. Erinevalt soojenenud õhukihtides toimuva valguse murdumise tulemusena tekivad miraažid.

Tutvume katsete abil valguse murdumise seadustega. Juhime projektsioonilaternast tuleva kitsa valgusjoa statiivi külge kinnitatud peegli abil anumas oleva vee pinnale (joon. 308, *a*). Kui muuta õhk veepinna kohal suitsuseks, siis näeme langeva kiire kõrval veel nõrka peegeldunud kiirt ning vette läinud murdunud kiirt.

Joonisel 308, *b* on *AO* langev kiir, *OB* — murdunud kiir ning *OC* — peegeldunud kiir.



Joon. 308. *a* — seade valguse murdumise vaatlemiseks; *b* — kiirte käik vaadeldavas katses.

Langeva kiire ning langemispunktist tõmmatud pinnanormaali *MN* vahele jäävat nurka nimetatakse *langemisnurgaks* ($\angle \alpha$), nurka murdunud kiire ja normaali vahel aga *murdumisnurgaks* ($\angle \gamma$).

Katsed näitavad, et *valguskiire üleminekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda muudab kiir oma suunda, kaldudes langemispunktist keskkondade piirpinnale tõmmatud normaali poole.*

Kui suurendada valguskiire langemisnurka, siis suureneb ka

murdumisnurk. Langemisnurkade ja murdumisnurkade täpse mõõtmise teel tehti kindlaks järgmine seaduspärasus:

langemis- ja murdumisnurga siinuste suhe on antud keskkondade jaoks jääv suurus.

Matemaatiliselt võib selle valguse murdumise seaduse kirjutada järgmiselt:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n,$$

kus α on langemisnurk, γ — murdumisnurk ja n — antud keskkondade jaoks jääv suurus, mida nimetatakse *murdumisnäitajaks* ning mille suurus oleneb ainult keskkondade optilistest omadustest.

Nii nagu valguse peegeldumise kohta, nii kehtib ka murdumise kohta veel teine seadus:

murdunud kiir asub ühes tasapinnas langeva kiirega ja langemispunktist kahe keskkonna piirpinnale tõmmatud normaaliga.

Hiljem tehti kindlaks, et *valguse murdumise põhjuseks on valguse erinevad kiirused erinevates keskkondades* (§ 173).

Murdumisnäitaja näitab, mitu korda on valguse kiirus ühes keskkonnas suurem kui teises.

Vee murdumisnäitaja õhu suhtes on 1,33. See tähendab, et valguse kiirus õhus on 1,33 korda suurem kui vees.

Leidke klaasi murdumisnäitaja õhu suhtes. Arvutamiseks vajalikud andmed leidke lk-lt 308.

Kui veeanuma põhja asetada peegel (joon. 308, *a*), siis sellelt peegeldunud kiir *BK* (joon. 308, *b*) läheb veest õhku. Katsest nähtub, et seejuures langemisnurk α_1 on väiksem kui murdumisnurk γ_1.

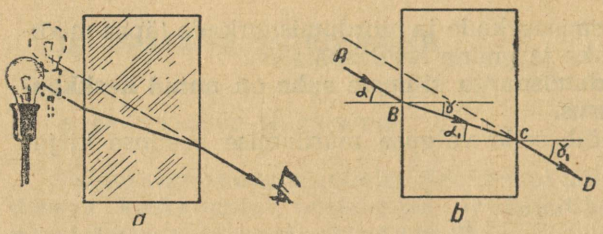
Langev ja murdunud kiir on pööratavad.

Erinevad läbipaistvad ained murravad valgust erinevalt. Kõige tugevamini murrab valgust teemant, vähem mäekristall, siis klaas ja vesi.

§ 181. VALGUSE LÄBIMINEK TASAPARALLEELSEST PLAADIST.

Paljudes optilistes seadmetes kasutatakse valguse murdumist tema läbiminekul väga mitmesuguse kujuga läbipaistvatest kehadest (tavaliselt klaasist). Kõige sagedamini kasutatakse paralleelsete tahkudega plaate (tasaparalleelseid plaate), prismasid ja läätsi (klaasid, mida piiravad sfäärilised pinnad).

Laseme valguskiirte kimbu langeda mingi nurga all tasaparalleelse klaasplaadi ühele tahule (joon. 309). Kuna klaas on õhust optiliselt tihedam, siis on murdumisnurk γ väiksem kui langemisnurk α. Klaasplaadist väljumisel murdub valguskiir *BC* uuesti. Kuna kiir läheb nüüd optiliselt tihedamast keskkonnast (klaasist) optiliselt hõredamasse keskkonda (õhku), siis on langemisnurk α_1



Joon. 309. Valguskiire murdumine läbipaistvas tasaparalleelses plaadis.

väiksem kui murdumisnurk γ_1. Plaadist väljunud kiir CD on paralleelne plaadile langenud kiirega AB, on viimasest ainult teatud pikkuse võrra kõrvale nihkunud.

Jälgige kiire käiku tasaparalleelses plaadis ning tehke kindlaks, millest oleneb kiire kõrvalenihkumise suurus.

LABORATOORNE TÖÖ NR. 23.

Valguse murdumine tasaparalleelses plaadis.

T ö ö r i i s t a d: tasaparalleelne plaat, leht paberit, joonestuskolmnurk, mall, neli nööpnõela.

T ö ö k ä i k.

1. Asetage klaasplaat vastu paberit ning joonistage plaadi kontuur terava pliiatsiga paberile.

2. Märkige nööpnõeltega A ja B kiir, mis langeb mingi nurga all plaadi tahule (joon. 309, *b*). Märkige nööpnõelte C ja D abil plaadist väljunud kiire suund. Suund määrake laboratoorses töös nr. 22 kirjeldatud viisil.

3. Võtke klaasplaat paberilt ning joonistage joonlaua abil langev kiir AB, murdunud kiir BC ning plaadist väljunud kiir CD.

4. Tõmmake normaalid plaadi pindadele punktides B ja C ning mõõtke mõlema punkti juures langemis- ja murdumisnurk. Veenduge kiirte AB ja CD paralleelsuses.

5. Asetage klaasplaat paberile mingi teise tahuga ning tehke kindlaks, kuidas oleneb kiire kõrvalekaldumine plaadi paksusest. Tehke selle kohta vastav järeldus.

6. Muutke kiire langemisnurka. Kuidas muutub selle tulemusena kiire kõrvalekaldumine?

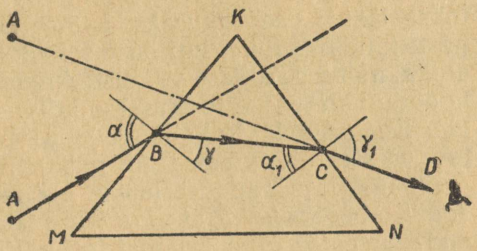
(Kiire kõrvalekaldumine oleneb ka plaadi materjali optilisest tihedusest.)

§ 182. VALGUSKIIRE KÄIK KOLMETAHULISES PRISMAS.

Prisma mingile tahule langenud valguskiir AB (joon. 310) murdub siin nagu tasaparalleelses plaadiski kaks korda. Uurige joonise järgi kiire suuna muutumist, kasutades sealjuures valguse murdumise seadusi.

Prisma murdvate tahkude poolt moodustatud nurka MKN nimetatakse *prisma murdvaks nurgaks*. Langeva kiire ja prismast väljunud kiire vahelist nurka nimetatakse kiire kaldenurgaks. Leidke jooniselt see nurk! Kaldenurga suurus sõltub prisma murdvast nurgast ning prisma aine murdumisnäitajast.

Kui vaadata läbi prisma kiire CD suunas, siis paistab punkt A nihkununa punkti A'.



Joon. 310. Valguse murdumine läbipaistvas kolmetahulises prismas.

LABORATOORNE TÖÖ NR. 24.

Valguse murdumine kolmetahulises prismas.

Tööriistad: kolmetahuline prisma, leht paberit, joonestuskolmnurk, mall, neli nööpnõela.

Töö käik.

1. Leidke laboratoorses töös nr. 22 kirjeldatud viisil kiirte käik kolmetahulises prismas. Kiirte käigu kindlakstegemiseks kasutage nööpnõelu.
2. Mõõtke kiire kahekordsel murdumisel tekkivad langemis- ja murdumisnurgad. Tehke vastav järeldus. Millises suunas kalduvad prismat läbinud kiired?
3. Mõõtke valguskiire kaldenurk prismas.

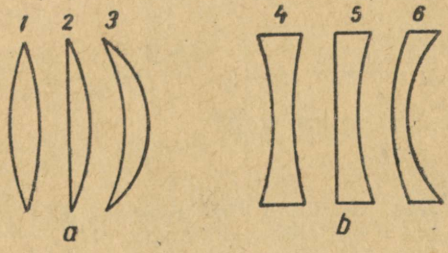
§ 183. LÄÄTSED.

Kiirte käigule avaldatava mõju järgi jagatakse läätsed koondavateks ja hajutavateks läätsedeks, nende pindade iseloomu järgi aga kumerateks ja nõgusateks läätsedeks.

Joonisel 311, *a* on kujutatud mitmesugused koondavad läätsed (*1*, *2*, *3*), joonisel 311, *b* aga hajutavad läätsed (*4*, *5*, *6*).

Läätse piiravate kerapindade keskpunkte C ja C_1 ühendavat sirget (joon. 312) nimetatakse läätse *optiliseks peateljeks*, punkti O aga läätse *optiliseks keskpunktiks*.

Suuname koondavale läätsele optilise peateljega paralleelsete kiirte kimbu. Kõik need kiired koonduvad punkti F, mida nimeta-



Joon. 311. *a* — koondavad läätsed; *b* — hajutavad läätsed.

takse läätse *peafookuseks*. Läätse peafookuse asukoha saab kergesti kindlaks teha, kui lasta temale langeda kaugel asuva valgusallika, näiteks Päikese valgust. Analoogiliselt nõguspeegliga (§ 177) koondub ka läätse fookusesse kõigi läätsele langevate kiirte energia. Kui lasta läätsele langeda päikesevalgust ning asetada selle fookusesse tuletiku pea või paberitükk, siis need süttivad.

Peafookuse kaugust läätse optilisest keskpunktist nimetatakse *fookuskauguseks. Mida kumeram on lääts ning mida tugevamini murrab läätse aine valgust, seda lühem on läätse fookuskaugus* (*f*). Läätsede fookuskaugust mõõdetakse tavaliselt meetrites.

Läätse valguse murdmise võimet iseloomustatakse fookuskauguse pöördväärtusega. Seda suurust nimetatakse läätse *optiliseks tugevuseks* ning märgitakse tähega *D*:

$$D = \frac{1}{f}.$$

Optilise tugevuse ühikuks on võetud sellise läätse tugevus, mille fookuskaugus on 1 m. Seda ühikut nimetatakse *dioptriaks*. Koondava läätse optilist tugevust loetakse positiivseks (+).

Näide. Prillide retseptil on kirjutatud: «Parem silm +1,5 D, vasak silm +2,5 D.» Millised läätsed on arst prillide jaoks kirjutanud? Kui suured on fookuskaugused f_1 ja f_2?

Lahendus.

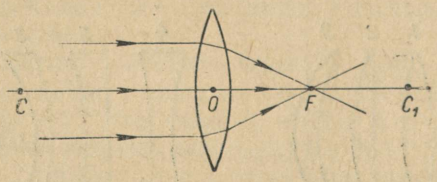
Kuna $D = \frac{1}{f}$, siis $f = \frac{1}{D}$;

$f_1 = \frac{1}{1{,}5} \approx 0{,}66$ m $= 66$ cm;

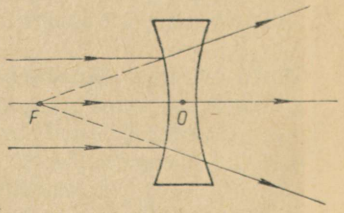
$f_2 = \frac{1}{2{,}5} = 0{,}40$ m $= 40$ cm.

