

A. I. BATŠINSKI  
S. M. ILJAŠENKO

# **Tehniline füüsika**

**KÄSIRAAMAT TÖÖSTUS- JA RAUDTEEKOOLIDELE**

**I OSA**

RK „PEDAGOOGI-  
LINE KIRJANDUS“  
TALLINN • 1946

Dupliim  
TÖÖJÕUDUDE RESERVIDE PEAVALITSUS  
NSV LIIDU MINISTRITE NÕUKOGU JUURES

---

A. I. BATŠINSKI JA S. M. ILJAŠENKO

# TEHNILINE FÜÜSIKA

KÄSIRAAMAT TÖÖSTUS- JA RAUDTEEKOOLIDELE

I OSA

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“ · TALLINN · 1946



12298  
A: 16172 ✓

## Esimene peatükk.

### SISSEJUHATUS.

**§ 1. Füüsilised kehad. Aine.** Kõik esemed, millest koosneb meid ümbritsev loodus, on füüsilised kehad. Päike ja Maa, pilved ja meri, lennukid ja autod, tööpingid ja masinad, need kõik on füüsilised kehad. Ollust, millest koosnevad füüsilised kehad, nimetatakse aineks. Teras ja alumiinium, savi ja liiv, vesi ja õhk, süsi ja nafta on mitmesugused ained.

Looduses on kõik alalises liikumises: Maa pöörleb ümber oma telje, ringeldes samaaegselt ümber Päikese; toitelahused liiguvad taimedes; veri liigub meie kehas; tuul puhub; merepinnal voogavad lained; kihutavad valguskiired ja raadio-signaalid; kütteaine põleb; peaaegu vilksatavad mõtted, — igal pool on kas nähtav või nähtamatu liikumine.

**§ 2. Füüsikalised ja keemilised nähtused.** Kõike, mis toimub meid ümbritsevas looduses, nimetatakse nähtusteks.

Tuul, äike, lainete liikumine ookeani pinnal, kuuli lend, masina töötamine, elektrilambi hõõgumine, kütteaine põlemine, — need kõik on mitmesugused nähtused.

Nähtused võivad olla füüsikalised või keemilised.

Vaatleme näidete varal füüsikaliste ja keemiliste nähtuste vahet.

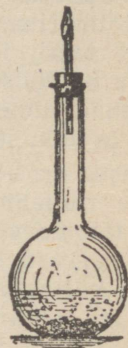
Keerame lüliti, mis ühendab elektrilampi võrguga. Elektrivool hakkab läbima lampi. Lambi hõõgniit kuumeneb ja hakkab kiirgama. Asetame käe lambi lähedusse. Me tunneme, et lamp on läinud kuumaks. Lülitame voolu välja. Niihästi lamp kui ka juhtmed jäävad selleks, mis nad olid enne.

Valame veidi vett katseklaasi ja soojendame gaasileegil (joon. 1). Mõne aja möödudes hakkab vesi keema; keev vesi muutub auruks; osa auru paiskub katseklaasist välja ning hajub õhus, teine osa sadestub väikeste veetilgakestena katseklaasi külmadel seintel. Keetmisel saame veeauru, mis omakorda muutub jälle veeks.

Asetame kolbi veidi tsingipuru, valame hapet peale ja suleme korgiga, mida läbib kitsas toru (joon. 2). Vedelik hakkab pulbitsema: eraldub gaasi. Seda gaasi nimetatakse vesinikuks. Ootame vähe aega, kuni kolb on täitunud gaasiga, ja toome siis toru avausele põleva tiku. Torust väljuv vesinik hakkab põlema helesinise leegiga. Mõne aja pärast tsink lahustub happes ning kaob. Tsingi ja happe asemele saame läbi- paistva lahuse ja gaasitaolise vesiniku. Vesiniku põlemisel tekib samuti uus aine, nimelt veeaur.



Joon. 1. Vee keemine on füüsikaline nähtus, kuna vee keemisel ei teki mingit uut ainet.



Joon. 2. Hape ja tsink annavad uue aine: vesiniku. See on keemiline nähtus.

Elektrivoolu läbiminekul hõõglambist ja vee keemisel ei tekkinud uusi aineid. Lamp jäi lambiks, vaskjuhtmed jäid vaskjuhtmeiks, vesi jäi veeks. Seevastu, kui valasime tsingipuru peale hapet, kadusid algained ning nende asemele tekkisid uued ained. Tsingi ja happe asemele saime läbipaistva lahuse ja gaasi — vesiniku.

**Nähtust, kus üks aine muutub teiseks aineks, nimetatakse keemiliseks nähtuseks.**

Tsingi ühinemine happega, raua saamine rauamaagist, vesiniku, söe või nafta põlemine on keemilised nähtused.

**Nähtust, kus ei teki uusi aineid ja kus algained jäävad samadeks mis enne, nimetatakse füüsikaliseks nähtuseks.**

Kõik elektrilambi põlemisega kaasaskäivad nähtused — voolu liikumine juhtmeis, hõõgniidi kuumenemine, valguse ja soojuste kiirgumine — on füüsikalised nähtused.

Vee keemine, kuuli lend, metallide valamine ja külm töötlemine on füüsikalised nähtused.

**Füüsika on teadus, mis uurib füüsikalisi nähtusi.**

**Keemia on teadus, mis uurib keemilisi nähtusi.**

**Ulesanne 1.** Elektrilambist lasti läbi sedavõrd tugev vool, et lambi hõõgniit sulas (lamp „pöles läbi“). Kas see on füüsikaline või keemiline nähtus?

**Ulesanne 2.** Tuua füüsikaliste ja keemiliste nähtuste näiteid, mida tunneme igapäevases elust.

**§ 3. Füüsikaseadused, vaatlused ja katsed.** Kõik füüsikalised nähtused järgivad kindlaid seadusi.

Mõnda neist seadustest tunneme hästi igapäevases elust. Teame näiteks, et kui mingisugune keha seisab paigal, siis ei saa ta hakata liikuma iseenesest, ilma kõrvalise abita. Teame ka, et kui laseme käest kukkuda kivi, siis langeb see tingimata alla ega lenda mingil juhul iseenesest üles või kõrvale.

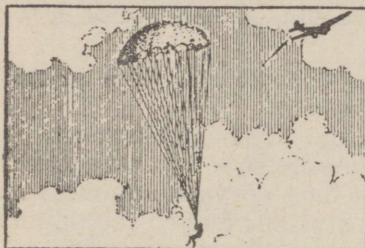
Et osata ära kasutada füüsikalisi ja keemilisi nähtusi, peab võimalikult hästi tundma nende nähtuste seadusi. Et kindlaks teha neid seadusi, peab tähelepanelikult vaatlema loodusnähtusi (näiteks kivi kukkumist, taevakehade liikumist, äikest jne.). Kui aga mõni nähtus osutub liiga keerukaks ja kui on raske sellest otsekohe aru saada, siis tuleb seda nähtust teaduslikus laboratooriumis kunstlikult esile kutsuda; seejuures püütakse esile tõsta nähtuse olulised jooned ja kõrvale jätta kõik ebaoluline.

Sellist nähtuse kunstlikku tekitamist nimetatakse katseks.

Eelmises paragrahvis on kirjeldatud mitu katset: katse elektrilambiga, katse vee keemisega ja katse tsiingi lahustamisega happes.

**§ 4. Vaatluste ja katsete juures tekkivad raskused.** Mõnede nähtuste vaatlemisel peame väga ettevaatlikult suhtuma sellesse, mida näeme „omaenese silmaga“. Vastasel korral võib teha kõige jämedamaid vigu. Vaatame joonist 5. Igaüks ütleks, et see kujutab spiraaljoont, kuid tegelikult see ei ole spiraaljoon, vaid rida ühise keskkohaga ringjooni. Selles võib hõlpsasti veenduda, kui jälgida üht ringjoont pliatsiotsaga. Meie silm ei näe ringjooni, vaid näeb spiraaljoont. See on nägemis- ehk silmapete. Nagu nägemine, nii petavad meid sagedasti ka teised aistingud. Katsume mõnikord talvel, kõva pa-

## FÜÜSIKALISED NÄHTUSED



## KEEMILISED NÄHTUSED



## SEGANÄHTUSED



Joon. 3. Füüsikalised nähtused: lainete liikumine ja tuul, detalli viilimine, langevarjuga langemine, viiulikeelte võnkumine. Keemilised nähtused: põlemine, lubja kustutamine. Seganähtused, kus esineb füüsikalisi ja keemilisi nähtusi: suurtükkipauk, metalli lõikamine leegiga.

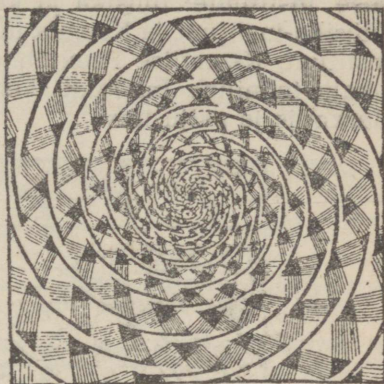
kasega, puudutada metalset ukselinki ja puust uksepiita. Link tundub olevat uksest palju külmem, tegelikult aga on mõlemad võrdselt külmad. Ristame sõrmed, nagu näitab joonis 4, sulgeme silmad ja puudutame sõrmeotstega väikest kuulikest. Meile tundub, et sõrmede all on kaks kuulikest. See on kom-pimispete. Vaatame joonist 6. Inimesele tänaval kuulub, et tramm ei lähene mitte vasakult, vaid paremalt poolt. See on kuulmispete.

Et saada õiget ettekujutust ühe või teise nähtuse käigust, tuleb hästi läbi mõelda katsete ja vaatluste tulemused, eraldades näilised asjaolud tegelikult olemas olevaist asjaoludest. Sellepärast saab füüsikaseadusi avastada ainult hoolikate katsete ja vaatluste abil ning pärast tulemuste põhjalikku kaalumist.



Joon. 4.

Joon. 4. Kombates tundub, et sõrmed puudutavad kahte kuulikest, tegelikult aga on ainult üks kuulike.



Joon. 5.

Joon. 5. Petlik spiraaljoon. Näib, et see on spiraaljoon, aga tegelikult on see rida ringjooni.

## § 5. Füüsika ja keemia on tehnika põhialused.

Igas tehnikaharus on meil tegemist füüsika ja keemia

põhiliste nähtuste ning seadustega. Näiteks on iga masina ja igasuguse mehhanismi töö allutatud füüsikaseadustele. Masinriistadel töödeldavad metallid on tahked kehad, mille omadusi uurib füüsika. Metallide sulamine ja hangumine on füüsikalised nähtused. Metallide saamine maakidest, põletusaine põlemine mootoris on keemilised nähtused. Nende seadusi uurib keemia.