Mõlemad läätsed on koondavad.

Suuname nüüd nõgusale läätsele optilise peateljega paralleelsete kiirte kimbu. Pärast läätsest murdumist osutub see kiirtekimp hajuvaks (joon. 313). Kui vaadata vastu hajuvale kiirtekimbule,



Joon. 312. Kiirte käik koondavas läätses. *F* — läätse peafookus.



Joon. 313. Kiirte käik hajutavas läätses. *F* — ebafookus.

siis näeme kiirte pikenduste lõikepunktis valgusallika näivat kujutist. Seda kiirte pikenduste lõikepunkti nimetatakse läätse *ebafookuseks*, kaugust *OF* aga *hajutava läätse fookuskauguseks*.

Hajutava läätse ebafookus asub läätsest samal pool kus valgusallikaski. Hajutava läätse optilist tugevust loetakse negatiivseks.

Arvutage prilliklaaside fookuskaugused, kui retseptile on kirjutatud —2 D; —0,5 D, ning määrake kasutatavate klaaside iseloom.

Analoogiliselt peeglitega võib läätsede abil saada helenduvate või valgustatud kehade tõelisi ja näivaid kujutisi. Uurige läätsede abil saadud kujutisi.

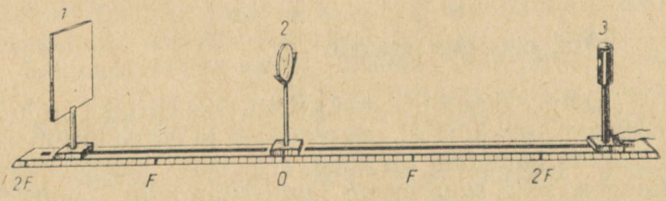
§ 184. LABORATOORNE TÖÖ NR. 25.

Kujutise saamine läätse abil.

T ö ö r i i s t a d: joonlaud, koondav lääts, paberist ekraan, küünal või kattega elektrilamp alusel.

T ö ö k ä i k.

1. Töö läbiviimiseks vajalik seade on kujutatud joonisel 314. Määrake kindlaks läätse 2 fookuskaugus. Selleks tekitage paberist ekraanil *1* mingi kauge eseme, näiteks võimalikult kaugele viidud lambi kujutis. Ekraani ja läätse vaheline kaugus on küllalt suure täpsusega võrdne läätse fookuskaugusega *OF*.



Joon. 314. Laboratoorse töö nr. 25 läbiviimiseks vajalik seade.

2. Märkige mõlemal pool läätse lõigud *OF* ja *2OF*.

3. Tekitage ekraanil läätsest kaugemal kui *2OF* asuva valgusallika kujutis. Selleks asetage valgusallikas vajalikule kaugusele ning nihutage ekraani seni, kuni sellele tekib valgusallika terav kujutis. Valgusallika kujutis on seejuures tõeline ja ümber pööratud. Kujutis asub teisel pool läätse punktide *F* ja *2F* vahel.

Kujutise mõõtmed on eseme mõõtmetest nii mitu korda väiksemad, kui mitu korda on ekraani ja läätse vaheline kaugus k_1 väiksem eseme ning läätse vahelisest kaugusest a. Kontrollige seda.

4. Lähendage valgusallikas läätsele kauguseni *2F*. Nihutage ekraani seni, kuni saate ekraanil valgusallika terava kujutise. Veenduge, et sel juhul on kujutis tõeline, ümber pööratud, suuruselt esemega võrdne ning asub läätsest kaugusel *2OF*.

5. Tehke katseliselt kindlaks, kuidas muutub valgusallika kujutise suurus, kui see nihutada punktide *2F* ja *F* vahele. Kus asub sel juhul kujutis?

6. Asetage valgusallikas läätse peafookusesse. Pärast läätse läbimist levivad

kiired nüüd üksteisega paralleelselt ning tekitavad terava kujutise asemel ekraanile heleda laigu.

7. Asetage valgusallikas fookuse ja läätse vahele. Sel juhul läätse läbinud kiired hajuvad ning tõelist kujutist ei teki. Kui vaadata valgusallikat läbi läätse, siis näeme selle näivat, suurendatud ja samapidist kujutist.

8. Läätse, mida kasutatakse näivate, suurendatud ja samapidiste kujutiste saamiseks, nimetatakse *suurendusklaasiks* ehk *luubiks*. Vaadelge luubina töötava läätse abil õpiku teksti, laua ebatasasusi.

9. Kaugused a, k ja f ($f = OF$) on omavahel seotud läätse valemiga:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}.$$

Teades fookuskaugust $OF = f$ ning eseme ja läätse vahelist kaugust a, võime toodud valemi abil arvutada kujutise kauguse (k) läätsest. Kontrollige läätse valemi õigsust laboratoorse töö käigus saadud andmete abil.

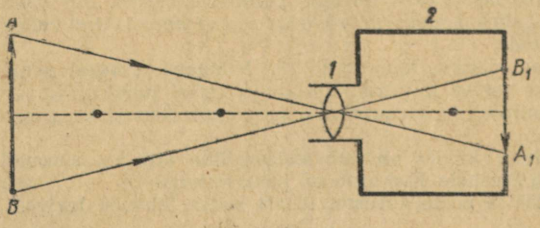
Harjutus 48.

1. Millistel tingimustel läbib valguskiir erineva tihedusega optilisi keskkondi, ise seejuures murdumata?
2. Miks ei ole märgatav esemete nihkumine, kui vaadata neid läbi aknaklaasi, kuid on märgatav, kui vaadata läbi vitriinide peegelklaaside?
3. Miks on taskulambid varustatud koondava klaasiga? Kuidas tuleb selle klaasi suhtes asetada lambipirn?
4. Läätsede fookuskaugused on 50 cm ja 20 cm. Kumma läätse optiline tugevus on suurem?
5. Kuidas tuleb teineteise suhtes asetada kaks koondavat läätse, et sellele süsteemile langev paralleelsete kiirte kimp oleks ka pärast läätsede läbimist paralleelne?

§ 185. OPTILISED RIISTAD.

Luup. Kõige lihtsamaks optiliseks riistaks on luup. Luup annab esemetest samapidise, suurendatud ja näiva kujutise.

Mida kumeram on luup, s. t. mida väiksem on tema fookuskaugus, *seda suurem on luubi suurendus*. Luubi suurendus on vahemikus 2,5—25. Luupe kasutatakse tööstuses töödeldava detaili töötlemispuhtuse kontrollimiseks, keevitusõmbluste kontrollimiseks, väikeste esemete (näiteks kellade) monteerimiseks, mõõteriista näitude lugemiseks ja paljudel teistel juhtudel. Luupi kasutatakse nii iseseisva riistana kui ka keerukamate optiliste seadmete (mikroskoobi, teleskoobi) osana.



Joon. 315. Kiirte käik fotoaparaadis.

Fotoaparaat. Optilisi riistu, mida kasutatakse tõeliste kujutiste saamiseks ekraanil, nimetatakse optilisteks projektsiooniseadmeteks. Sellisteks seadmeteks on fotoaparaat, projektsiooniaparaat, epidiaskoop, suurendusaparaat (fotograafiline), kinoaparaat jne. Fotoaparaati kasutatakse esemete tõeliste kujutiste saamiseks fotoplaadile või filmile.

Lihtne fotoaparaat koosneb objektiivist — koondavast läätsest *1* (joon. 315), valguskindlast kaamerast 2 ja mattklaasist. Objektiiv on kinnitatud kaamera esiseina külge.

Kiirte käik kirjeldatud fotoaparaadis on toodud joonisel 315. Pildistatav ese *AB* asetseb tavaliselt objektiivist kaugemal kui kahekordse fookuse kaugus. Objektiivi nihutamise abil muudetakse pildistatava eseme kujutis mattklaasil teravaks (teravustatakse). Tuletage meelde, kui kaugel objektiivist tekib sel juhul kujutis ning kui suur on see kujutis esemega võrreldes.

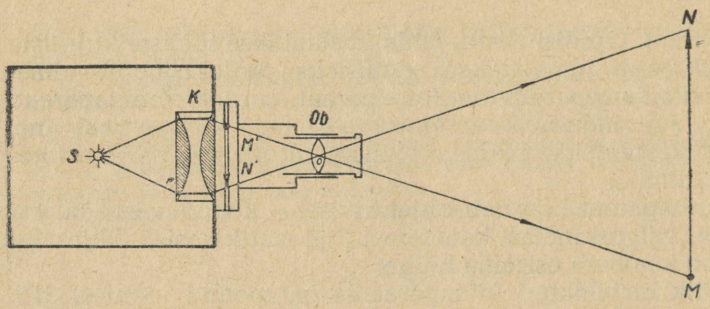
Mattklaas asendatakse nüüd plaadi või filmiga, mis on kaetud hõbedasooladega. Läbi objektiivi plaadile langeva valguse mõjul tekib keemiline reaktsioon ning nendes kohtades, kuhu langes valgus, eraldub metalliline hõbe. Spetsiaalsete lahuste (ilmuti ja kinniti) abil muudetakse kujutis nähtavaks ning seejärel kinnitatakse. Pärast pesemist ning kuivamist saame *negatiivi*. Negatiiv annab eseme terava kujutise, kuid vastupidistes toonides. Tugevasti valgustatud alad on negatiivil läbipaistmatud, vähevalgustatud alad aga läbipaistvad.

Positiivi saamiseks projekteeritakse eseme kujutis fotopaberile kas suurendusaparaadi abil või siis vahetult negatiivi asetamisega fotopaberile. Fotopaberi töötlemine toimub analoogiliselt fotoplaadi või filmi töötlemisega. Selle tulemusena saadakse positiiv (s. o. kujutis), kus toonid on paigutatud vastavalt nende jaotumisele pildistataval esemel.

Kaasaegsetes fotoaparaatides kasutatakse mitmest läätsest koostatud objektiive, mis võimaldavad saada suure teravusega kujutisi.

Tänapäeva fotograafia võimaldab tutvustada paljudele inimestele mitmesuguseid maale ning teisi kunstiväärtusi, võimaldab fotografeerida silmaga nähtamatuid mikroobjekte, jäädvustada taimede arengujärke jne. 1959. a. fotografeeriti planeetidevaheliselt automaatjaamalt esimest korda Kuu seda külge, mis on Maalt nähtamatu.

Projektsiooniaparaat. Projektsiooniaparaadi ehitus on paljus sarnane fotoaparaadi ehitusega (joon. 316). Projekteeritava eseme paremaks valgustamiseks kasutatakse *kondensorit K*. Viimane kujutab endast kahe tasakumera läätse ühendust. Tuletage varem õpitust meelde, kuhu on tarvis paigutada ese, et saada sellest läätse (objektiivi) abil tõelist, ümberpööratud ja suurendatud kujutist. Kuna selline kujutis on ümber pööratud, siis tuleb diapositiiv paigutada projekteerimisraami ümberpööratult.



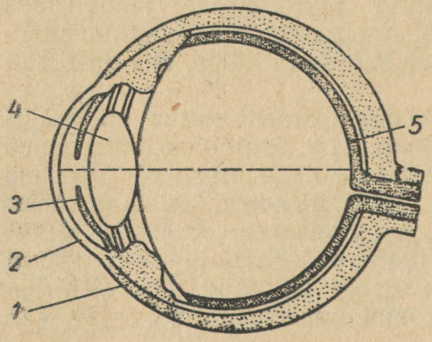
Joon. 316. Projektsiooniaparaadi ehituse skeem.

Kinoaparaat. Oma ehituselt on kinoaparaat sarnane projektsiooniaparaadiga. Kinoaparaadi abil saadakse filmilindi kaadritest ekraanil tõelised, ümberpööratud ja suurendatud kujutised. Harilikult tehakse sekundis 24 võtet. Sellise kiiruse juures on esemete asendi erinevused kahel naaberkaadril väga väikesed. Nii pildistatud ja töödeldud filmilinti projekteeritakse kinoaparaadi abil ekraanile samuti kiirusega 24 kaadrit sekundis. Iga kaader on ekraanil näha seega $\frac{1}{24}$ sekundit, s. o. ligikaudu 0,04 sekundit. Pärast seda ajavahemikku suletakse objektiiv automaatselt ning vahetatakse kaader. Pärast seda avatakse objektiiv uuesti jne. Et silmal on omadus säilitada nägemismuljet 0,1 sekundit, siis ei ole vaheajad üksikute kaadrite vahel märgatavad.

§ 186. SILM.

Silm kujutab endast keerulist optilist süsteemi, mis meenutab fotoaparaati.

Tuletage meelde silma ehitust, kasutades selleks joonist 317. Silma läbipaistmatu *valgekest 1* läheb silma esiosas üle läbipaistvaks *sarvkestaks 2*. Valgekesta all asub soonkest, mis sarvkesta all läheb üle *vikerkestaks 3*. Viimane annab

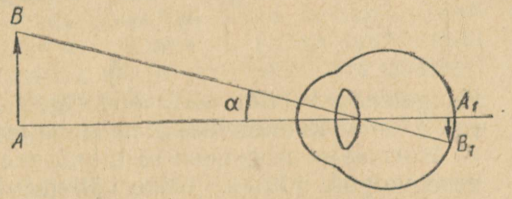


Joon. 317. Silma ehitus.

silmale iseloomuliku värvi. Vikerkesta keskel asub *silmaava*, mille kaudu pääseb valgus silma. Silma tagakülje sisepind on kaetud *võrkkestaga 5*, mille moodustavad nägemisnärvide lõpud. Vikerkesta taga asub valgust murdev läbipaistev keha — *silmalääts 4*. Silmalääts töötab koondava läätsena. Sarvkesta ja silmaläätse vaheline ruum on täidetud läbipaistva *vesivedelikuga*, silmaläätse taga olev ruum aga nn. *klaaskehaga*, mis samuti murrab valgust.

Objektiiviks on silmas silmalääts koos vesivedeliku ja klaaskehaga. Mattklaasi või fotoplaadi osa etendab võrkkest. Läbi silmaava silma langenud valgus murdub silma optilises süsteemis ning tekitab võrkkestale tõelise, vähendatud ja ümberpööratud kujutise (joon. 318). Kujutise poolt esilekutsutud nägemisnärvide ärritus antakse silmast edasi peaajule.

Terav kujutis saadakse võrkkestal mitte silmaläätse nihutamisega, nagu seda tehakse fotoaparaadis, vaid silmaläätse kumeruse muutmise abil. Kaugete esemete vaatlemisel muudetakse silmalääts tema külge kinnituvate lihaste abil lamedamaks, lähemate esemete vaatlemisel aga kumeramaks. Seepärast näeme nii lähedal asuvaid ja ka kaugeid esemeid ühtviisi teravalt, sest mõlemal juhul tekib terav kujutis võrkkestale.



Joon. 318. Eseme kujutis tekib võrkkestal. α — vaatenurk, mille all nähakse eset.

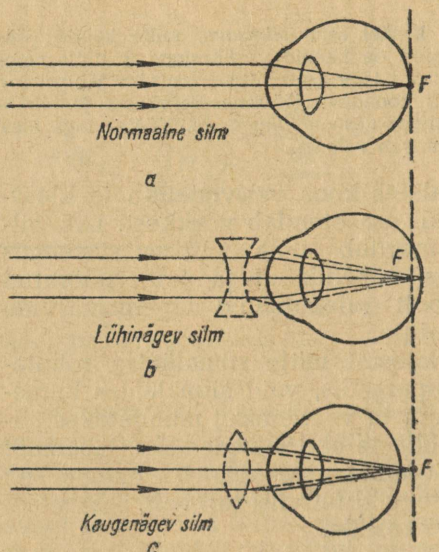
Kõige soodsamat kaugust esemete vaatlemiseks nimetatakse *parima nägemise kauguseks*. Sel juhul on läätse hoidvad lihased pingutuseta olekus. Normaalse silma juures on parima nägemise kauguseks umbes 25 cm.

Enamlevinud nägemishäireteks on *lühi-* ja *kaugelenägevus*.

Joonisel 319, *a* on skemaatiliselt kujutatud kiirte käik normaalses silmas, joonisel 319, *b* — lühinägevas silmas ning joonisel 319, *c* kaugelenägevas silmas. *Lühinägevas silmas tekib kujutis võrkkesta ees, kaugelenägevas silmas aga võrkkesta taga.* Mõlemal juhul nähakse eset ebaselgelt, uduselt. Sellised vead võivad olla kas kaasasündinud (silma sügavus on kas liiga suur või liiga väike) või hiljem tekkinud.

Kui halbades valgustustingimustes sagedasti vaadelda lähedal asuvaid esemeid (näiteks lugeda või joonestada), siis areneb lühinägevus. Silmalääts kaotab oma elastsuse, ei suuda muuta oma kumerust vajalikul määral ning kaugemal asuvate esemete terav kujutis ei teki enam võrkkestal. Lühinägevuse korral tuleb kanda hajutavate läätsedega prille.

Vanaduses muutub varem normaalne silm kaugelenägevaks, sest silmaläätse deformeerivad lihased kaotavad oma elastsuse.



Joon. 319. Kiirte käik normaalses, lühi- ja kaugelenägevas silmas.

Kaugelenägev silm näeb ebaselgelt lähedasi esemeid. Sel korral tuleb kanda koondavate läätsedega prille.

Normaalse nägemise säilitamiseks on tarvis tööd teha küllaldase valguse juures. Kõige vähem väsitab silma hajunud valgus. Ei tohi vaadata otse sellistele tugevatele valgusallikatele, nagu elektrilambid, keevitamisel tekkiv leek, Päike. See võib rikkuda silmanärvi ning põhjustada pimedaksjäämise. Töötamise ajal tuleb silmadele aeg-ajalt puhkust anda. Kõige paremini puhkab silm kaugete esemete rahulikul vaatlemisel, mida tehakse näiteks jalutamisel jne.

Harjutus 49.

1. Diapositiivide valmistamiseks fotografeeritakse sageli raamatutes olevaid jooniseid, viimaste mõõtmeid seejuures muutmata. Kui kaugele objektiivist tuleb sel juhul paigutada pildistatav ese ning fotoplaat?
2. Miks paistavad liikuvad esemed öise välgulöögi valgusel paigalseisvatena?
3. Vaadelge mitmesuguseid prille ning tehke kindlaks, kas need on määratud lühi- või kaugelenägeva silma jaoks.
4. Kolmnurkade MON ja $M'ON'$ (joon. 316) sarnasusest järgneb, et kujutis on mõõtmeilt diapositiivist nii mitu korda suurem, kui mitu korda on objektiivi ja ekraani vaheline kaugus suurem objektiivi ja diapositiivi vahelisest kaugusest:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{d_1}{d_2}.$$

Arvutage kujutise kõrgus ekraanil, kui ekraani kaugus objektiivist on 3 m, diapositiivi kõrgus 1,8 cm ning diapositiivi kaugus objektiivist 20 cm.

III. VALGE VALGUSE KOOSSEIS.

§ 187. VALGE VALGUSE LAHUTAMINE VÄRVILISTEKS. KEHADE VÄRVUS.

Vaatleme värvilise valguse läbiminekut optilistest riistadest. Laseme projektsioonilaterna valguse läbi kitsa pilu. Ekraanil saame selle pilu kujutise. Kui katta pilu punase klaasiga (filtriga), siis saame ka pilu kujutise punase. Märgime pilu kujutise asukoha ekraanil. Punaste kiirte teele asetatud prisma kallutab need asendisse *1* (joon. 320 *a*). Kui punane klaas pilu ees asendada sinisega, siis nihkub pilu kujutis asendisse 2. Sinised kiired murduvad seega prismas tugevamini kui punased kiired.

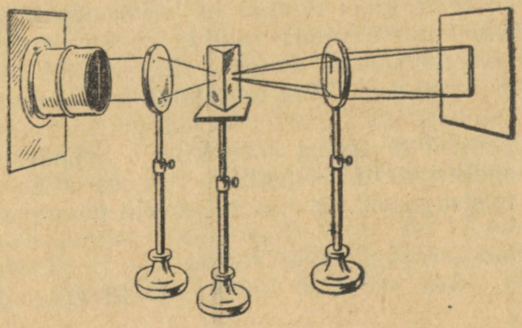
Filtri eemaldamisel aga tekib ekraanile lai värviline riba — *spekter*. Ekraani nihutamisega saab kontrollida, et kogu valgus prismast ekraanini on värviline. Värvid reastuvad spektris järgmiselt: punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, sinine ja violetne. Teravaid piire nende värvide vahel ei ole.

Korraldatud katsetest selgub, et **valge valgus on liitvalgus,** ta kujutab endast värviliste valguste ühendust. Ühes ja samas aines murduvad erinevat värvi valgused erinevalt. Kõige tugevamini murduvad prismas violetsed kiired, kõige nõrgemini aga punased kiired. *Spekter kujutab endast pilu värviliste kujutiste rida, mis osaliselt katavad üksteist.* Värvilised valgused prismas enam koostisosadeks ei jagune.

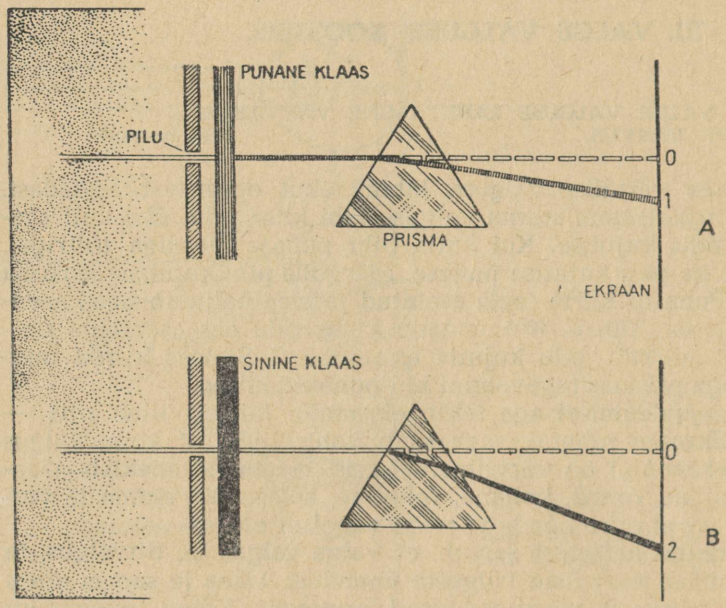
Kui prismast väljuvate värviliste kiirte kimbu teel asetada koondav lääts, siis saame ekraanil uuesti pilu valge kujutise. Lääts liidab värvilised valgused valgeks valguseks (joon. 320).

Valge valguse lagunemisega värvilisteks seletub värvidemäng kristallesemetel, vääriskividel, kastepiiskadel, mida valgustab päike. Üks ilusamaid loodusnähtusi, nimelt vikerkaar, on samuti päikesevalguse lagunemine värvilisteks kiirteks. Sel korral toimub valguse murdumine veepiiskadeks.

Läbipaistvate esemete värvus oleneb sellest, millist värvi kiiri



Joon. 320. Valge valguse saamine spektri värvide liitmise teel.



Joon. 320 a. Eri värvi kiired murduvad prismas erinevalt.

nad läbi lasevad. Punane klaas näiteks laseb põhiliselt läbi punaseid kiiri, ülejäänud kiired aga neelab. Vaskvitrioli vesilahus laseb läbi siniseid ja rohelisi kiiri, ülejäänud spektriosa värvused aga neelab.