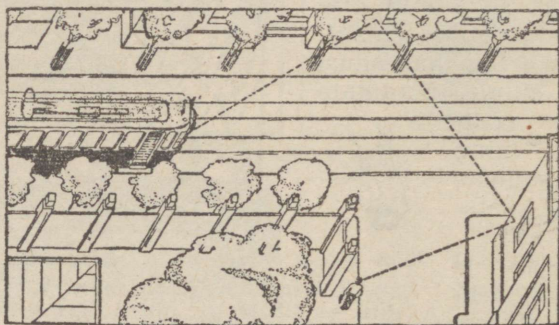
Aurumasina või sisepõlemootori töö põhineb soojuse muundumisel tööks, mida määritlevad füüsikaseadused. Metallide eraldamine maagist või lahusest elektrivoolu abil põhineb keemiaseadustel. Elektrilambi või elektrimootori töö põhineb füüsikaseadustel.

Selleks, et aru saada mingisuguse masina töötamispõhimõttest, et õppida käsitsema seda masinat, et mõista mitme-

suguste tootmisprotsesside käiku, peab tundma füüsikat ja keemiat. Seepärast võib täiesti põhjendatult öelda:

**Füüsika ja keemia on tehnika põhialused.**

Tehnika valdamiseks peab tundma füüsikat ja keemiat. Partei ja valitsus osutavad suurt tähelepanu füüsika ja keemia arengule Nõukogude Liidus. Meil on palju teadusliku uurimise instituute<sup>1</sup> füüsika ja keemia alal: Teaduste Akadeemia Füüsika-instituut ja Keemia-instituut, Füüsikaliste Probleemide Instituut, Keemilise Peentehnoloogia Instituut Moskvas, Füüsikalis-tehniline Instituut Leningradis, Füüsikaline Instituut Harkovis ja palju teisi.



Joon. 6. Inimesele kuulub, et tramm läheneb paremalt. Tegelikult aga läheneb tramm vasakult.

Suurte tehaste juurde on asutatud erilised füüsika- ja keemialaboratooriumid tootmise kontrollimiseks, uute seadmete ehitamiseks ja uute töömeetodite väljatöötamiseks.

§ 6. **Aine kolm olekut.** Füüsilised kehad võivad esineda kolmes erinevas olekus: tahkes, vedelas ja gaasilises.

**Tahked kehad on niisugused kehad, mis on võimelised säilitama oma kuju ja ruumala.**

Tahked kehad on näiteks liivatera, puit, paberileht, tükk terast, graniiti, klaasi, kuiva savi või suhkrut. Tahke keha (näiteks graniiditüki) purustamiseks on vaja teatud jõupingutust. Samuti on vaja jõupingutust tahke keha kuju muutmiseks, näiteks terasplaadikese painutamiseks.

<sup>1</sup> Teadusliku uurimise instituut on asutus, kus uuritakse teaduslikke küsimusi ja teaduslike seaduste rakendusviise tegelikus elus.

**Vedelad kehad ehk vedelikud on kehad, millel on kindel ruumala, kuid mis ei ole võimelised säilitama kindlat kuju.**

Vesi, piiritus, väävelhape, nafta, bensiin ja masinaõli on vedelikud. Ei ole raske muuta vedela keha kuju. Anumas leiduval vedelikul on selle anuma kuju. Vedeliku kuju muutmiseks ei ole vaja muud, kui valada vedelik teise anumasse.

**Gaasid on kehad, millel ei ole kindlat kuju ega kindlat ruumala.**

Õhk, vesinik, kloor, kuiv aur on gaasid.

Gaasid võivad paisuda ja kokku tõmbuda. Kui laseme vesinikku pudelist välja, vesinik paisub ja sellega saab täita väikese õhupalli kesta. Pigistades käes kummipalli, me vähendame seesoleva gaasi mahtu.

Gaas täidab kogu ruumi, kus ta asub. Laseme ballooni välja väikese hulga mingit teravalõhnalist gaasi, näiteks ammoniaaki. Mõne aja pärast võime tunda selle gaasi lõhna kõigis toa nurkades.

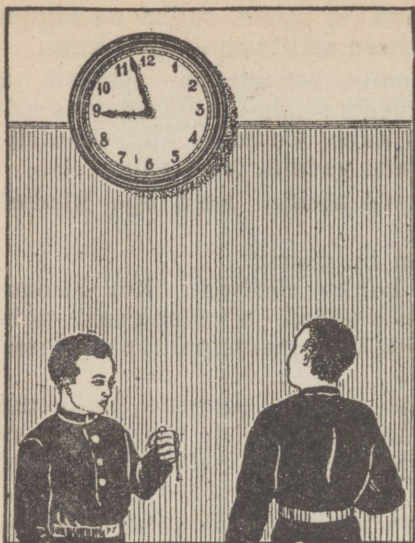
On olemas palju aineid, mis võivad esineda niihästi tahkes kui ka vedelas ja gaasilises olekus. Näiteks vesi on madala temperatuuri juures tahke keha (jäät), kõrge temperatuuri juures muutub ta aga gaasiks (aur). Tuleb märkida, et kuiv aur on läbipaistev nagu õhk. Vedurist, auruvilest või keeva vee kannust väljuvad valged aurupilved on kuiva auru ja piskete veetilgakeste segu.

Ka rauda ja muid metalle võib tugeva kuumutamise muuta esialgu vedelikuks ja siis auruks.

Paljud ained, nagu puit, paber, riie, ei kannata tugevat kuumutamist. Neid aineid ei saa sulatada ega auruks muuta.

Puit, paber ja riie muutuvad kuumutamisel mustaks, söestuvad ja põlevad ära.

**§ 7. Mõõtmine.** Igapäevases elus ja tehnikas tuleb alatasa mõõta mitmesuguseid suurusi. Aega mõõdame kella abil (joon. 7). Ärides mõõdame kaaludega leiva või mõne muu kauba hulka. Auto küljes olev kilomeetri loendi mõõdab maha sõidetud tee pikkust (joon. 8). Igas katlamajas kaalutakse sütt enne koldesse kühveldamist. Treial, kes töötleb mingit detaili, määrab selle mõõdud eriliste mõõteriistade abil (joon. 9); valmistatava detaili mõõdud peavad olema kindlaks määratud vastaval joonestisel. Iga füüsikalise nähtuse uurimisel tuleb mõõta hulk mitmesuguseid suurusi. Näiteks, liikumise uurimisel tuleb kõigepealt mõõta käidud tee pikkust ja aega.



Joon. 7. Iga päev mõõdame aega. Meie töö ja õpingud algavad täpselt kindlaksmääratud ajal.

Kõige sagedamini tuleb mõõta pikkust, aega ja kaalu.

§ 8. Pikkusühikud. Pikkuse põhiühikuks on meeter (tähis: m).

Meetriks nimetakse plaatina ja iriidiumi sulamist valmistatud kangile tõmmatud kahe peenikese kriipsu kaugust teineteisest. Seda metallkangi ehk algmeetrit hoitakse alal Rahvusvahelises Kaalude ja Mõõtude

Gaaside omaduste uurimisel tuleb mõõta nende ruumala, rõhumist ja temperatuuri. Elektri uurimisel peame mõõtma voolutugevust ja pinget. Sellepärast on mõõtmisel füüsikas, keemias ja tehnikas väga tähtis osa.

Mõõtmine on antud suuruse võrdlemine mõne teise sama liiki suurusega, mis on võetud ühikuks.

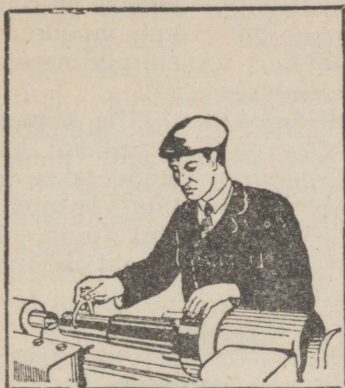
Ainult ühte liiki suurused on üksteisega võrreldavad. Pikkust võib võrrelda pikkusega, aega — ajaga, kaalu — kaaluga. Ei tohi aga asetada küsimust, nagu: kumb on suurem — kaks tundi või kaks meetrit.



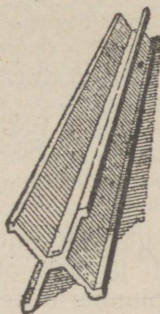
Joon. 8. Kilomeetri loendi mõõdab sõidetud teed.

Büroos Prantsusmaal, Pariisi lähedal.

Algmeetril (etaloonil) on joon. 10 näidatud kuju. Ka meil Liidus on olemas kaks koopiat algmeetrist: ühte hoitakse alal Teaduste Akadeemias, teist Pulkovo observatooriumis.



Joon. 9. Treial mõõdab detaili mõõte.



Joon. 10. Algmeeter (etaloon). Selle järgi valmistatakse meetripikkused mõõtlatid, mida tarvatakse pikkuse mõõtmiseks.

Väikeste ja suurte pikkuste mõõtmiseks tarvitatakse järgmisi ühikuid:

1 kilomeeter (tähis: km)	1000 meetrit.
1 detsimeeter (tähis: dm)	0,1 meetrit
	(üks kümnendik meetrit).
1 sentimeeter (tähis: cm)	0,01 meetrit
	(üks sajandik meetrit).
1 millimeeter (tähis: mm)	0,001 meetrit
	(üks tuhandik meetrit).
1 mikron (tähis: $\mu$ )	0,000 001 meetrit
	(üks miljondik meetrit).

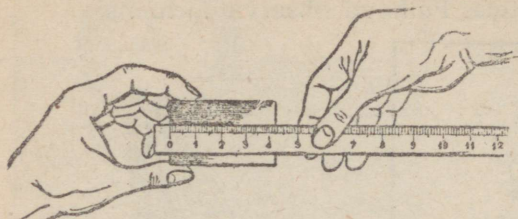
Nende ühikute süsteemi nimetatakse meetermõõdustikuks.

**Ulesanne 1.** Mitu sentimeetrit on ühes kilomeetris? Mitu millimeetrit on ühes detsimeetris?

**Ulesanne 2.** Missugune osa kilomeetrist on sentimeeter? Missugune osa sentimeetrist on millimeeter? Mitu mikronit on ühes millimeetris?

§ 9. **Pikkuse mõõtmine. Mõõteriistad.** Esemepikkuse mõõtmisel tehakse kindlaks, kui mitu korda ta sisaldab ühikuks võetud pikkusmõõtu. Lihtsaim pikkuse mõõtmisviis seisneb

selles, et mõõdetava eseme peale asetatakse sentimeetriteks ja millimeetriteks jaotatud mõõtpulk ja vaadatakse, mitu korda

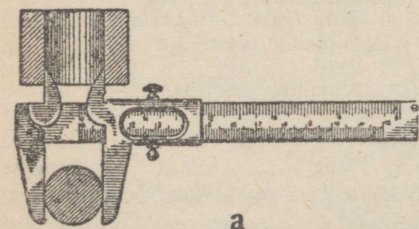


Joon. 11. Mõõtmine mõõtpulga abil. Mõõdetava eseme peale asetatakse mõõtpulk.

leib teha näiteks uute teede rajamisel ja hoonete ning linnade planeerimisel.

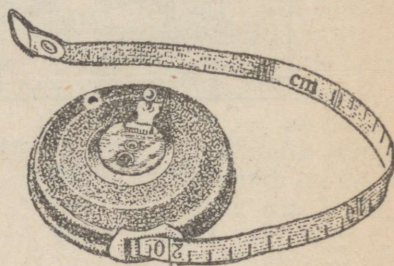
Väikesi pikkusi, näiteks masinate detaile, mõõdetakse nihkkaliibri või tasteri abil (joon. 13). Peenikese traadi või pleki paksuse mõõtmiseks tarvitatakse mikromeetrit (joon. 15).

Nihkkaliibrit (joon. 13-a) tarvitatakse mitte väga suurte esemete mõõtmiseks. Kui nihkkaliibri harud on

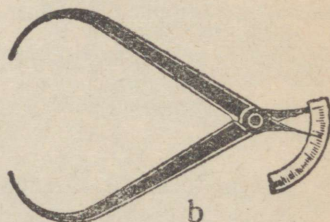


a

Joon. 13. a — nihkkaliiber, üleval on näidatud sisemise läbimõõdu mõõtmine, all — välimise läbimõõdu mõõtmine; b — taster. Nendega mõõdetakse väiksemaid detaile.



Joon. 12. Mõõtlint. Sellega mõõdetakse pikkusi üle 10 meetri.

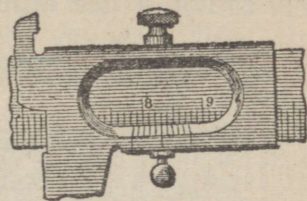


b

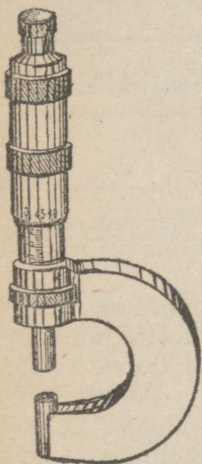
kokku lükatud, siis liikuva osa nullkriips langeb ühte liikumatu skaala nullkriipsuga. Mõõdetav detail asetatakse harude

vahele, nagu näitab joon. 13-a. Liikuva osa nullkriips nihkub kõrvale. Nihkkaliibri skaala näitab, kui pikk on mõõdetav detail.

Tavaliselt asetub liikuva osa nullkriips nihkkaliibri liikumatu skaala jaotuskriipsude vahele. Seda näitab suurendatult joonis 14. Nullkriips on jaotiste 78 ja 79 vahel. Silmaga on raske määrata, kui palju millimeetri kümnendiosi sisaldab mõõdetav pikkus. Kümnendikkude arvestamiseks tarvitatakse niinimetatud nooniust. See on nihkkaliibri liikuvale osale paigutatud väike skaala (joon. 13-a ja 14).



Joon. 14. Noonius. Nooniusel abil on võimalik mõõta millimeetri kümnendikke.



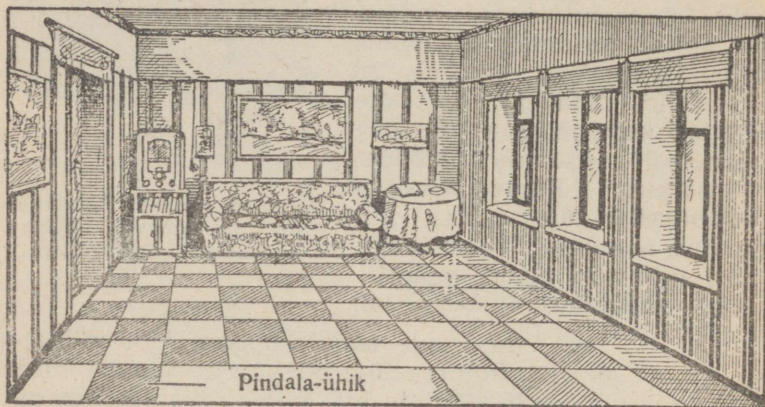
Joon. 15. Mikromeeter. Mikromeetriga mõõdetakse väikesi pikkusi. Mikromeetri abil on võimalik mõõta millimeetri sajandikke.

Nooniuse skaala pikkus on 9 millimeetrit, kuid skaalal on kümme jaotist. Järelikult võrdub iga nooniusajaotis  $\frac{9}{10}$  millimeetriga. Vahe nihkkaliibri jaotise ja nooniusajaotise vahel võrdub  $\frac{1}{10}$  millimeetriga.

Vaatame, mitmes nooniusajaotis langeb ühte nihkkaliibri jaotisega. Joonisel 14 langeb nooniusajaotis viies jaotis ühte nihkkaliibri kaheksakümne kolmanda jaotisega. See tähendab, et nooniusajaotis neljas jaotis on nihkkaliibri 82. jaotisest  $\frac{1}{10}$  millimeetrit eemal; nooniusajaotis kolmas jaotis on nihkkaliibri 81. jaotisest  $\frac{2}{10}$  millimeetrit eemal; nooniusajaotis teine jaotis on nihkkaliibri 80. jaotisest  $\frac{3}{10}$  millimeetrit eemal; nooniusajaotis esimene jaotis on nihkkaliibri 79. jaotisest  $\frac{4}{10}$  millimeetrit eemal ja nooniusajaotis nullkriips on nihkkaliibri 78. jaotisest  $\frac{5}{10}$  millimeetrit eemal. Seda tahtsimegi teada. Järelikult on mõõdetav pikkus 78,5 millimeetrit.

Siit saame järgmise juhise: Millimeetri kümnendikkude arv võrdub nooniusajaotise numbriga, mille kriips langeb täpselt ühte nihkkaliibri jaotuskriipsuga.

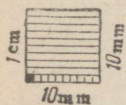
Mikromeetrit tarvitatakse väikeste pikkuste mõõtmiseks. Mikromeetri harud nihutatakse kokku mikromeetrile lõigatud keerme abil; selleks tuleb keerata mikromeetri kruvi pead. Kruvi pea ühe täispöörde puhul lähenevad harud ühe



Joon. 16. Toa pindala mõõtmine. Pindala kindlaksmääramiseks tuleb leida, kui mitu korda antud pindala mahutab pindalaühikuks võetud ruutu.

millimeetri võrra. Kruvi peal on tavaliselt sada jaotist. Mõõdetav ese asetatakse mikromeetri harude vahele. Tervete millimeetrite arv loetakse skaala pealt (joon. 15), kuna kruvi pea jaotised näitavad sajandikke.

§ 10. **Pindalaühikud.** Pindalade mõõtmisel (näiteks toapõranda mõõtmisel) teeme kindlaks, kui mitu korda pindalaühik mahub mõõdetavasse pindalasse (joon. 16).



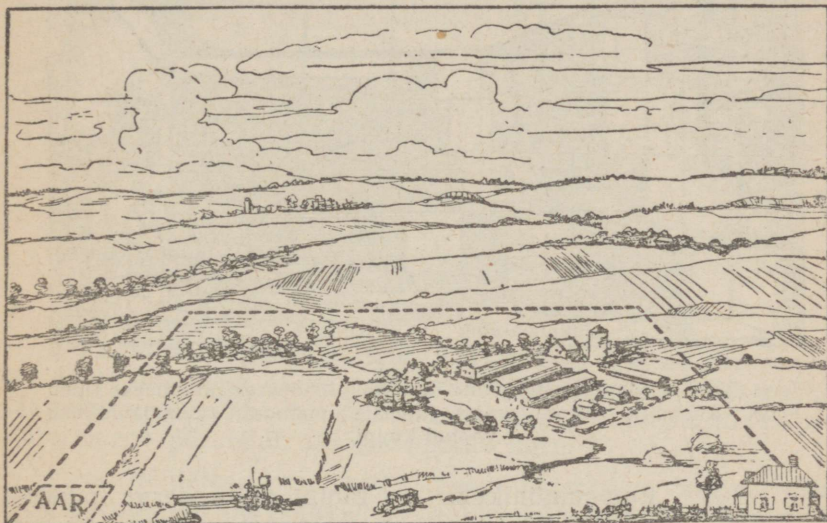
Joon. 17. Ruutsentimeeter.

Pindalaühikuks on ruut, mille külje pikkus võrdub pikkusühikuga. Sääraseid pindalaühikuid nimetatakse ruutühikuiks. Näiteks ruutsentimeeter on ruut, mille külje pikkus võrdub ühe sentimeetriga (joon. 17). Sellest joonisest nähtub, et ruutsentimeeter (tähis:  $\text{cm}^2$ ) mahutab kümme rida, millest igaüks koosneb kümnest ruutmillimeetrist (tähis:  $\text{mm}^2$ ). Nii siis:  $1 \text{ cm}^2 = 10 \cdot 10 = 100 \text{ mm}^2$

Samal viisil saame:

$$1 \text{ m}^2 = 100 \cdot 100 = 10\,000 \text{ cm}^2 = \\ = 1000 \cdot 1000 = 1\,000\,000 \text{ mm}^2$$

Suuremate pindalade mõõtmiseks tarvitatakse ruutühikut külje pikkusega 10 meetrit. Sellise ruutühiku nimetuseks on aar. Tarvitatakse ka ruutühikut, mille külje pikkus on 100 meetrit ja mida nimetatakse hektaariks (tähis: ha) (joon. 18). Väga suurte pindalade mõõtmiseks on tarvitusel ruutühik, mille külje pikkus on 1000 meetrit; seda ühikut nimetatakse ruutkilomeetriks (tähis: km<sup>2</sup>).



Joon. 18. Aari ja hektaari suuruse võrdlus.

$$1 \text{ km}^2 = 1\,000 \cdot 1\,000 = 1\,000\,000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ha} = 100 \cdot 100 = 10\,000 \text{ m}^2$$

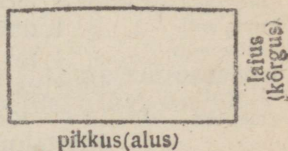
$$1 \text{ aar} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2$$

**Ristküliku pindala võrdub pikkuse ja laiuse korrutisega (ehk aluse ja kõrguse korrutisega) (joon. 19).**

Näide. Töökoja pikkus on 25 meetrit; töökoja laius on 16 meetrit. Leida töökoja pindala.