Läbipaistmatute esemete värvuse määravad need kiired, mida kehad peegeldavad, kusjuures kõik ülejäänud kiired neelduvad. Rohi ja puude lehed peegeldavad tagasi rohelist värvust, kõik ülejäänud spektrivärvused aga neelatakse. Päevalille kroonlehed ning valminud maisitõlvikud peegeldavad ainult kollast valgust. Valgetena näeme neid esemeid, mis peegeldavad kõiki spektrivärvusi

Must keha neelab kõik värvused. Selles on kerge veenduda, kui katta ekraanil saadud spekter mitmesugust värvi riide- või paberiribadega. Punane riba säilitab oma värvi ainult spektri punases osas. Kõik ülejäänud kiired punane riba neelab ning paistab seepärast spektri ülejäänud piirkonnas mustana. Valge ekraan peegeldab tagasi kõik kiired. Seepärast näemegi ekraanil kõiki spektrivärve. Kunstliku valguse käes paistavad esemed meile teistsugustes värvitoonides kui päevavalguses (miks?).

§ 188. NÄHTAMATUD KIIRED.

Tundlike mõõteriistadega tehti kindlaks selliste kiirte olemasolu, mida silm ei näe. Selliste kiirte lainepikkus on kas suurem kui 0,8 μm või väiksem kui 0,4 μm. Spektri punase osa taga olevaid kiiri (lainepikkusega üle 0,8 μm) nimetatakse *infrapunasteks kiirteks*. Nendel kiirtel on suur soojuslik toime. *Neid kiiri saadavad välja kõik kehad ning seda intensiivsemalt, mida kõrgem on keha temperatuur.*

Tänapäeval on infrapunaste kiirte kasutamises tehtud suuri edusamme. Infrapunaste kiirte abil on võimalik fotografeerida pimedas, kuivatada puitu, puuvilju, juurvilju, kangaid, soojendada inimkeha kudesid (meditsiinis) jne.

Spektri violetse osa taga asuvaid kiiri nimetatakse *ultravioletseteks kiirteks* (nende lainepikkus on väiksem kui 0,4 μm). Need kiired avaldavad tugevat keemilist ja bioloogilist toimet. Naha pruunistumine päevitumisel pole muud kui nende kiirte mõju tulemus. Loomade kiiritamine ultravioletse kiirgusega soodustab nende kasvu. Ultravioletsed kiired hävitavad mõningaid baktereid.

Harilik klaas neelab tugevasti ultravioletseid kiiri. Meditsiinis kasutatavate spetsiaalsete kvartslampide klaas laseb aga need kiired vabalt läbi. Juba on väljatöötamisel ka ultravioletseid kiiri läbilaskva aknaklaasi tootmise tehnoloogia.

Harjutus 50.

1. Miks jaguneb prismat läbiv valge valgus värvilisteks valgusteks?
2. Milline paistab spekter läbi punase klaasi? läbi sinise klaasi?
3. Mis värvi paistab rohi, kui seda vaadata läbi punase klaasi?
4. Kas koondava läätse fookuskaugus on punase ja sinise valguse jaoks ühesugune?
5. Milline näeb välja spekter mustal ekraanil?
6. Miks maalivad kunstnikud harilikult päevavalguses?
7. Milline toime on ultravioletsetel kiirtel? infrapunastel kiirtel?

XXII PEATÜKK.

ALGTEADMISI AATOMI EHITUSEST.

§ 189. ELEKTRONKATE JA AATOMITUUM.

Möödunud sajandi kaheksakümnendate aastateni peeti aatomit aine jagatavuse piiriks. Sõna «aatom» tähendab ju ka tõlkes «jagamatu». XIX sajandi keskpaiku tehti kindlaks, et mistahes suurusega elektrilaeng koosneb üksikutest kõige väiksematest võimalikest laengutest. See kõige väiksem võimalik elektrilaeng on võrdne elektroni laenguga. Paljude katsete tulemusena tehti kindlaks, et elektron kuulub kõigi keemiliste elementide aatomite koosseisu. Kuna aga aatomid tervikuna on elektriliselt neutraalsed, siis peavad nende koosseisu kuuluma ka positiivselt laetud osakesed. *Seega tõestas elektroni avastamine ühtlasi ka aatomi ehituse keerukust.*

XX sajandi algul tõestas inglise teadlane Ernest Rutherford (1871—1937) katseliselt, et **iga aatom koosneb positiivselt laetud tuumast, kuhu on koondunud aatomi peamine mass, ja**

tuuma ümber tiirlevatest elektronidest. Vesiniku aatomi tuuma mass on 1840 korda suurem elektroni massist. Tuuma ruumala on aatomi ruumalaga võrreldes kaduvväike. Kui näiteks suurendada vesiniku aatomi tuuma diameetrit 1 cm-ni, siis suureneks aatomi kui terviku diameeter 1 km-ni.

Mitmesuguste keemiliste elementide aatomid erinevad üksteisest tuuma laengu suuruse poolest ning järelikult ka tuuma ümber tiirlevate elektronide arvu poolest. Kõige lihtsama ehitusega on vesiniku aatom. Selle aatomi tuuma laeng on $+1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, s. t. on võrdne elektroni laengu absoluutväärtusega. Vesiniku aatomi tuuma nimetatakse *prootoniks*[1]. Vesiniku aatomis tiirleb tuuma ümber üks elektron.

Aatomituumade laenguid mõõdetakse sageli mitte kulonites, vaid tingühikutes. Tingühikuks on seejuures võetud prootoni laeng. Nii näiteks on heeliumituuma laeng $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C. Sel juhul öeldakse, et heeliumituuma laeng on 2 (tingühikut). Tingühikute kasutamisel langeb tuuma ümber tiirlevate elektronide arv kokku tuuma laengu suurusega.

Joonisel 170 on skemaatiliselt kujutatud vesiniku, heeliumi ja alumiiniumi aatomite ehitused.

Kui keemilised elemendid paigutada järjekorda nende aatomkaalude kasvavas järjekorras, siis langevad elementide järjekorranumbrid kokku nende aatomituumade laengute suurustega (tingühikutes). Sel viisil järjestatud elementide keemilised omadused muutuvad perioodiliselt, sõltudes aatomituuma laengust. Esimesena tegi selle seose kindlaks D. I. Mendelejev (1834—1907). Selle seose järgi Mendelejevi poolt loodud süsteem kannab tänapäeval tema nime. Mendelejevi perioodilisuse süsteemis asub 92. kohal element uraan. Järelikult on uraani tuuma laeng 92 ning neutraalses aatomis tiirleb tuuma ümber 92 elektroni.

Kui aatom kaotab kas ühe või mitu elektroni, siis muutub ta positiivseks *iooniks*[2], kui aga saab juurde ülearuseid elektrone, siis muutub ta negatiivseks iooniks. Elektronide eemaldamist aatomitest, mille tulemusena saadakse positiivsed ioonid ning elektronid, nimetatakse *aine ioniseerimiseks.*

§ 190. RADIOAKTIIVSUS.

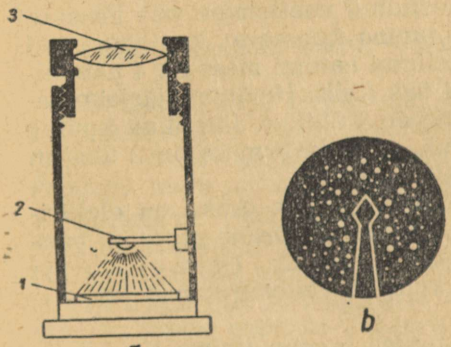
Radioaktiivsuse[3] avastas 1896. a. prantsuse teadlane Antoine Henri Becquerel (1852—1908). Ta tegi kindlaks, et uraanisoolad saadavad välja kiirgust, mis mõjub fotopaberile. Kaks aas-

---

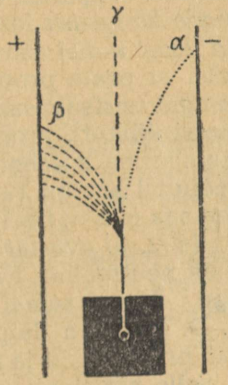
[1] Kreekakeelsest sõnast *protos* — esimene.
[2] Kreekakeelsest sõnast *ion* — minev.
[3] Ladinakeelsetest sõnadest *radio* — kiirgan ja *activus* — toimekas.

tat hiljem tõestasid Pierre Curie (1859—1906) ja Marie Sklodovska-Curie (1867—1937), et peale uraani eraldavad sellist nähtamatut kiirgust veel mõned teised elemendid. Nad avastasid kaks uut elementi, mille kiirguse intensiivsus oli palju suurem kui uraanil. Avastatud elemendid nimetasid nad poloonium-miks ja raadiumiks.

Radioaktiivne kiirgus ioniseerib õhku ning paneb mõned ained helenduma. Selliseks aineks on näiteks tsinksulfiid. Tutvuge joonise 321, *a* järgi spintariskoobi ehitusega. Selle riista abil saab vaadelda tsinksulfiidi helendumist radioaktiivse kiirguse mõjul. Vaadates pimendatud ruumis läbi luubi, näeme ekraanil selgesti üksikuid sähvatusi (joon. 321, *b*).



Joon. 321. Spintariskoop. *1* — tsinksulfiidiga kaetud ekraan; *2* — nõel radioaktiivse preparaadiga; *3* — luup.



Joon. 322. Radioaktiivse kiirguse jagunemine elektriväljas.

Selles, et radioaktiivne kiirgus ioniseerib õhku, võib veenduda järgmise katse abil. Laeme elektromeetri ja lähendame sellele spintariskoobi. Osuti näidu vähenemine viitab sellele, et elektromeetri laeng kaob. Spintariskoobi radioaktiivse kiirguse mõjul õhk ioniseerub, see tähendab — muutub juhiks.

Katsed näitavad, et elektriväljas jaguneb kitsas radioaktiivse kiirguse kimp kolmeks komponendiks (joon. 322). β-kiirgus kaldub positiivselt laetud plaadi poole. Selle kiirguse moodustab *elektronide voog.* α-kiired kalduvad negatiivselt laetud plaadi poole. α-kiirgus kujutab endast *positiivselt laetud osakeste voogu,* kusjuures osakeste massid on 4 korda suuremad vesiniku aatomi tuumast. Radioaktiivse kiirguse kolmas komponent, nimelt γ-kiirgus, elektriväljas kõrvale ei kaldu. See kiirgus on väga *lühikese lainepikkusega elektromagnetiline lainetus.*

Kuna aatomituuma ümber tiirlevad ainult elektronid, siis annab radioaktiivsete elementide α-kiirgus tunnistust sellest, et

kiirgus on elemendi aatomituumade lagunemise tulemus. *Radioaktiivsus tõestab, et aatomituumade ehitus on keeruline.*

Hiljuti õpiti kunstlikult saama elementide selliseid tuumi, mis on ebapüsivad ning kiirgavad välja ühte või teist tüüpi osakesi või osakeste gruppe. Erinevalt uraanist, polooniumist, raadiumist ja mõnedest teistest spontaanselt lagunevatest looduslikest radioaktiivsetest elementidest, nimetatakse kunstlikult saadud ebapüsivaid elemente *kunstlikeks radioaktiivseteks elementideks.*

§ 191. AATOMITUUMA KOOSTIS.

Mistahes elemendi aatomituuma laeng on prootoni laengu kordne. Seepärast on loomulik oletada, et *kõikide elementide tuumade koosseisu kuuluvad prootonid.* Kuid juba Mendelejevi tabelis teisel kohal asuva elemendi (heeliumi) vaatlemine viib järeldusele, et peale prootonite peavad tuuma koosseisu kuuluma veel mingid teistsugused osakesed. Heeliumi aatomi mass on 4 aatomimassi ühikut[1], prootoni mass aga üks ühik. Heeliumi järjekorranumber on 2, seega ka tuuma laeng on 2 ühikut. Järelikult kuulub heeliumi aatomi tuuma 2 prootonit, mille kogumass on 2 ühikut. See aga ei ühti heeliumi tuuma tõelise massiga.

1932. a. avastati uus osake — *neutron.* See osake on elektriliselt neutraalne. *Neutroni mass on peaaegu võrdne prootoni massiga.* Veel samal aastal püstitasid D. D. Ivanenko ja J. D. Gapon hüpoteesi[2], mille kohaselt aatomituumad koosnevad prootonitest ja neutronitest.

Selle hüpoteesi alusel määrab tuuma laengu tuuma kuuluvate prootonite arv. Neutronitel laengut ei ole ning nende esinemine tuumas suurendab ainult tuuma massi. Heeliumi tuuma laeng on näiteks võrdne kahe prootoni laenguga, mass on aga prootoni massist 4 korda suurem. Seega on heeliumi aatomi tuumas kahe prootoni kõrval veel kaks neutronit, mis suurendavad tuuma massi 4 ühikuni. Uraani tuuma (laeng 92 ühikut, kaal 235 ühikut) kuulub 92 prootonit ja 143 neutronit (235—92).

Ülalkäsitletud näidetest järgneb, et **elemendi järjekorranumber Mendelejevi perioodilisuse süsteemis näitab aatomituumakoosseisu kuuluvate prootonite arvu, massiarvu[3] ja järjekorranumbri vahe aga neutronite arvu.**

Teadlaste uurimustega on tõestatud, et ühe ja sama elemendi aatomid võivad oma aatomkaalu poolest üksteisest erineda. Nii näiteks võib Mendelejevi tabelis kuuendal kohal oleva süsiniku aatomkaal olla kas 12 või 13. Mõlemat tüüpi süsiniku aatomi-

---

[1] Aatomimassi ühikuks on võetud $\frac{1}{16}$ hapniku aatomi massist.

[2] Hüpotees — teaduslik oletus.

[3] Aatomkaalule kõige lähemat täisarvu nimetatakse massiarvuks.

tuumas on 6 prootonit, neutroneid on aga süsinikul aatomkaaluga kaksteist 6, teisel 7. Ühe ja sama elemendi teisendeid, millel on erinev aatomkaal, nimetatakse *isotoopideks.*

Vesinikku aatomkaaluga 1 (tuum sisaldab ühe prootoni) nimetatakse *prootiumiks.* Väga vähestes kogustes esineb looduses vesinikku aatomkaaluga 2. Sellise vesiniku aatomituum koosneb ühest prootonist ja ühest neutronist. Sellist vesinikku nimetatakse *deuteeriumiks.* Kunstlikul teel on saadud *triitiumi* — vesiniku isotoopi aatomkaaluga 3. Mitu prootonit ja mitu neutronit sisaldab selle isotoobi tuum?

Isotoobid erinevad üksteisest füüsikaliste omaduste poolest. Keemilistest reaktsioonidest võtavad nad aga sellele vaatamata ühtviisi osa.

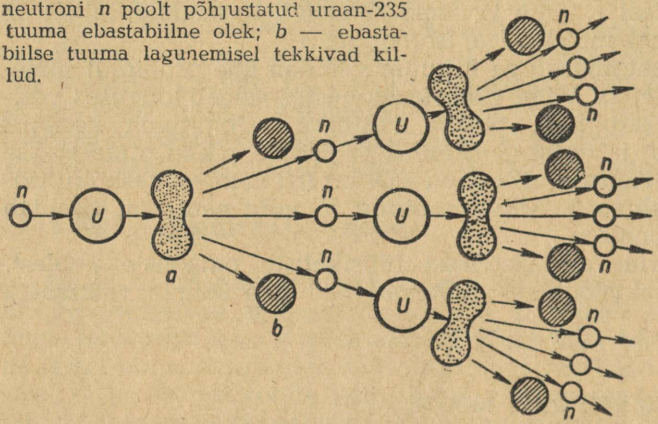
§ 192. AHELREAKTSIOONI MÕISTE.

Paragrahvis 189 selgitati, et aatomi peamine mass on kontsentreerunud aatomi tuuma. Elektronide arvele tuleb vähem kui 0,05% aatomi massist. Analoogiliselt jaguneb aatomis ka energia. *Peaaegu kogu aatomi energia on kontsentreerunud tema tuuma.*

Keemiliste reaktsioonide käigus muutub ainult aatomi elektronkate. Selliseid reaktsioone saadab suhteliselt väike energia eraldumine. Nii näiteks eraldub 1 kg kivisöe põlemisel umbes $29 \cdot 10^6$ J energiat ja 1 kg nafta põlemisel $46 \cdot 10^6$ J energiat. Tunduvalt rohkem energiat vabaneb tuumareaktsioonidel.

Esimese tuumareaktsiooni viis juba 1913. a. läbi E. Rutherford. See reaktsioon ei leidnud aga praktilist rakendamist. 1933. a. õnnestus kindlaks teha, et suhteliselt aeglaselt liikuva neutroni sattumisel uraan-235 (uraan aatomkaaluga 235) tuuma laguneb tuum kaheks killuks, mis väga suure kiirusega laiali lendavad. Peale eemalelendavate kildude eraldub veel 2—3 neutronit. Need neutronid, sattunud omakorda uutesse uraan-235 tuumadesse, põhjustavad tuumade lagunemise ning igaüks 2—3 neutroni tekkimise, mis omakorda on võimelised tuumade lagunemisi esile kutsuma. Seega tuumade lagunemise protsess kasvab laviinina — toimub *ahelreaktsioon* (joon. 323).

Uraani aatomituumade lagunemisel tekkivad killud põrkavad kokku selle keskkonna molekulidega, milles nad liiguvad, annavad seejuures molekulidele üle ühe osa oma energiast ning põhjustavad seega keskkonna temperatuuri tõusu. Ahelreaktsiooniga kaasneb tuumaenergia muundumine selle keskkonna siseenergiaks, kus reaktsioon toimub. Nii näiteks eraldub 1 kg uraani täielikul lagunemisel $87 \cdot 10^{12}$ J energiat, s. o. kolm miljonit korda rohkem kui 1 kg kivisöe põlemisel. Osa vabanenud tuumaenergiast muundub väga lühikese lainepikkusega elektromagnetilise lainetuse energiaks.



Joon. 323. Ahelreaktsiooni skeem. *a* — neutroni *n* poolt põhjustatud uraan-235 tuuma ebastabiilne olek; *b* — ebastabiilse tuuma lagunemisel tekkivad killud.

Looduslikus uraanis ahelreaktsiooni ei teki, sest see sisaldab uraan-235 ainult umbes 0,7%. Selleks et vabad neutronid satuksid uraan-235 tuumadesse ning põhjustaksid ahelreaktsiooni, peab olema küllalt suur uraan-235 tükk. Selle tüki mass peab olema suurem kindlast, nn. *kriitilisest massist*. Uraan-235 kriitiline mass on 10—15 kg (olenevalt lisanditest). Kui võtta kaks kriitilisest massist väiksemat uraanimassi, valides neid selliselt, et masside summa oleks kriitilisest massist suurem, ning viia need siis kokkupuutesse, siis põhjustavad neutronid ahelreaktsiooni tekkimise. Toimub plahvatus, mida võib kasutada nii rahulikuks kui ka sõjaliseks otstarbeks.

§ 193. AATOMIENERGIA RAHUOTSTARBELINE KASUTAMINE.

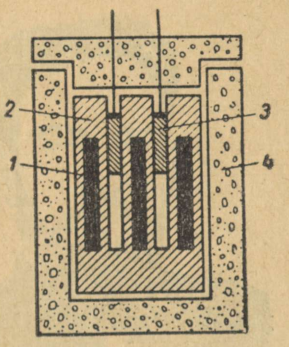
Aatomienergia tööstuslikuks kasutamiseks on tarvis osata ahelreaktsiooni käiku reguleerida. Seda tehakse tuumareaktorites (joon. 324). Reaktor koosneb grafiitkeskkonnast *2*, kuhu on paigutatud uraanivardad *1*. Grafiidi ülesandeks on kiirete neutronite kiiruse vähendamine. Ahelreaktsiooni kiirust reguleeritakse kadmiumist või mõnest teisest materjalist varraste *3* sisse- või väljanihutamisega. Need vardad neelavad hästi neutroneid. Reaktori tööruumi viidud kadmiumvardad neelavad palju neutrone ning ahelreaktsiooni kiirus väheneb. Inimeste kaitsmiseks neutronite ja γ-kiirguse (uraani tuuma lagunemisel tekkivad killud on radioaktiivsed) kahjuliku mõju eest ümbritsetakse reaktor paksude betoonseintega (kuni 4 m).

Kui reaktor täita uraan-238-ga, siis muundub see kiirete neutronite mõjul uueks elemendiks, nimelt *plutooniumiks*. Ahelreaktsioon võib toimuda ka plutooniumis. Seega võib plutoonium asen-

dada uraan 235-t. Kirjeldatud viisil toimub reaktoris pidev tuumakütuse juurdetootmine.

Aatomienergia kasutamise üheks põhiliseks mooduseks on selle muutmine elektrienergiaks. Aatomienergeetika esiklapseks on esimene nõukogude aatomielektrijaam. See jaam lasti käiku 27. juunil 1954. a.

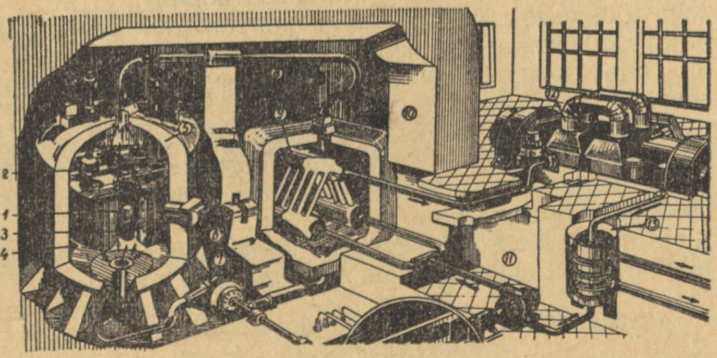
Aatomielektrijaama lihtsaim skeem on toodud joonisel 235. Spetsiaalsete reaktorit läbivate torude kaudu toimub soojusekandja (näiteks vee) pidev ringkäik. Soojusekandja annab oma energia edasi veele, muutes selle ülekuumendatud auruks. Aur juhitakse vahelduvvoolugeneraatoriga ühendatud turbiini.



Joon. 324. Tuumareaktori skeem. *1* — uraanivardad; 2 — aeglustaja (grafiit); 3 — reguleerimisvardad; *4* — betoonümbris.

Aatomielektrijaam kujutab endast faktiliselt soojuselektrijaama, kus tavalise kütuse asemel kasutatakse «tuumakütust». Esimeses aatomielektrijaamas kulutati ööpäevas ainult 30 g uraani. Sama energiahulga saamiseks tuleks põletada 100 tonni sütt.

Hiljuti valmis meie maal kaks võimsat aatomielektrijaama —



Joon. 325. Tuumareaktoriga aurujõuseadme skeem. *1* — uraanvardad; 2 — kadmiumvardad; *3* — alumiiniumümbris, mis kaitseb uraani korrosiooni eest; *4* — grafiit neutronite aeglustamiseks; *5* — betoonsein, mis kaitseb radioaktiivse kiirguse eest; *6* — katla töörežiimi reguleeriv ionisatsioonikamber; *7* — pump, mis pumpab gaasi reaktorist katlasse ja tagasi; *8* — torujuhe; *9* — seade, kus toimub vee aurustumine ning tekkinud auru ülekuumendamine; saadav ülekuumendatud aur paneb tööle vahelduvvoolugeneraatori turbiini *12*; *13* — jahutaja, kus läbitöötanud aur soojendab vett, mida kasutatakse hoonete kütmiseks ja muudeks vajadusteks.



Igor Vassiljevitš Kurtšatov (1903—1960) — väljapaistev nõukogude füüsik. Tema ja ta kaastöölised tegid rea tähtsaid avastusi tuumafüüsikas.

Novo-Voroneži ja I. V. Kurtšatovi nimeline Belojarski elektrijaam.

Aatomienergiat kasutatakse ka transpordis. 12. septembril 1959. a. lõpetati maailma esimese aatomijäälõhkuja «Lenin» ehitamine (veeväljasurve on 16 000 T, kiirus jäävabas vees 33,5 km/h, võimsus 32 400 kW ning uraan-235 ööpäevane kulu täisvõimsusega töötamisel 200 g). Praegu murrab jäälõhkuja Arktikas edukalt teed laevakaravanidele.