Pindala võrdub pikkuse ja laiuse korrutisega:

$$25 \cdot 16 = 400 \text{ m}^2$$



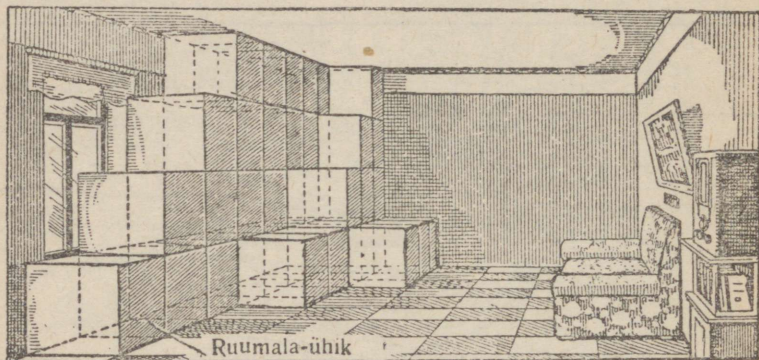
Joon. 19. Ristküliku pindala võrdub pikkuse ja laiuse korrutisega.

Ulesanne 1. Seina pikkus on 17 m; seinä kõrgus on 2 m. Leida seinä pindala.

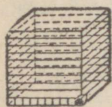
Vastus: 34 m<sup>2</sup>.

Ulesanne 2. Mitu hektaari on ühes ruutkilomeetris? Vastus: 100.

§ 11. **Ruumalaühikud.** Kehade ruumala mõõtmisel (näiteks toa ruumala mõõtmisel) teeme kindlaks, kui mitu korda ruumalaühik mahub mõõdetavasse ruumalasse (joon. 20).



Joon. 20. Toa ruumala mõõtmine. Ruumala kindlaksmääramiseks tuleb leida, kui mitu korda antud ruumala mahutab ruumalaühikuks võetud kuupi.



Joon. 21. Kuupsentimeeter. See on kuup, mille servade pikkus on 1 sentimeeter.

Ruumalaühikuks on kuup, mille serva pikkus võrdub pikkusühikuga. Sarnast ruumalaühikut nimetatakse kuup-ühikuks. Näiteks kuupsentimeeter on kuup, mille servade pikkus on 1 sentimeeter (joon. 21). Joonisest näeme, et kuupsentimeeter (tähis: cm<sup>3</sup>) mahutab kümme üksteise peal asuvat kihti. Iga kiht mahutab 100 kuupmillimeetrit. Nii siis:

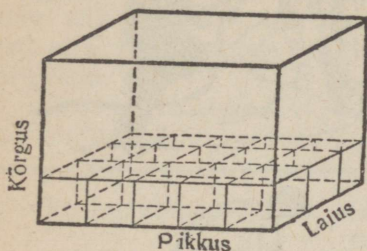
$$\begin{aligned} 1 \text{ cm}^3 &= 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1\,000 \text{ mm}^3, \\ 1 \text{ dm}^3 &= 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1\,000 \text{ cm}^3, \\ 1 \text{ m}^3 &= 100 \cdot 100 \cdot 100 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Liitriks (tähis: l) nimetatakse anuma mahutavust, mille ruumala on üks kuupdetsimeeter.

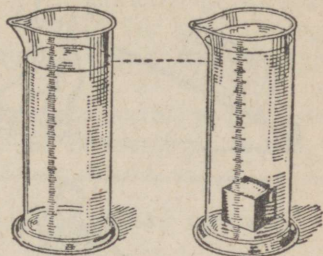
**Risttahuka ruumala võrdub ta pikkuse, laiuse ja kõrguse korrutisega.** Seda selgitab joonis 22.

Vedeliku ja mittekorrapärase kujuga tahkete kehade ruumala mõõtmisel kasutatakse mõõtklaasi ehk mensuuri (joon. 23).

Tahke keha ruumala mõõtmiseks valatakse mensuuri vett; siis lastakse tahke keha vee alla vajuda ning vaadatakse, kui mitme jaotise võrra on tõusnud veepind (joon. 23). See arv määrab tahke keha ruumala. Nende vaatluste juures peab silm olema veepinna kõrgusel.



Joon. 22. Risttahuka ruumala võrdub pikkuse, kõrguse ja laiuse korrutisega.



Joon. 23. Nõnda mõõdetakse tahke keha ruumala mensuuri abil.

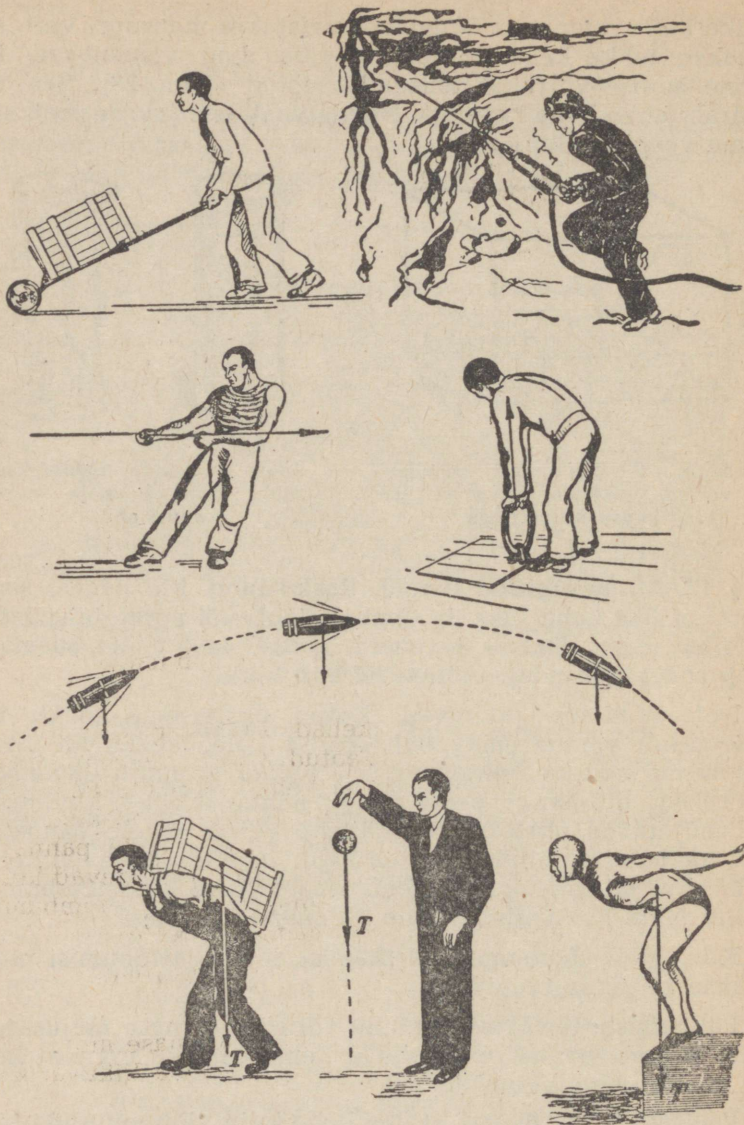
§ 12. **Mitmesugused tungid. Raskustung.** Me näeme sagedasti, et üks keha lükkab, tõmbab, taob või surub teist keha. Näiteks: vedur tõmbab vaguneid, haamer taob naela, raamatukapp surub põrandat, tööline lükkab käru.

Neis näidetes puutuvad kehad üksteisega kokku kas vahenditult või on omavahel seotud köie, ahela või haagi kaudu. On aga ka juhtumeid, kus kehad ei puutu üksteisega kokku ega ole nende vahel mingit nähtavat sidet, kuid siiski nad mõjutavad üksteist. Nii näiteks võime tähele panna, et Maa tõmbab ligi mitmesuguseid kehi; seetõttu langevad kehad maha, kui miski ei peata neid. Samasugust külgetõmbumist, mõnel juhul tõukumist, näeme ka magnetite vahel.

Kõiki neid tõmbumisi, tõukumisi, lööke ja rõhumisi nimetatakse füüsikas tungideks.

Lükkamise, tõmbamise, tõuke või muu sarnase mõjutusega võib liikuma panna paigalolevat keha, peatada liikuvat keha või muuta keha liikumist.

Peale selle me teame, et ühe keha kuju võib muutuda teise keha mõjul. Nii näiteks võime käe surve all vedru venitada või kokku suruda. Tuul painutab puid. Vibukütt painutab vibu. Nii siis:



Joon. 24. Mitmesuguseid tunge võib suunata soovikohaselt. Raskustung aga on alati suunatud allapoole.

**Tungiks nimetatakse põhjust, mis muudab keha liikumise olekut või keha kuju.**

Igapäevasest elust tunneme väga hästi raskustungi. Raskustung ehk raskus on see tung, mille mõjul kõik kehad langevad alla, Maa poole. Raskustung sunnib kõik kehad maha langema.

Käest lahtilastud kivi, mäest allalangev laviin, puu küljest vallandunud õun, — need kõik langevad raskustungi mõjul.

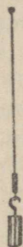
**Raskustung mõjutab kõiki kehi. Kõik kehad omavad raskust.**

Ei ole olemas ühtegi „mittekaaluvat“ keha. Kivi, inimesed, loomad, vesi, õhk — kõik evib mingisugust kaalu.

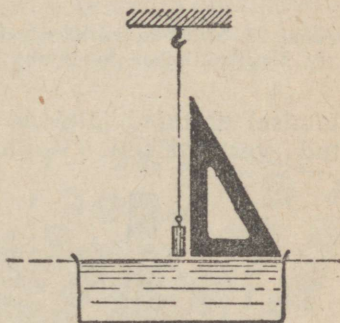
Kui mingi takistus hoiab ära keha langemise, siis avaldub raskustung pingsuses või rõhumises. Näiteks maasolev kivi rõhub maapinda.

Ulesriputatud lamp pingutab nõõri, mille küljes ta ripub. Inimene rõhub jalga-dega põrandat. Mõõda köit ülesroniv võimleja tõmbab köie pingule.

§ 13. **Lood ja vaaderpass.** Me võime rakendada oma musklite jõudu igas suunas: üles, alla, külgsuunas jne. Teisiti on lugu raskustungiga (joon. 24).



Joon. 25. Lood. Loodi niit on suunatud vertikaalsuunas ehk püstloodis.



Joon. 26. Vedeliku pind on horisontaalne. Vertikaalsuund moodustab horisontaalsuunaga täisnurga.

**Raskustungi mõju avaldub ainult ühes, täiesti kindlas suunas. See on sama suund, milles kehad püüavad langeda.**

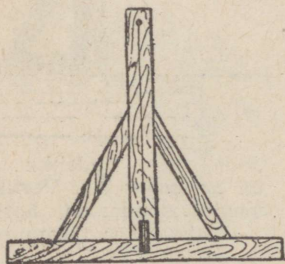
Seda suunda nimetatakse püstsüunaks ehk vertikaalsüunaks.

Vertikaalsüunda võib näitlikult kujutada, sidudes väikese raskuse niidi külge ning lastes seda rahulikult alla rippuda. Sel juhul on niidi süund vertikaalne. Niidi otsas rip-puvat raskust nimetatakse loodiks (joon. 25).

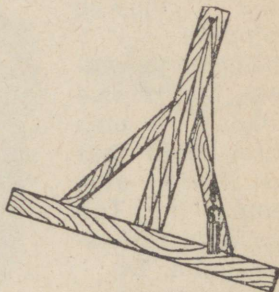


Joon. 27. Müüride vertikaalsust kontrollitakse loodi abil.

Jälgides ehitajad jälgivad hoolega, et müürid oleksid püstita-tud vertikaalselt. Vastasel korral võivad seinad ümber

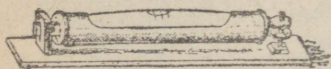


Joon. 28. Loodlaud. Loodlaua abil kontrollitakse masina rõht-asendit.



langeda. Müüride püstasendit kontrollitakse loodi abil (joon. 27).

Loodlaud, Puusepad, tiserid ja mudelsepad kasutavad loodlauda (joon. 28) masinaosade asetamiseks rõhtasendisse. Loodlaud koosneb kahest korrapäraselt tahatud lauast, mis moodustavad omavahel täisnurga. Püstlauale on tõmmatud joon, mis kulgeb püstloodis aluslauale; joone kohal ripub lood. Kui loodlaud asub rõhtsal pinnal, siis katab loodi nöör täpselt püstlaual oleva joone.

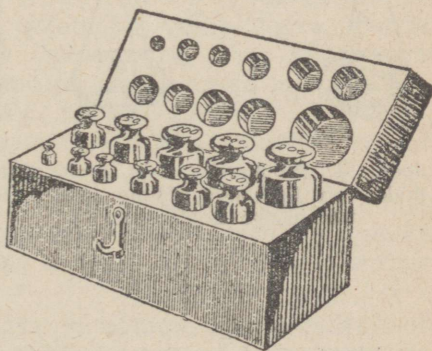


Joon. 29. Vesilood ehk vaaderpass. Selle abil kontrollitakse hõövelpingi juhtliistude või lauaplaadi rõhtsust.

Vesilood ehk vaaderpass. Joonte ja pindade rõhtsuse kontrollimiseks füüsikalistel katsetel tarvitatakse harilikult vesiloodi ehk vaaderpassi. Vesiloodi ehitus nähtub joonisest 29. Vesilood koosneb vedelikuga (eetriga) täidetud klaastorust ja selle metalsest kestast. Vedelik täidab peaaegu kogu toru sisemuse, jättes ruumi ainult väikesele õhumullile. Toru on kergelt kumerdatud, kusjuures kumerus on suunatud ülespoole, õhumullike asetseb alati toru kõige kõrgemas punktis. Kui vesilood on rõhtasendis, asub õhumullike täpselt toru keskel. Kui aga vesilood ei ole rõhtne, siis nihkub õhumullike kõrgemalasetseva toruotsa poole.

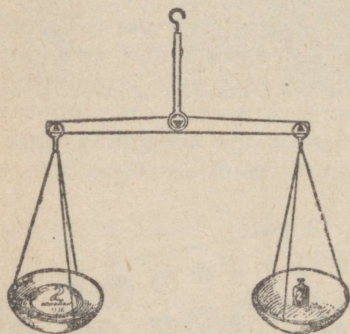
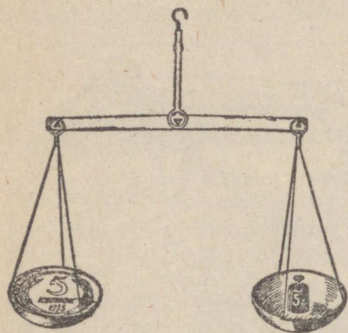
Mingisuguse pinna (näiteks lauaplaadi) horisontaalsuse kontrollimiseks asetame sinna vesiloodi kõigepealt ühes suunas ja siis selle ristsuunas; mõlemal korral peab õhumull asetsema toru keskel.

§ 14. **Kaaluühikud.** Kehade kaalu mõõtmisel tee me kindlaks, mitu korda antud keha kaal on kaaluühikust suurem või väik-



Joon. 30. Meetermöödustiku vihtide komplekt: vihid raskusega 500, 200, 100, 50, 20 jne. grammi.

sem. Järelikult peame mitmesuguste kehade kaalumiseks võtma ühikuks ühe teatud keha raskuse. Raskus on tung, seepärast võib kaaluühikut tarvitada ka tungühikuna.



Joon. 31. Pronksraha kaal gram-  
mides on ligikaudu võrdne tema  
väärtusega kopikates.



Joon. 32. Keha kaal muutub kõrgu-  
sega. Mida kõrgemal asub keha, seda  
vähem ta kaalub. Kümne kilomeetri  
kõrgusele tõusnud inimene saaks  
kindlaks teha pildil kujutatud kaalu-  
vahet.

Meetermõõdustiku tungühikuks on platinavihi kaal, mida hoitakse alal sealsamas kus algmeetritki (v. § 8). Selle vihi kaalu merepinna kõrgusel ning 45. laiuskraadil nimetatakse kilogrammiks (tähis: kg).

Kilogramm võrdub ligikaudu puhta vee ühe kuupdetsimeetri kaaluga 4° juures.

Üks tuhandik kilogrammi on gramm (tähis: g). Üks kilogramm on tuhat grammi. Üks tuhandik grammi on milligramm (tähis: mg).  $1 \text{ mg} = 0,001 \text{ g} = 0,000\,001 \text{ kg}$ . Tuhande kilogrammi nimetuseks on tonn (tähis: t). Üks tonn võrdub tuhande kilogrammiga.

Kehade kaalumise otstarbel valmistatakse vihte ja vihtidekomplekte, s. o. kehi, millede kaal võrdub kindla grammide arvuga või grammi kümnendmurruga (joon. 30).

Vihtide-komplektid on koostatud kindlal viisil, näiteks:  $1 + 2 + 2 + 5 + 10 + 20 + 20 + 50 + 100 + 200 + 200 + 500$  grammi. Neist vihtidest võib moodustada iga soovitud raskust tervetes grammides 1 grammist kuni 1100 grammi. Ühegrammine viht kaalub samapalju, kui üks kuupsentimeeter puhast vett 4° juures. 20-grammine viht kaalub samapalju, kui 20 kuupsentimeetrit puhast vett 4° juures jne.

Kui ei nõuta täpset kaalu, võib vihtidena kasutada pronksrahasid. Iga raha kaal grammides on ligikaudu võrdne tema väärtusega kopikates (joon. 31).

**Ülesanne 1.** Mitu grammi on tonnis? Mitu milligrammi on grammis?

**Ülesanne 2.** Kui suur murdosa tonnist on kilogramm? Kui suur murdosa kilogrammist on milligramm?

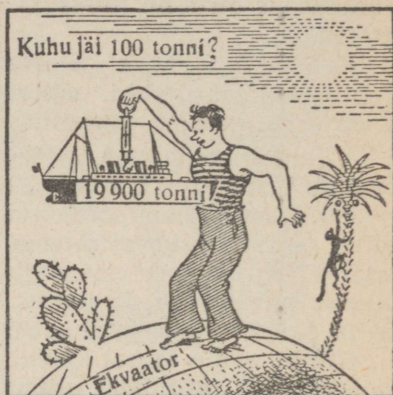
**Ülesanne 3.** Kui palju kaalub  $1 \text{ m}^3$  puhast vett?

§ 15. **Kaalud.** Keha raskust saab määrata vedrukaalu abil, mille vedru venib pikemaks kaalutava keha raskuse mõjul. Mida raskem on keha, seda pikemaks venib vedru. Pannes tähele vedru pikenemist 1 kilogrammi,  $\frac{1}{2}$  kilogrammi, 1 grammi jne. raskuse keha mõjul, ei ole raske määrata ükskõik missuguse keha kaalu. Kui näiteks kaalutav ese venitab vedru samapalju kui 700-grammine viht, tähendab see, et eseme kaal võrdub 700 grammiga.

Vedrukaalu kasutamisel võib tähele panna, et Maa tõmbab erinevalt ligi üht ja sedasama keha tema erinevais asupaikades. Järelikult on ühe ja sama keha kaal erinev tema mitmesugustes asupaikades.

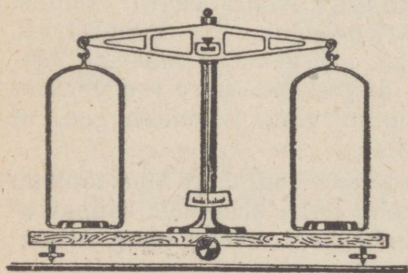
Kui tõuseme lennukiga õhku ja võtame kaasa vedrukaalu külge riputatud 10-kg raskuse, siis näeme, et selle keha kaal muutub kõrguse iga tuhande meetri kohta 3 g võrra kergemaks. Nii siis, kui lennuk tõuseb 10 kilomeetri kõrgusele, muutub raskus 30 g võrra kergemaks (joon. 32).

Vedrukaalu abil võib ka kindlaks teha, et esemed muutuvad ekvaatorilt Maakera naba poole viimisel raskemaks. Ese, mille kaal on ekvaatori kohal 10 kilogrammi, kaalub naba kohal 5 g rohkem. Kui aurik viib 20 tuhande tonni suuruse



Joon. 33. Keha kaal Maakera nabal ja ekvaatoril on erinev. Nabal on keha kaal suurem. Näeme, mida paneks tähele inimene, kes suudaks kaaluda rasket aurikut põhjanabal ja ekvaatoril.

lasti nabal ekvaatorile, siis ekvaatoril kaalub see last tervelt 100 tonni vähem (joon. 33). Sellepärast oligi vaja ära märkida, missuguses kohas Maakeral meie kaaluühik kaalub 1 kg.



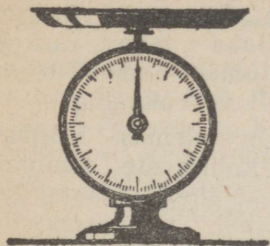
Joon. 34. Kangkaalud.

Kõrguse ja asukoha muutustest tingitud kaaluvahed on aga igapäevases elus väga väikesed ning me võime rahu-likult arvata, et kehade kaal on jääv.

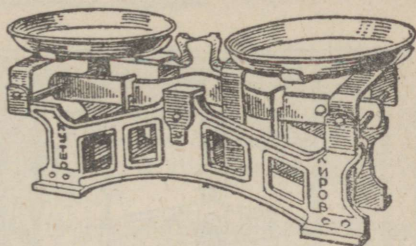
Tarvitusel on mitmesugu-  
se konstruktsiooniga kaalusid (joon. 34, 35, 36). Eriti levinud on kangkaalud.