Tuumaenergiat kasutatakse teaduses, tööstuses, põllumajanduses.

Meditsiinis kasutatakse radioaktiivseid elemente diagnostikas ning mõnede haiguste ravimisel. Tööstuses aitavad radioaktiivsed isotoobid avastada defekte esemete sisemuses, kontrollida tehnoloogilisi protsesse jne.

Mineraalväetistega segatud radioaktiivsete isotoopide abil saab jälgida mitmesuguste ainete mõju taimede kasvule.

Harjutus 51.

1. Kui suured on süsiniku, hapniku ja naatriumi aatomituumade laengud, kui nendes aatomites on neutraalolukorras vastavalt 6, 8 ja 11 elektroni?
2. Mitu elektroni on raadiumi aatomis, kui aatomituuma laeng on $88 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C?
3. Mitu prootonit ja neutronit on strontsiumi aatomi tuumas? Strontsiumi aatomkaal on 90 ning järjekorranumber Mendelejevi perioodilisuse süsteemis 38.

VASTUSEID.

Harj. 2. **3.** 1885 kG $\approx$ 18 850 N.

Harj. 3. **6.** $\approx 2600 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. **7.** $\approx$5600 kG.

Harj. 4. **2.** $\approx 21{,}6 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$. **3.** $\approx 15 \cdot 10^9$ kg. **4.** 350 km. **5.** 0,8 m^3.

Harj. 5. **2.** $\approx 11{,}6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\approx 44{,}4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **3.** $\approx 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $\approx 650 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $28\,800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. **4.** 3 min. 20 s. **5.** $45{,}6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. **6.** 29,4 km; $\approx 5{,}9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. **7.** $4{,}5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. **8.** $\approx 1130 \frac{\text{p}}{\text{min}}$. **9.** $\approx 36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Harj. 7. **4.** 0,003. **5.** 0,14. **6.** 12 kG. **7.** 21 kG.

Harj. 8. **1.** 25 kG; 10 kG; reaktsioon 25 kG. **3.** 5520 Nm; 5760 Nm.

Harj. 9. **3.** 43,2 kGm. **4.** $\approx$4 m. **5.** 2700 kW. **6.** 1,2 kW. **7.** $\approx$6600 kG. **8.** 240 $\frac{\text{m}}{\text{min}}$.

Harj. 10. **5.** 8 kG.

Harj. 11. **2.** 2400 J. **3.** 1,5 m. **4.** 6 kJ; 0,75. **5.** 3300 J.

Harj. 12. **3.** 20 N. **4.** 2500 N; 750 000 J. **5.** 0,6. **6.** 90 kG.

Harj. 13. **5.** 50 hammast.

Harj. 14. **4.** 100 000 kGm. **5.** 0,8 m.

Harj. 16. **2.** 50 000 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; 200 N. **3.** 100 kG. **4.** 18 000 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **6.** $\approx 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **7.** $\approx 39 \cdot 10^5$ N.

Harj. 17. **1.** 0,99 at. **2.** $\approx$735 mm. **3.** 11,2 m. **5.** $\approx$25 000 N. **6.** kuni 3 l. **9.** 15 000 N. **10.** 96 000 N.

Harj. 18. **8.** 18 000 N. **9.** $24 \cdot 10^9$ N. **10.** 5000 t; $\approx$83 cm.

Harj. 19. **5.** $\approx$4 km. **6.** 580 m.

Harj. 22. **4.** 400 kcal; $168 \cdot 10^4$ J. **5.** $\approx$0,23 kg. **7.** 86 000 J. **9.** 163 kcal; $\approx$685 000 J. **10.** $\approx$0,8 kg. **11.** 300°. **12.** $\approx$45%. **13.** $\approx$55 kg.

Harj. 23. **7.** 400 kcal; $168 \cdot 10^4$ J. **8.** 6400 kcal. **9.** $\approx$5370 kJ. **10.** $\approx$0,1 kg. **11.** $\approx$13 kJ; $\approx$30 kcal.

Harj. 25. **3.** $\approx$1550 kcal; $\approx 6{,}5 \cdot 10^9$ J. **5.** 46,2 kcal. **6.** 72 kcal. **7.** 150 g. **10.** 88 kW.

Harj. 27. **4.** $31{,}25 \cdot 10^{15}$; $125 \cdot 10^{19}$. **5.** 11,18 g.

Harj. 28. **1.** $1{,}875 \cdot 10^{18}$; $6{,}25 \cdot 10^{15}$. **2.** $\approx$2,1 A. **3.** $\approx$2,3 g. **4.** $\approx 5 \cdot 10^5$ C.

Harj. 29. **1.** 0,25Ω; $\approx$0,6Ω. **3.** 500 m. **4.** $\approx 12{,}7$ mm^2. **8.** $\approx$1,5 mm^2.

Harj. 30. **2.** 93 V. **4.** Keskel; 55 V. **6.** Väheneb.

Harj. 31. **1.** 0,08 A; 0,4 A; 0,6 A. **2.** 0,3 A; 0,05 A. **3.** $\approx$1 V. **4.** 15 000 Ω. **5.** 0,2 V. **6.** Ei. **7.** Kuni 3 A; kuni 50 V. **10.** Võib. **11.** $\approx$11,3 m.

Harj. 32. **1.** 0,16 A; 4,8 V. **2.** 600 V. **3.** 10 Ω. **4.** $\approx$0,4 A. **5.** 14 980 Ω. **6.** 50—60 Ω.

Harj. 33. **1.** 0,1 A; 4,5 V; 4,5 Ω. **2.** 2,5 A. **3.** $\frac{5}{37} \cdot \frac{1}{\Omega}$. **5.** Kui põlevad kõik lambid $I = 1{,}33$ A; $I_l = 0{,}83$ A. **6.** 0,2 Ω. **7.** $\approx$27 cm.

Harj. 34. **1.** 38,5 kW. **2.** 0,3 A. **4.** 180 W. **5.** $\approx$51%. **6.** $\approx$0,7 kWh. **7.** $\approx$4 kop. **8.** 41 kWh; 1 rbl. 64 kop. **9.** 1,8 kop. **10.** $\approx$44%.

Harj. 35. **2.** $\approx$3,6 A; $\approx$61 Ω; $96 \cdot 10^{14}$ J. **3.** $\approx$22 min. **4.** $\approx$27 min. **5.** 914 000 J. **6.** $\approx$11%.

Harj. 45. **2.** $\approx$49 750 Hz. **3.** $\approx$0,001 cm.

Harj. 46. **3.** 15 m. **4.** $\approx$3 min.

Harj. 49. **4.** 27 cm.

REGISTER

Aatom 78, 79, 331
aatomienergia 335
— kasutamine 336—338
aatomielektrijaam 178, 337—338
aatomijäälõhkuja «Lenin» 4, 338
aatomituum 331—332, 334—335
ahelreaktsioon 335—336
aine 3, 79
ajam 68
akumulaator 199—201
alalisvoolugeneraator 283—284
— mootor 271—274
alfakiired 333
allveelaev 114—115
altimeeter 99
amorfne keha 155
amper 204
Ampère, A. 204, 205
ampermeeter 205—206
amplituud 117
aneroidbaromeeter 98
areomeeter 113
Arhimedes 110, 111
— seadus 110
aurumasin 172
aurustumine 154—161
— seadused 161—162
aurustumissoojus 166
auruturbiin 177

Baromeeter 98
Becquerel, A. 332
beetakiired 333
Benardos, N. 248
Boyle, R. 100
Boyle'i-Mariotte'i seadus 100
briis 141
Browni liikumine 80, 129
bürett 11

Celsius, A. 130
— temperatuuriskaala 130
Curie (Sklodovska), M. 333
Curie, P. 333

Deformatsiooni liigid 84—85
detektorvastuvõtja 299—300
deuteerium 335
difusioon 80, 129
Diesel, R. 176
diiselmootor 173, 176
diood 299
dioptria 322
domeen 257—258
džaul 56, 145, 232
dünamomeeter 18

Edisson, T. 242
elastsus 82
elastsuspiir 84
elekter 186
elektrienergia arvesti 234—235
elektrifitseerimine 292—294
elektrihulk 203
elektrijootekolb 241
elektrikaar 247—248
elektrikeevitus 247—248
elektrilaeng 187, 188, 193
elektrilamp 242—243
elektriline pinge 216
elektrimahtuvus 295
elektrimontaaž 245
elektrimootor 271—274
elektripliit 240
elektriseerimine hõõrumisega 187, 192
— mõju abil 193—195
— looduses ja tehnikas 196—197
elektrisoojendusriistad 240—243
elektritriikraud 240
elektrivool 198
elektrivoolu ring 201—202
— toimed 202, 203, 236—238, 248—251
— tugevus 204
— töö 232
— võimsus 232
elektriväli 188—189, 216
elektrofoormasin 195
elektromagnet 259—261

elektromagnetiline induktsioon 276—278
— laine 294, 298, 304
— — vastuvõtt 299
— relee 264—265
— väli 298
elektromeeter 190
elektron 192, 203, 331
elektroskoop 190
energia 72—76, 151—153
energia jäävuse ja muundumise seadus 75—76, 151—153
erikaal 26
erisoojus 146
eritakistus 210

Faraday, M. 257—276
— katse 276
fookus, 321—322
fookuskaugus 322
fotoaparaat 325
fotoelement 198
Franklin, B. 196
Fulton, R. 172
füüsika 3
füüsikaline atmosfäär 97
— keha 3
— nähtus 4
— teooria 5

Gaasiturbiin 179—181
Gagarin, J. 184, 185
Galilei, G. 35
galvaanielement 198
Galvani, L. 198
gammakiired 333
Gapon, J. 334
generaator 198
gravitatsioonijõud 17

Hammasülekanne 69—70
Helmholtz, H. 152
herts 117
Hertz, H. 117
hobujõud 57
horisontaalsiht 16
hõõrdejõud 37, 39, 40
hõõrdumine 37, 39—40
hääl 119—124
hääleallikad 119
hääle levimine 118
— levimiskiirus 121
— peegeldumine 121—122
— resonants 118
— reverberatsioon 122
— tekkimine 118
— tooni kõrgus 119
— tugevus 120
— tämber 122
— valjus 121
hääle üleskirjutamine ja reprodutseerimine 123
hüdrauliline masin 103
— press 103—104
— tungraud 105
— tõstuk 105
hüdrojaam 107
hüdroelektrijaam 292—294
hüdrolokaator 122

Induktsioonvool 276
inerts 35—37
infrapunased kiired 331
ioniseerimine 332
ioon 332
isolaator 189—190, 192
isotoop 335
Ivanenko, D. 334

Jablotškov, P. 287
jahutussüsteem 141
Jakobi, B. 273, 274
Jaffe, A. 210, 211
joonkiirus 33, 34
Joule, J. 56, 152, 237
Joule'i-Lenzi seadus 237
juhi takistus 208—209
— eritakistus 210
juhid 189—190, 192
juhtide järjestikune ühendus 203, 224—226
— paralleelne ühendus 227—229
juhtivuselektronid 192
jõud 14—15
jõudude liitmine 44—47
jõukilogramm 17
jõumoment 48, 71
jõu õlg 47