Kangkaalud (joon. 34) koosnevad metalsest vardast (kangist), mille keskkohal toetub kiilu (prisma) teravikule. Kangi külge riputatakse kausid ja kinnitatakse osuti.

Oletame, et vasakpoolsele kaalukausile on asetatud kaalutav ese ja parempoolsele kaaluviht; kaalutav ese ja kaaluviht

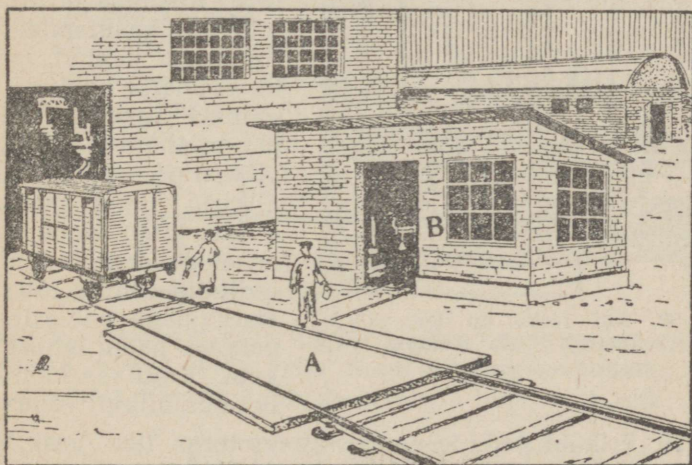


Joon. 35. Vedrukaal.



Joon. 36. Béranger' (beranžee) kaalud.

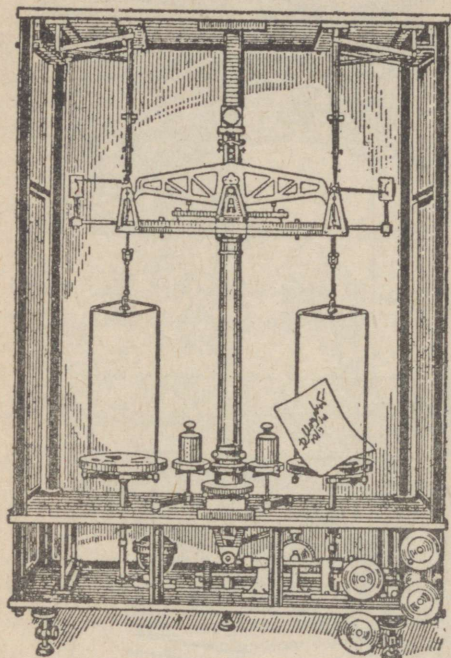
püüavad mõlemad kangi oma poole alla tõmmata. Kui osuti asub samasse asendisse, mis tal oli koormamata kaalukausside



Joon. 37. Kaal täislaaditud vagunite kaalumiseks. A — platvorm, millele lükatakse täislaaditud vagun. Platvormi all on kangimehhanism. Kaalumajas B asub seadeldis, millelt võib lugeda vaguni kaalu.

puhul, siis on kaalutav ese ja viht üheraskused. Niiviisi saame kangkaalude abil võrrelda eseme kaalu vihtide kaaluga.

Kui viime kaalutava eseme ja seda tasakaalustavad vihid Maakera nabale või kõrge mäe otsa, siis keha ja vihi raskus muutub ühevõrra ning kangkaalude tasakaal jääb endiselt püsima. Sellest näeme, et kangkaalude abil ei ole võimalik kindlaks teha raskuse muutumist. Seda võib teha ainult vedrukaaluga.



Joon. 38. Kui raske on teie allkiri? Nende kaaludega võib määrata väga kergete kehade kaalu.

On olemas kaalusid eri koormuste kaalumiseks. Näiteks kasutatakse raudteel platvormkaalusid täislaaditud raudteevagunite kaalumiseks (joon. 37). Lennusadamates on tarvitusel kaalud laaditud lennukite kaalumiseks enne õhikutõusmist. Keemias ja füüsikas leiavad kasutamist eriti tundlikud kaalud, millega on võimalik kaaluda väga väikesi raskusi, näiteks paberilehele tõmmatud pliiatsijoone või kellegi allkirja kaalu (joon. 38). Pliiats jätab joone tõmbamisel paberile teatud grafiidihulga, mille tõttu pliiatsijoonega paberileht on puhtast paberilehest raskem. Kuid see kaaluvahe on loomulikult väga väike.

§ 16. **Erikaal.** Mõnda ainet, näiteks teras, tina, vask, nimetatakse raskeks. Teisi aineid, nagu alumiinium, puit, kork, nimetatakse kergeteks. Kui võtta võrdsetes ruumalades näiteks terast ja alumiiniumi, siis selgub, et teras kaalub alumiiniumist rohkem.

**Aine ühe kuupsentimeetri kaalu grammides nimetatakse selle aine erikaaluks.**

Erikaalu määramiseks on vaja mõõta keha ruumala ja kaalu. Erikaal võrdub keha kaalu ja ruumala jagatisega ehk:

$$\text{erikaal} = \frac{\text{kaal}}{\text{ruumala}}$$

Mensuuri abil (v. § 11) määrasime, et raudnutri ruumala on näiteks  $10 \text{ cm}^3$ . Siis kaalusime nutrit ja leidsime, et selle kaal on 78 grammi. Kui suur on erikaal? Erikaal on ühe kuupsentimeetri kaal grammides.  $10 \text{ cm}^3$  rauda kaalub 78 g; järelikult  $1 \text{ cm}^3$  kaalub 10 korda vähem. Niisiis on raua erikaal  $78 : 10 = 7,8$  grammi kuupsentimeetris.

Erikaalu mõõdetakse liitühikutega: grammidega kuupsentimeetri kohta (tähis:  $\text{g/cm}^3$ ). Erikaalu võib väljendada ka kilogrammides kuupdetsimeetri kohta ( $\text{kg/dm}^3$ ) või tonnides kuupsentimeetri kohta ( $\text{t/m}^3$ ). Kõigil neil juhtudel väljendub erikaal sama arvuga, kuna murru lugeja ja nimetaja muutuvad võrdeliselt ( $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ ;  $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$ ;  $1 \text{ t} = 1\,000\,000 \text{ g}$ ;  $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$ ). Sellepärast on raua erikaal  $7,8 \text{ g/cm}^3$  ehk  $7,8 \text{ kg/dm}^3$  ehk  $7,8 \text{ t/m}^3$ .

Kui on teada keha erikaal (s. o. ühe kuupsentimeetri kaal) ja keha ruumala (s. o. keha maht kuupsentimeetrites), siis ei ole raske leida keha kaalu.

Keha kaal võrdub ühe kuupsentimeetri kaalu (erikaalu) ja kuupsentimeetrite arvu (ruumala) korrutisega ehk:

$$\text{kaal} = \text{ruumala} \times \text{erikaal.}$$

Kui teame antud keha kaalu ja ühe kuupsentimeetri kaalu (erikaalu), võime leida keha mahu kuupsentimeetrites (ruumala). Ruumala võrdub kaalu ja erikaalu jagatisega ehk:

$$\text{ruumala} = \frac{\text{kaal}}{\text{erikaal}}$$

Tehnikule on väga tähtis teada mitmesuguste ainete erikaalu. Teades keha erikaalu, võib tehnik välja arvutada ehitatava uue masina või vagunisse laaditud materjali kaalu ja muud sarnast.

Mitmesuguste ainete erikaalud on kindlaks määratud katsetelisel teel.

Järgnevas tabelis on toodud mõne tahke, vedela ja gaasilise aine erikaal.

Mitmesuguste ainete erikaalud.

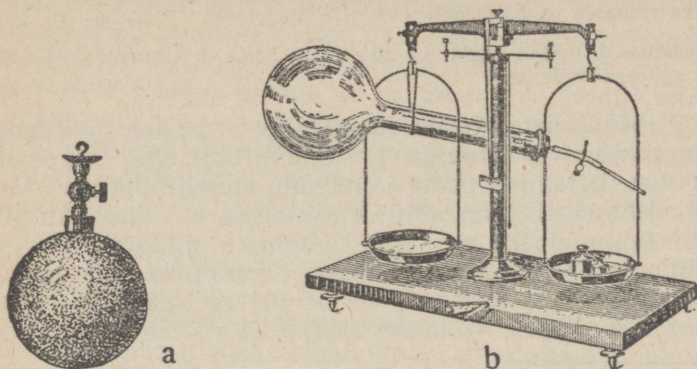
Aine	Erikaal	Aine	Erikaal
<b>Tahked kehad.</b>			
Plaatina . . . . .	21,5	Alumiinium . . . . .	2,7
Kuld . . . . .	19,3	Klaas . . . . .	2,6
Plii . . . . .	11,4	Betoon . . . . .	2,1
Hõbe . . . . .	10,5	Tellisemüür . . . . .	1,6
Vask . . . . .	8,9	Kuiv liiv . . . . .	1,5
Messing . . . . .	8,7	Jää . . . . .	0,9
Raud } . . . . .	7,8	Tammepuit . . . . .	0,8
Teras }		Männipuit . . . . .	0,5
Malm . . . . .	7,2	Kork . . . . .	0,24
<b>Vedelikud.</b>			
Elavhõbe . . . . .	13,6	Piiritus . . . . .	0,79
Väävelhape . . . . .	1,84	Eeter . . . . .	0,71
Vesi . . . . .	1,00	Bensiin . . . . .	0,7
Masinaõli . . . . .	0,9	Vedel vesinik . . . . .	0,07
Petrooleum . . . . .	0,8		
<b>Gaasid (Celsiuse 0° ja normaalarõhu juures<sup>1</sup>).</b>			
Kloor . . . . .	0,00321	Lämmastik . . . . .	0,00125
Hapnik . . . . .	0,00143	Heelium . . . . .	0,00018
Õhk . . . . .	0,00129	Vesinik . . . . .	0,00009

<sup>1</sup> Kümnesdas peatükis § 144 on seletus Celsiuse kraadi kohta, normaalarõhumisest on juttu neljandas peatükis § 44.

Me näeme, et teatud tingimustel on gaaside erikaalud mitmesajakordselt väiksemad kui vedelikkude ja tahkete kehade erikaalud.

Gaasi erikaalu määramiseks paigutatakse gaas tuntud ruumalaga anumasse ja kaalutakse koos anumaga. Siis pumbatakse gaas anumast välja ja kaalutakse tühja anumad (joon. 39).

Näide 1. Raudteetsistern mahutab 50 tonni petrooleumi. Leida tsisterni ruumala.



Joon. 39. a — Anum gaaside erikaalu määramiseks. Enne kaalutakse anumad koos gaasiga, siis pumbatakse gaas välja ja kaalutakse tühja anumad. b — Õhuga täidetud kolb on raskem kui sama kolb ilma õhuta.

Tabelist leiame, et petrooleumi erikaal on  $0,8 \text{ g/cm}^3$  ehk  $0,8 \text{ t/m}^3$ . Ruumala võrdub kaalu ja erikaalu jagatisega:

$$\frac{50}{0,8} = 62,5 \text{ m}^3$$

Näide 2. Toa ruumala on  $80 \text{ m}^3$ . Kui palju kaalub toas olev õhk? Tabelist leiame, et õhu kuupsentimeeter kaalub  $0,00129$  grammi. Järelikult  $80 \text{ m}^3$  kaalub  $0,00129 \cdot 80 \cdot 1\,000\,000 = 103\,200 \text{ g}$  ehk  $103,2 \text{ kg}$ .

Näide 3. Bensiinipaagi maht on  $200$  liitrit. Paaki täitev bensiin kaalub  $140 \text{ kg}$ . Leida bensiini erikaal. Erikaal on ühe liitri kaal kilogrammides. Kui  $200$  liitrit bensiini kaalub  $140 \text{ kg}$ , siis on erikaal:

$$\frac{140}{200} = 0,7 \text{ kg/l ehk } 0,7 \text{ g/cm}^3.$$

**Ulesanne 1.**  $5,5$  kuupmeetrit savi kaalub  $11$  tonni. Leida savi erikaal. Vastus:  $2 \text{ t/m}^3$ .

**Ulesanne 2.** Metall osmium on kõige raskem aine. Leida osmiumi erikaal, kui osmiumist vihi ruumala on  $2 \text{ cm}^3$  ja kaalub  $45 \text{ g}$ . Vastus:  $22,5 \text{ g/cm}^3$ .

**Ulesanne 3.** Mitu kuupmeetrit liiva võib laadida 5-tonnilisele veoautole?  
Vastus: 3,33 kuupmeetrit.

**Ulesanne 4.** Kui palju kaalub õhulaeva „B-7“ täitev vesinik, kui selle õhulaeva ruumala on 6500 m<sup>3</sup>?  
Vastus: 585 kg.

**Ulesanne 5.** Pudeli maht on 50 liitrit. Mitu kilogrammi väävelhapet mahub sellesse pudelisse?  
Vastus: 92 kg.

§ 17. **Mõõtmiste täpsus.** Kujutleme, et peame mõõtma risttahuka pikkust mõõtpulgaga ja nihkkaliibri abil. Me asetame mõõtpulgaga risttahuka peale ja näeme, et selle pikkus on veidi üle 29 millimeetri (joon. 40). Võime öelda, et risttahuka pikkus võrdub ligikaudu 29 mm. Kui risttahuka pikkus oleks lähem 30 millimeetrile, siis me ütleksime, et tema pikkus on ligikaudu 30 mm. Kui aga mõõdetava eseme ots asetseks 29 ja 30 mm jaotiste keskpäigas, võiksime öelda, et risttahuka pikkus on ligikaudu 29,5 mm.

Kõik mõõtpulgaga mõõtmisel saadud arvud on ebatäpsed.



Joon. 40. Risttahuka pikkuse mõõtmine mõõtpulgaga. Mõõtpulgaga on võimalik määrata pikkust täpsusega kuni 0,5 mm.

Tegelikult võib risttahuka pikkus sisaldada millimeetri kümnendikke, sajandikke, tuhandikke ja veelgi väiksemaid murdosi. Ei ole aga kerge määrata kümnendmillimeetrit palja silmaga. Uks mõõtja ütleks, et kümnendike arv on 4, teine näeks 3 kümnendikku, kolmas arvaks, et neid on 5. Et mõõtpulgaga mõõtmisel olla kindel saadud arvude täpsuses, tuleb arvestada ainult täismillimeetritega.

Et mõõta risttahuka pikkust kümnendiku millimeetri täpsusega, tuleks meil tarvitada nooniuusega varustatud nihkkaliibrit. Et mõõta pikkust sajandikmillimeetri täpsusega, peaksime võtma mikromeetri.

Vajalik mõõtmistäpsus oleneb mõõdetava eseme ülesandest. Näiteks raudteerööpa paksuse mõõtmisel piisab ühe millimeetri täpsusest. Väntvõlli mõõdetakse täpsusega kuni 0,05 mm jne.

Mõõduriista täpsus on seda suurem, mida väiksemad on tema jaotised. Mida väiksemad on jaotised, seda väiksem on mõõtmisviga.

Füüsikas ja tehnikas toimetatakse mõõtmisi suurima täpsusega. Näiteks võib mõõta tillukese keha pikkust, mille mõõdud on 1 sentimeetrist miljon korda väiksemad, võib kaaluda keha, mis on 1 grammist miljon korda kergem.

Tööstuses on kvalifitseeritud töölistel kasutada mõõteriistu, milledega võib väga täpselt mõõta üksikuid detaile.

Tuleb alati meeles pidada, et valmistatava detaili mõõdud peavad täpselt vastama joonestisele või kindlaksmääratud standardile. Standardile mittevastav töö põhjustab materjali, väärtusliku inimtööjõu ja energia kadu.

Kujutleme, et kaks töölist valmistavad võlli ja laagripuksi ühele ja samale mootorile. Võlli valmistav tööline sooritab oma töö täpselt, aga tööline, kes treib laagripuksi, teeb vea: laagripuksi läbimõõt osutub joonestisel antud mõõdust väiksemaks. Kas saab kokku monteerida seda mootorit? Muidugi mitte.

Mõnikord osutub siiski võimalikuks kokku panna mootorit, masinriista või relva halvastitöödeldud detailidest. Kuid mootor, masinriist või relv võib töötamise ajal „alt vedada“. Võib juhtuda õnnetus, kus kannatavad inimesed ja hävineb seadistu. Standardile mittevastav töö on — praak.

## Teine peatükk.

### TAHKED KEHAD.

§ 18. **Tahked kehad.** Tahketel kehadel on kindel kuju. Teras, vask, graniit, telliskivi, klaas, plastilised massid, puit, riie, paber, lõng — kõik need on tahked kehad.

Tahke keha kuju muutmiseks on vajalik teatav jõupingutus. Näiteks terasplaadikese või vasktraadi painutamiseks, köie kokkurullimiseks, paberilehe kokkumurdmiseks või kortsutamiseks on vaja kasutada teatavat jõudu.

Jõudu on vaja ka tahke keha purustamiseks. Näiteks traadi või nõõri katkitõmbamiseks, graniiditükki lõhkumiseks või puutüki pooleksmurdmiseks peame kulutama jõudu.

Tahketel kehadel on eriti suur tähtsus tehnikas ja ka igapäevases elus. See on arusaadav, kui meenutame, et kõik masinad ja tööriistad, hooned ja sillad, teed ja veokid on valmistatud mitmesugustest tahketest kehadest: metallidest, kivist, telliskivist, betoonist, puidust, klaasist, kummist jne.

Tootmistööline peab hästi tundma tahkete kehade omadusi.

Ainult see tootmistööline, kes hästi tunneb tahkete kehade omadusi, võib aru saada, mis põhjusel mõni masinaosa tehakse terasest ja mitte messingist.

Ainult see tootmistööline, kes hästi tunneb tahkete kehade omadusi, suudab õigesti valida sobivaid materjale mõne uue masina või masinaosa valmistamiseks.

§ 19. **Kõvadus.** Tahke keha väga tähtsaks omaduseks on kõvadus. Kõige kõvem keha on teemant. Sulam „pobediit“ on oma kõvaduselt lähedane teemandile. Siis järgnevad alaneva kõvaduse järjekorras: karborund, karastatud teras, malm, terasvalu, raud, vask, plii, talk, vaha.

Mida kõvem keha on, seda raskem on teda kriimustada.

Teemandiga võib kriimustada ja lõigata kõiki teisi aineid: klaasi, terast jne. Seevastu on teemandit väga raske kriimustada mõne teise ainega; seda võib vahest teha ainult heast pobediidist valmistatud lõiketeraga.

Et teada saada, kumb kahest kehest on kõvem, tuleb kat-  
suda kriimustada ühte keha teise keha terava nurgaga. Peh-  
memale kehale jääb kriimustis. Sel teel leiame, et terasvalu  
on klaasist pehmem. Teras, näiteks terasest nuga, ei jäta klaa-  
sile kriimustusjälge, klaasikild aga kriimustab kergesti noa-  
tera.

Lõikeriist peab tingimata olema töödeldava detaili ainest  
kõvem. Lõikeriistade valmistamiseks kasutatakse kõvemaid  
terasosorte — tööriistaterast.

Mõnikord keevitatakse lõiketera  
otsale tükike pobediiti (joon. 41).  
Pobediitotsaga lõiketera abil  
võib töödelda kõige kõvemaid  
aineid. Eriti kõvade ainete töötle-  
miseks kinnitatakse lõiketera ots-  
sale mõnikord ka väike teemant.  
Pobediidist või teemandist ots-  
tega lõiketerad on kasutamisel palju vastupidavamad kui hari-  
likud lõiketerad.



Joon. 41. Pobediidist otsaga  
lõiketera. Lõiketera peab olema  
töödeldavast ainest kõvem.

Karastamine suurendab kõvadust. Kõvaduse suurendami-  
seks karastatakse mitmeid detaile, näiteks hammasrattaid.

Sulamj kõvadus on sageli suurem kui sulami koosteanete  
kõvadus. Raua ja süsiniku sulam — teras — on rauast ja süsini-  
kust kõvem. Vase ja tina sulam — pronks — on väsest ja  
tinast kõvem. Alumiiniumi, vase ja nikli sulam — duralumi-  
inium — on kõvem kui alumiinium, vask ja nikkel.

§ 20. **Elastsus ja plastilisus.** Tahked kehad võivad olla  
elastsed või plastilised. Teras, kummi, klaas või puit on elastsed  
ained. Vask, toorsavi, tina või vaha on plastilised ained.

Võtame terasplaadikese ja painutame seda. Kui me plaa-  
dikese lahti laseme, sirgeneb see ja näeb välja nagu ennegi.  
Välismõju lakkamisel saab plaadike oma endise kuju tagasi.  
Kui painutame õhukest puitliistu (näiteks joonlauda) või puit-  
vitsa, näeme, et surve lakkamisel saavad ka need tagasi oma  
endise kuju. Surume käega tahvelklaasi tükile: klaas paindub.  
Kui surve lakkab, saab klaas tagasi endise kuju. Teras, puit ja  
klaas on elastsed.