Kaal 15
kaalud 13—14
kaalumise reeglid 14
kaja 121—122
kaldpind 66
kalor 144—145
kalorimeeter 148
kandejõud 112
kang 59—61
kaugkaalud 13—14
karburaator 173
karburaatormootor 173
kasulik töö 65
kasutegur 60, 150
katse 4
kaugelenägevus 372
keemine 154, 163—164
— kõrge rõhu all 165—166
— madala rõhu all 165
keemistemperatuur 164

kehade vastastikune mõju 42
Kelvin, W. 131
— temperatuuriskaala 131
keskmine kiirus 32—33
kiirgus 139—140
kiirus 29—30
— antud punktis 32
kilogramm 13
kilogramm-meeter 56
kilovatt-tund 232—233
kineetiline energia 73
kinoaparaat 326
kolbmasin 171, 172—176
kolbpump 101
kollektor 272
kolmefaasiline vool 282
kompressor 103
kondensaator 294, 295
kondenseerumine 154, 162
kontaktkeevitus 247—248
kontaktor 265
konvertsioon 138—139
koormus 82
kosmiline kiirus (esimene) 184
kosmose alistamine 125, 183—185
kraad 130
kriitiline mass 336
kristallid 154
kristalliseerumistemperatuur 146
kruvikaliiber 8
kujutis peeglites 315—317
— väikese ava abil kulgev liikumine 28—29
kulon 203
kumerpeegel 313
kunstlikud Maa kaaslased 17, 183—185
kuuvarjutus 306—307
kõrgsagedusgeneraator 297
kõvadus 85
kütteelement 240
küttevääртus 149

Laeva süvis 114
laktomeeter 114
Lazarenko, B. 197
Lazarenko, N. 197
Lebedev, P. 304
Lenz, E. 237
liikumine ja paigalseis 28
liikumise esimene seadus 35—36
liikumise suhtelisus 28
liiter 11
liivaprits 107
liugehõõrde tegur 39
liugehõõrdumine 37—41
liugreostaat 213—214
Lodõgin, A. 242, 243
Lomonossov, M. 76, 78, 79, 152, 196
lood 16
luminestsentslamp 303
luup 324
lääts 321
— optiline tugevus 322
— (koondav) 321
— (hajutav) 322—323
lühinägevus 327
lühiühendus 243—244
lüüs 93

Maa magnetväli 254
magnetid 251—252
magnetiline anomaalia 254
magnetismi olemus 257—258
magnetnõel 252
magnetvoog 277
magnetväli 252—253
— jõujooned 253
maksimumtermomeeter 131
manomeeter 100
Mariotte, E. 100
mass 12—13
massikilogramm 13
mateeria 188, 252, 304
Mayer, R. 152
meditsiiniline termomeeter 131
meeter 6
mehhaanika põhiseadus 42
mehhaaniline liikumine 28
Mendelejev, D. 332
mensuur 11
metalli väsimus 155
metalimanomeeter 100
mikrofon 267—268
molekulid 79
— liikumine 79—80
— mõõtmed 79
— vahelised kaugused 81
molekulaarjõud 81—82
molekulaar-kineetiline teooria 78, 157
momentide lause 49
monokristall 154
muhvelahi 240—241
mõõtejoonlaud 6
mõõteriista skaala jaotise väärtus 10
mõõtmine 5
mõõtmise täpsus 9—10
mõõtühikud:
— elektrihulga 203
— energia 72, 144—145
— erikaalu 27
— juhi takistuse 208—209
— jõu 17
— kiiruse 30
— läätse optilise tugevuse 322
— massi 13
— pikkuse 6
— pinge 216

— ruumala 11
— rõhu 21, 97
— sageduse 117
— soojushulga 144—145
— temperatuuri 130, 131
— tiheduse 25
— töö 56
— voolu tugevuse 204
— võimsuse 57
— võnkesageduse 117

Neutron 192, 334
Newton, I. 16—17, 35, 42
nihkedeformatsioon 85
nihkkaliiber 7
Nikolajeva-Tereškova, V. 184, 185
njuuton 17
noonius 7
normaalrõhk 97
nõguspeegel 313

Ohm, G. 208, 221
— seadus 221
oom 208
oommeeter 222, 230
optiline keskpunkt 313, 321
— peatelg 313, 321
— tihedus 308—309
optilised riistad 324—328

Paindedeformatsioon 85
parema käe reegel 277
nägemise kaugus 327
Pascal, B. 87, 88
— seadus 87
Paton, E. 248
Petrov, V. 247—248
pinge, mehhaaniline 84
— elektriline 216
piksekaitse 196
plastilisus 83
plokk 62—64
— liikumatu 62
— liikuv 62
— liit 64
pneumaatiline padrun 107
— pidur 107
— transport 108
polarisatsioon 199
polükristalliline keha 154—155
polüspast 64
Polzunov, I. 172
pontoon 114, 332
pontoonsild 114
pooljuht 210
Popov, A. 301
potentsiaalne energia 74
potentsiomeeter 218
projektsiooniaparaat 325
prooton 192, 334
punktikujuline valgusallikas 304
purskkaev 94
pöörlemisteljega keha tasakaal 49
pöörlemiskiirus 33—34
pöörlev liikumine 33
päikesevarjutus 305
püsivus 54
püssirohurakett 181—182
püstlood 16

Raadiovastuvõtja 299—300
radioaktiivsus 332—334
rahvusvaheline mõõtühikute süsteem 5—6, 11, 12, 17, 21, 25, 27, 30, 56, 57, 131
rakett 181—182
raskusjõud 15—16
raskuskese 50
reaktiivliikumine 42
reaktiivmootor 42, 43, 171, 181—183
reflektor 314
relee 135
reostaat 213
resonants 118
resultantjõud 44—46
reverberatsioon 122
Richman, G. 196
rihmülekanne 68—69
Rutherford, E. 331
rõhk 21
— anuma põhjale ja seintele 89—90
— vedeliku sees 91—92
rõhumisjõud 21
Römer, O. 307

Sfääriline peegel 313—314
SI-süsteem 5—6, 11, 12, 17, 21, 25, 27, 30, 56, 57, 131
silm 326—328
sirgjooneline liikumine 31
siseenergia 136
— muutumine 143, 144
sisepõlemismootor 173—176
skaala jaotuse väärtus 10
Sklodovska-Curie, M. 333
Slavjanov, N. 248
sondpall 115
soojus 125
soojuselektrijaam 178—179, 292—294
soojushulk 143—144
soojusjuhtivus 137
soojusliku tasakaalu võrrand 148, 151
soojusmasin 125, 169
soojuspaisumine 125—128
— arvestamine tehnikas 132—135

soojusseade 170
— pideva töötamise tingimus 170
soojusvahetus 137
spekter 329
spidomeeter 31, 32
Stephenson, G. 172
sulamid 150
— sulamistemperatuur 160
sulamine 154, 155—157
sulamistemperatuur 155
sulamissoojus 158
sulavkaitsmed 244—245
suruõhuvasar 107
survedeformatsioon 84
süvis 114

Tahhomeeter 34
tahkestumine 154
takistus 208—209
tasakaal 50—54
tasapeegel 311—312
tehniline atmosfäär 21, 97
telefon 267—268
telefoniside 267
telegraaf 263—264
telemehhaaniline seade 266
temperatuur 129
— mõõtmine 131
termomeeter 129
termoelektriline generaator 198
termorelee 134
termos 142
tiguülekanne 71
tihedus 25
Torricelli, E. 96
— katse 96—97
trajektoor 28
transformaator 284—287
triitium 335
Tsiolkovski, K. 183, 184
Tšerepanovid 172
tugevus 85
turbiin 171, 177—181
turboreaktiivmootor 182—183
tuuleenergia 77
tuumareaktor 336
tämber 122
töö 55, 56, 72, 143
töötav keha 169

Ujumise tingimus 111—112
ultraheli 121, 122
ultravioletsed kiired 331
Ussagin, I. 287

Vaakuummeeter 100
vaatlus 4
vabad elektronid 192
vahelduvvool 270
— periood 280
— sagedus 280
— generaator 280
— — kolmefaasiline 281—282
valguse kiirus 307—308
— levimine 304—305
valguse liitkoosseis 329
— murdumise seadused 318—319
— murdumine prismas 320—321
— — tasaparalleelses plaadis 319—320
— nähtamatud kiired 331
— olemus 304
— peegeldumise seadused 309—311
valgusallikas 303
valguskiir 304—305
— pööratavus 311, 316, 319
valjuhääldaja 275
vari ja poolvari 305
vasaku käe reegel 269
vatt 57, 232
vatt'meeter 233
vatt-tund 232—233
vedelikmanomeeter 100
veeldumine 162
veerehõõrdumine 37, 41
veeväljasurve 114
veevärk 94, 96
veojõud 56
vertikaalsiht 16
vesikeskküte 140—141
vesilood 16
volt 216
Volta, A. 198, 200
— element 199
voltmeeter 216—218
voolavus 87
vooluallikas 198
vooluga juhi magnetväli 255
— pooli magnetväli 255—256
vooluring 201—202
— skeem 201
võimsus 57
võnkeamplituud 117
— periood 117
— sagedus 117
võnkering 294—297
võnkumine 116—118
võnkumise omasagedus 117
väntreostaat 214—215
väändedeformatsioon 85

Watt, J. 57, 172

Õhupall 115
õhurõhk 96, 99
õhutihenduspump 102

Aike 196

Ühendatud anumad 92
— — seadus 92—93
ühtlane ja mitteühtlane liikumine 29
— liikumine 29
— — kiirus 29—30
— — võrrand 31
ühtne energiasüsteem 293
ülekandemehhanismid 58—59
ülemaailmne gravitatsiooniseadus 17
üleslükkejõud 109

SISUKORD

I peatükk. **Algteadmisi füüsikalistest nähtustest ja suurustest.** 3
§ 1. Füüsika aine 5
§ 2. Mõõtmise osast füüsikas ja tehnikas 5
§ 3. Pikkuse mõõtmine 9
§ 4. Mõõtmise täpsus 11
§ 5. Ruumala mõõtmine 12
§ 6. Massi mõiste 14
§ 7. Jõu mõiste 15
§ 8. Raskusjõud. Ülemaailmse gravitatsiooni mõiste 17
§ 9. Jõu mõõtmine 18
§ 10. Jõudude graafiline kujutamine 21
§ 11. Rõhumisjõud ja rõhk 22
§ 12. Tahketele kehadele avaldatava rõhu edasiandmine 25
§ 13. Aine tihedus 26
§ 14. Laboratoorne töö nr. 1. Tahke keha ja vedeliku tiheduse määramine. 26
§ 15. Erikaal 26

ALGTEADMISI MEHHAANIKAST

II peatükk. **Mehhaaniline liikumine ja jõud.** 28
§ 16. Mehhaanilise liikumise mõiste 28
§ 17. Kehade kulgev ja pöörlev liikumine. 29
§ 18. Ühtlane liikumine ja muutuv liikumine 29
§ 19. Ühtlase liikumise kiirus 31
§ 20. Ühtlase sirgjoonelise liikumise tingimus 32
§ 21. Mitteühtlase liikumise kiirus antud punktis ja keskmine kiirus . . 33
§ 22. Pöörleva liikumise kiirus 35
§ 23. Inerts 37
§ 24. Hõõrdejõud 38
§ 25. Liugehõõrdumise tegur 39
§ 26. Hõõrdumise tähtsus tehnikas ja igapäevases elus 42
§ 27. Kehade vastastikune mõju 44

III peatükk. **Jõudude liitmine. Kehade tasakaal.**

§ 28. Mööda ühte sirget mõjuvate jõudude liitmine 47
§ 29. Jõumoment. Pöörlemisteljega keha tasakaal 50
§ 30. Raskuskese 51
§ 31. Tasakaalu liigid. Püsivus 55

IV peatükk. **Töö. Võimsus. Lihtmehhanismid.**

§ 32. Mehhaanilise töö mõiste 56
§ 33. Töö suuruse arvutamine. Töö mõõtühikud 347

§ 34. Võimsus. Võimsuse mõõtühikud 57
§ 35. Kangid ja nende kasutamine tehnikas ning igapäevases elus . . . 58
§ 36. Plokid 62
§ 37. Mehhanismide ja masinate kasutegur 65
§ 38. Kaldpind 66
§ 39. Laboratoorne töö nr. 3. Kaldpinna kasuteguri määramine . . . 68
§ 40. Mehhanismid pöörleva liikumise edasiandmiseks ja muundamiseks . 68

V peatükk. **Mehhaaniline energia.**

§ 41. Energia mõiste 72
§ 42. Kineetiline ja potentsiaalne energia 73
§ 43. Energia muundumine mehhaanilistes protsessides 74
§ 44. Vee- ja tuuleenergia kasutamine 76

VI peatükk. **Tahke keha mehhaanilised omadused.**

§ 45. Aine molekulaarne ehitus 78
§ 46. Molekulide liikumine 79
§ 47. Molekulidevahelised kaugused 81
§ 48. Molekulaarjõud 81
§ 49. Tahkete kehade elastsus ja plastilisus 82
§ 50. Elastsete deformatsioonide liigid 84
§ 51. Tugevus ja kõvadus 86

VII peatükk. **Vedelike ja gaaside omadused.**

§ 52. Rõhu edasiandmine vedelikus ja gaasides 87
§ 53. Vedelike kaalust tingitud rõhk anuma põhjale ja seintele . . . 88
§ 54. Vedeliku kaalust tingitud rõhk vedeliku sees 91
§ 55. Ühendatud anumate seadus ja selle rakendamine 92
§ 56. Õhurõhk 96
§ 57. Baromeetrid 98
§ 58. Gaasi rõhk kinnistes anumates ja selle mõõtmine 99
§ 59. Kolbpumbad 101
§ 60. Hüdraulilised masinad 103
§ 61. Pneumaatilised seadmed 107
§ 62. Vedelike ja gaaside mõju neisse asetatud kehadele. Arhimedese seadus 109
§ 63. Vedelikku või gaasi asetatud kehade ujumise tingimus 111
§ 64. Näiteid kehade ujumise tingimuse arvestamise ja kasutamise kohta 113

VIII peatükk. **Häälenähtused.**

§ 65. Võnkliikumise mõiste 116
§ 66. Hääle tekkimine 119
§ 67. Hääle iseloomustamine 119
§ 68. Hääle levimine homogeenses keskkonnas 121
§ 69. Hääle resonants 122
§ 70. Hääle üleskirjutamine ja reprodutseerimine 123

SOOJUS.

IX peatükk. **Algteadmisi soojusest.**

§ 71. Soojusnähtused looduses ja tehnikas 125
§ 72. Keha mõõtmete muutumine soojenemisel ja jahtumisel 125
§ 73. Temperatuuri mõiste 129

§ 74. Soojuspaisumise arvestamine ja kasutamine 132
§ 75. Keha siseenergia mõiste 136
§ 76. Siseenergia ülekanne 137
§ 77. Soojusvahetuse arvestamine ja kasutamine 140

X peatükk. **Töö ja soojus.**

§ 78. Kehade siseenergia muutumine töö ja soojusvahetuse tulemusena . 143
§ 79. Siseenergia muutuse mõõtmine 144
§ 80. Aine erisoojus 145
§ 81. Soojusvahetuse protsessis toimuva siseenergia muutumise arvestamine 147
§ 82. Aine erisoojuse katseline määramine 148
§ 83. Laboratoorne töö nr. 5. Sooja ja külma vee segamisel saadud ja antud siseenergia hulkade võrdlemine 149
§ 84. Kütuse kütteväärtus. Soojendaja kasutegur 149
§ 85. Laboratoorne töö nr. 6. Piirituslambi kasuteguri määramine . . . 151
§ 86. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides 151

XI peatükk. **Aine agregaatoleku muutumine soojendamisel ja jahutamisel.**

§ 87. Kristallilised ja amorfsed ained 154
§ 88. Sulamine ja kristalliseerumine 155
§ 89. Laboratoorne töö nr. 7. Kristallilise aine tahkestumise uurimine . . 157
§ 90. Sulamissoojus 158
§ 91. Kehade ruumala muutumine sulamisel ja kristalliseerumisel . . . 159
§ 92. Sulamid ja nende kasutamine tehnikas 160
§ 93. Aurustumine ja kondenseerumine 161
§ 94. Keemine 163
§ 95. Laboratoorne töö nr. 8. Vee soojenemise ja keemise vaatlemine . . 164
§ 96. Keemistemperatuuri sõltuvus rõhust 165
§ 97. Aurustumissoojus 166

XII peatükk. **Soojusmasinad.**

§ 98. Soojusmasinate tööks vajalikud tingimused 169
§ 99. Aurumasin 172
§ 100. Sisepõlemismootor 173
§ 101. Auruturbiin 177
§ 102. Gaasiturbiin 179
§ 103. Rakett. Vedelkütuse-reaktiivmootorid 181
§ 104. Turboreaktiivmootorid 182
§ 105. Kosmose alistamine 183

ELEKTER.

XIII peatükk. **Üldisi teadmisi elektrist.**

§ 106. Kehade elektriseerimine. Elektriseeritud kehade vastastikune mõju 186
§ 107. Elektrivälja mõiste 188
§ 108. Juhid ja isolaatorid 189
§ 109. Kehade elektriseerimise selgitamine 191
§ 110. Elektriseerimine mõju abil 193
§ 111. Elektriseerimine looduses ja tehnikas 195

XIV peatükk. **Elektrivool. Voolu toimed.**

§ 112. Elektrivoolu mõiste 198
§ 113. Galvaanielemendid ja akumulaatorid 198
§ 114. Vooluring ja selle osad 201

§ 115. Laboratoorne töö nr. 9. Vooluringi koostamine ja voolu toimete vaatlemine 202
§ 116. Elektrihulga ühik 203

XV peatükk. **Voolu tugevus, takistus, pinge.**

§ 117. Voolu tugevus 204
§ 118. Laboratoorne töö nr. 10. Voolu tugevuse mõõtmine vooluringi mitmesugustes osades 207
§ 119. Juhtide takistus 208
§ 120. Näiteid juhtide takistuse arvutamisest 210
§ 121. Reostaadid 213
§ 122. Pinge 216
§ 123. Laboratoorne töö nr. 11. Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel 218
§ 124. Ohmi seadus vooluringi osa kohta 219
§ 125. Näiteid voolu tugevuse, pinge ja takistuse arvutamiseks . . . 222
§ 126. Juhtide järjestikune ühendamine 224
§ 127. Juhtide paralleelne ühendamine 227
§ 128. Laboratoorne töö nr. 13. Juhtide paralleelse ühenduse tundmaõppimine 229
§ 129. Laboratoorne töö nr. 14. Lihtsa oommeetri valmistamine . . . 230

XVI peatükk. **Elektrivoolu töö ja võimsus.**

§ 130. Elektrivoolu töö ja võimsus 232
§ 131. Laboratoorne töö nr. 15. Elektrilambi poolt tarbitava voolu võimsuse ja hõõgniidi takistuse määramine 232
§ 132. Elektrivoolu töö (elektrienergia) mõõtmine arvesti abil 233
§ 133. Elektrivoolu soojuslik toime. Joule'i-Lenzi seadus 236
§ 134. Näiteid juhti läbiva voolu poolt eraldatava soojushulga arvutamiseks 238
§ 135. Laboratoorne töö nr. 16. Elektripliidi kasuteguri määramine . . 239
§ 136. Elektrisoojendusriistad. Elektrihõõglambid 240
§ 137. Lühiühendus. Sulavkaitsmed 243
§ 138. Laboratoorne töö nr. 17. Valgustusarmatuuriga tutvumine. Lihtne elektrimontaaž 245
§ 139. Kontaktkeevituse mõiste 247

XVII peatükk. **Elektromagnetilised nähtused.**

§ 140. Elektrivoolu magnetiline toime 248
§ 141. Magnetid 251
§ 142. Magnetväli 252
§ 143. Maa magnetväli 254
§ 144. Sirgvoolu ja vooluga pooli magnetväli 255
§ 145. Magnetismi elektriline olemus 257
§ 146. Elektromagnet 259
§ 147. Laboratoorne töö nr. 18. Elektromagneti kokkupanek ning tema tööga tutvumine 261
§ 148. Elektromagnetiline telegraaf 263
§ 149. Elektromagnetiline relee 264
§ 150. Laboratoorne töö nr. 19. Elektromagnetilise relee koostamine ja katsetamine 266
§ 151. Mikrofoni ja telefoni ehitus ning töötamine 267
§ 152. Magnetvälja mõju vooluga juhile 269
§ 153. Alalisvoolumootor 271
§ 154. Alalisvoolumootorite kasutamine 273

§ 155. Laboratoorne töö nr. 20. Elektrimootori mudeli monteerimine ja vooluringi lülitamine 274
§ 156. Elektrodünaamiline valjuhääldaja 275

XVIII peatükk. **Elektrienergia tootmine, edasiandmine ja kasutamine.**

§ 157. Elektromagnetiline induktsioon 276
§ 158. Vahelduvvoolugeneraatori ehitus ja töötamine 278
§ 159. Alalisvoolugeneraator 283
§ 160. Transformaator 284
§ 161. Elektrienergia ülekandmine suurtele kaugustele 287
§ 162. Elektrienergia kasutamine rahvamajanduses 290
§ 163. NSV Liidu elektrifitseerimine 292

XIX peatükk. **Algteadmisi raadiovastuvõtust.**

§ 164. Vahelduvvoolu tekkimine võnkeringis 294
§ 165. Elektrienergia ülekandmine elektromagnetiliste lainetena . . . 296
§ 166. Elektromagnetiliste lainete vastuvõtmine 299
§ 167. Pooljuhtdioodiga raadiovastuvõtja 299
§ 168. Laboratoorne töö nr 21. Detektorvastuvõtja monteerimine ning raadiosaate vastuvõtmine 301
§ 169. A. S. Popov — raadio leiutaja 301

VALGUSNÄHTUSED.

XX peatükk. **Valguse levimine homogeenses keskkonnas.**

§ 170. Valgusallikad 303
§ 171. Valguse olemus 304
§ 172. Valguse sirgjooneline levimine 304
§ 173. Valguse kiirus 307

XXI peatükk. **Valgusnähtused kahe keskkonna piiril.**

§ 174. Valguse peegeldumine 309
§ 175. Kujutis tasapeeglis 311
§ 176. Laboratoorne töö nr. 22. Tasapeeglilt toimuva peegeldumise uurimine 312
§ 177. Sfääriline peegel 313
§ 178. Sfääriliste peeglitega saadud kujutised 315
§ 179. Kujutise konstrueerimine nõguspeeglis 316
§ 180. Valguse murdumine 318
§ 181. Valguse läbiminek tasaparalleelsest plaadist 319
§ 182. Valguskiire käik kolmetahulises prismas 320
§ 183. Läätsed 321
§ 184. Laboratoorne töö nr. 25. Kujutise saamine läätse abil 323
§ 185. Optilised riistad 324
§ 186. Silm 326
§ 187. Valge valguse lahutamine värvilisteks. Kehade värvus 329
§ 188. Nähtamatud kiired 331

XX peatükk. **Algteadmisi aatomi ehitusest.**

§ 189. Elektronkate ja aatomituum 331
§ 190. Radioaktiivsus 332
§ 191. Aatomituuma koostis 334
§ 192. Ahelreaktsiooni mõiste 335
§ 193. Aatomienergia rahuotstarbeline kasutamine 336
Vastused 339
Register 341

Ченобытов Анатолий Михайлович
Савелова Евгения Васильевна
Скрелин Лев Иванович
ФИЗИКА ДЛЯ VII—VIII КЛАССОВ ШКОЛ РАБОЧЕЙ МОЛОДЁЖИ
На эстонском языке
Обложка Р. Пангсепп
Издательство «Ээсти Раамат»
Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma

Kunstiline toimetaja H. Keigo

Tehniline toimetaja A. Odamus

Korrektorid M. Sepp ja L. Kukk

Ladumisele antud 3. V 1965. Trükkimisele antud 12. VI 1965. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 22. Arvestuspoognaid 22,06. Trükiarv 12 000. Tell. nr. 3971.
Tr. «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2.

6—6

52 kop.

TÜ RAAMATUKOGU
10300015308044

A-26795

52 kop.

52 kop.

A-26795

FÜÜSIKA

TÖÖLISNOORTE KOOLIDELE

VII–VIII KL.

FÜÜSIKA I