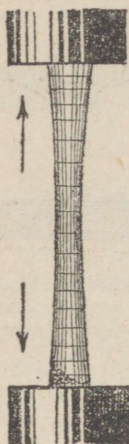
**Elastseteks kehadeks nimetatakse kehi, mis välisungi mõju  
lakkamisel saavad iseenesest tagasi oma esialgse kuju.**

Painutame vasktraati ja laseme ta siis lahti — traat jääb  
painutatuks. Vasktraadile võib anda ükskõik mis kuju, võib  
ta põimida igasugusteks sõlmedeks ja mustriteks. Vasktraat

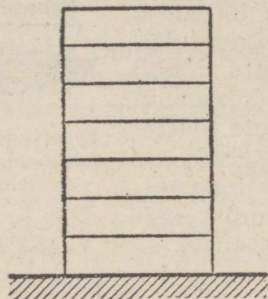
säilitab talle antud kuju ega lähe ise tagasi oma esialgsesse asendisse.

Ka toores savi ja vaha ei saa peale muljumist oma endist kuju iseenesest tagasi. Vask, savi ja vaha on plastilised.

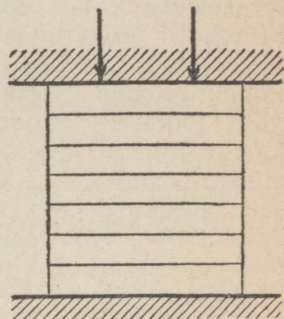
Plastilisteks kehadeks nimetatakse kehi, mis välise tungi mõju lakkamisel ei saa iseenesest tagasi oma esialgset kuju.



Joon. 42. Tõmme. Keha pikkus suureneb tõmbel.

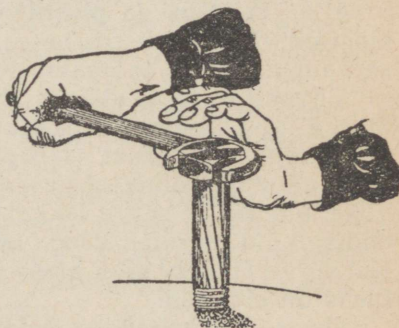


Joon. 43. Surve. Keha muutub kokkusurumisel lamedamaks.



Uks ja sama keha ei ole alati elastne. Kuulsime praegu, et teras on elastne. Kuumutamisel kaotab teras aga järk-järgult oma elastsuse. Kollaseks kuumutatud teras on täiesti plastiline ning kõlbab igasuguste detailide väljatagumiseks. Klaas on harilikus seisukorras elastne. Kuumutamisel aga muutub klaas järjest plastilisemaks. Kuumutamisel pehmenenud klaasist võib puhuda või tõmmata igasuguseid tooteid. Kuumi klaastorusid võib vabalt painutada.

Keha elastsus suureneb tavaliselt jahtumisel.

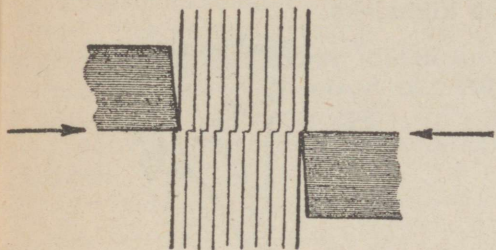


Joon. 44. Vääne.

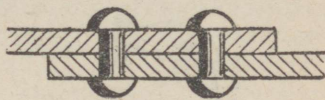
§ 21. Põhilised deformatsioonid. Tahkete kehade kuju võib muuta. Seda kujumuutust nimetatakse deformatsiooniks.

Keha kuju võib muuta mitmel viisil. Sagedamalt esinevad järgmised deformatsioonid:

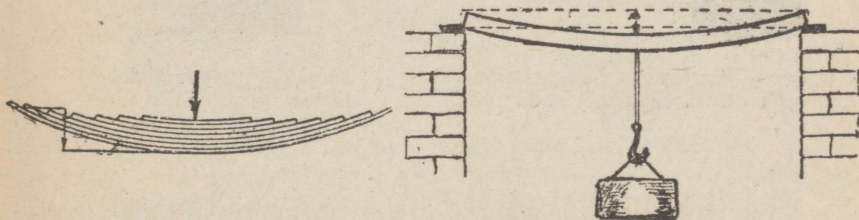
**Tõmme** (joon. 42). Tõmbele peavad vastu panema köied ja trossid, mille otsas ripub raskus; poldid, mille abil on suletud katlakaas; ajamirihmad ja paljud muud masinate detailid.



Joon. 45. Nihke-deformatsioon.



Joon. 46. Needid võtavad vastu nihkepinget.



Joon. 47. Paine.

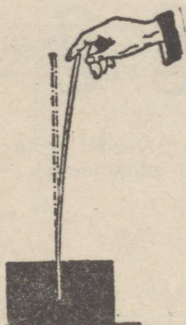
**Surve** (joon. 43). Surve mõju all on võlvikandvad sambad, hoonete vundamendid ja masinate alused, laagri tugi-plaadid jne.

**Vääne** (joon. 44). Väände peavad vastu panema rihma-seibide võllid, mootorite ja masinate võllid, auto või traktori roolivõll ja palju muud.

**Nihe** ehk **lõige** (joon. 45). Nihe tekib, kui deformeeritav ese on surutud kahe teineteise suhtes nihkuva pinna vahele. Needid, mis ühendavad omavahel mingisuguseid detaile (näiteks aurukatla katteplaate), panevad vastu nihkepingele (joon. 46).

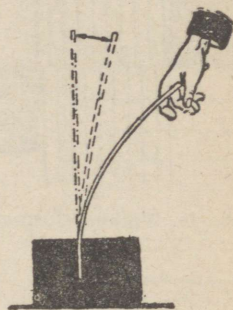
**Paine** (joon. 47). Paindepinge all on hoonete kandetalad, raudteerööpad rongi ülesõitmisel, rataste teljed, sildade kaared, lennukite kandepinnad jne.

§ 22. **Haprus.** On olemas kehi, mis ei kannata suuri deformatsioone. Kui muudame sarnase keha kuju, keha puruneb. Katsume painutada pikka klaastoru. Kui me painutame teda ainult kergelt, siis läheb ta jälle sirgeks nagu elastne keha. Aga tugevamal painutamisel klaastoru murdub. Katsume taguda pliitükki — see kärgardub. Lööme haamriga vastu graniiditükki — graniit puruneb kildudeks.



Joon. 48. Kergel deformatsioonil ajab terasplaadike enda jälle sirgu.

Jääddeformatsioon



Joon. 49. Tugeval deformatsioonil jääb terasplaadike painutatuks.

Graniit ja klaas on haprad ained, niisama nagu malm, tööriistateras, portselan, betoon ja telliskivi.

**Habrasteks kehadeks nimetatakse kehi, mis ei kannata suuri deformatsioone.**

Haprad kehad on väga tundlikud löökidele.

Uks ja sama keha ei ole alati ühevõrra habras. Näiteks klaas kaotab kuumutamisel järk-järgult oma hapruse. Eespool nägime, et kuuma klaasi võib soovikohaselt venitada. Ka teras ja malm kaotavad kuumutamisel oma hapruse.

Terase haprus kasvab karastamisel.

§ 23. **Elastne deformatsioon ja jääddeformatsioon.** Nüüd räägime tahkete kehade deformatsiooni liikidest. Terasel on tehnikas eriti suur tähtsus, seepärast vaatleme terase deformatsiooni. Võtame karastamata terasest valmistatud plaadikese ja painutame teda kergelt. Kui laseme plaadikese lahti, ajab ta enda sirgu ja saab oma endise kuju tagasi (joon. 48).

Painutame nüüd sama plaadikest tugevasti (joon. 49). Plaa-

dikese lahtilaskmisel ei aja ta end täiesti sirgu, vaid säilitab kergelt-painutatud kuju.

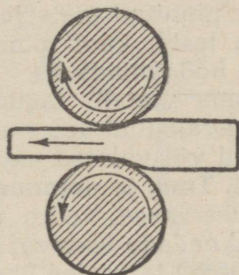
Elastse keha tugev deformatsioon põhjustab „jäävdeformatsiooni“. Jäävdeformatsioone esineb niihästi paindel kui ka tõmbel, survel, väändel ja nihkel.

Masinate detaile võib koormata ainult sedavõrd, kui ei teki jäävdeformatsioone. Jäävdeformatsioonid põhjustavad detaili kuju muutumist: detail on kõlbmatu. Talad kõverduvad, lennukitiibade otsad painduvad üles, võllid keerduvad, needistised lagunevad jne.

Jäävdeformatsiooni kasutatakse stantsimisel ja valtsimisel.



Joon. 50. Stantsi läbilõige.



Joon. 51. Valtsimine.

Stantsimisel surutakse töötlus-ese stantsi (matriitsi) ja vormi vahele (joon. 50). Stants surub töödeldavat plekki nii suure jõuga vormi sisse, et plekk deformeerub jäävvalt ja omab soovitud kuju.

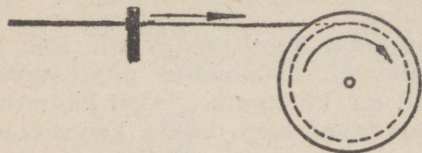
Töötlus-eseme pehmuse suurendamiseks toimub stantsimine mõnikord kuumalt.

Stantsimine leiab tööstuses laialdast kasutamist. Sel teel valmistatakse autokerede osi, väntvõlle, lennukite metallkatteid ja palju muud.

Valtsimine seisneb selles, et töödeldav materjal — metalseid plekid, pangad või latid — lastakse pöörlevate valtside vahelt läbi (joon. 51). Võllid vajutavad töödeldavat metalli nii kõvasti kokku, et see muutub õhemaks. Mitmekordse valtsimise teel võib valmistada väga õhukesti plekke ja latte.

Traadivalmistamisel tõmmatakse metall kitsast avast läbi (joon. 52). Seejuures omandab traat jäävdeformatsiooni ja läheb peenemaks. Väga peene traadi valmistamiseks tõmmatakse töödeldav metall järk-järgult kitsenevatelt aukudest läbi.

Selleks, et ava ääred ei kuluks liiga kiiresti, peab ava olema tehtud mõnesse väga kõvasse materjalisse. Eriti peenikese traadi valmistamiseks on ava tehtud teemanditükisse.



Joon. 52. Traaditõmbamine.

Kui pinnitud materjalid punaseks kuumutada ja aeglaselt jahtuda lasta, kaob pinne. Sarnast pinde kõrvaldamist nimetatakse hõõgutamiseks.

Kuuma metalli tagumisel ja valtsimisel pinnet ei teki. Külmalt-valtsitud või stantsitud metall on seepärast kuumalt-valtsitud või valatud metallist kõvem.

§ 24. **Tung ja deformatsioon. Dünamomeetrid.** Elastse keha (terasplaadikese, vedru või kumminuia) deformeerimiseks on vaja rakendada teatavat jõudu.

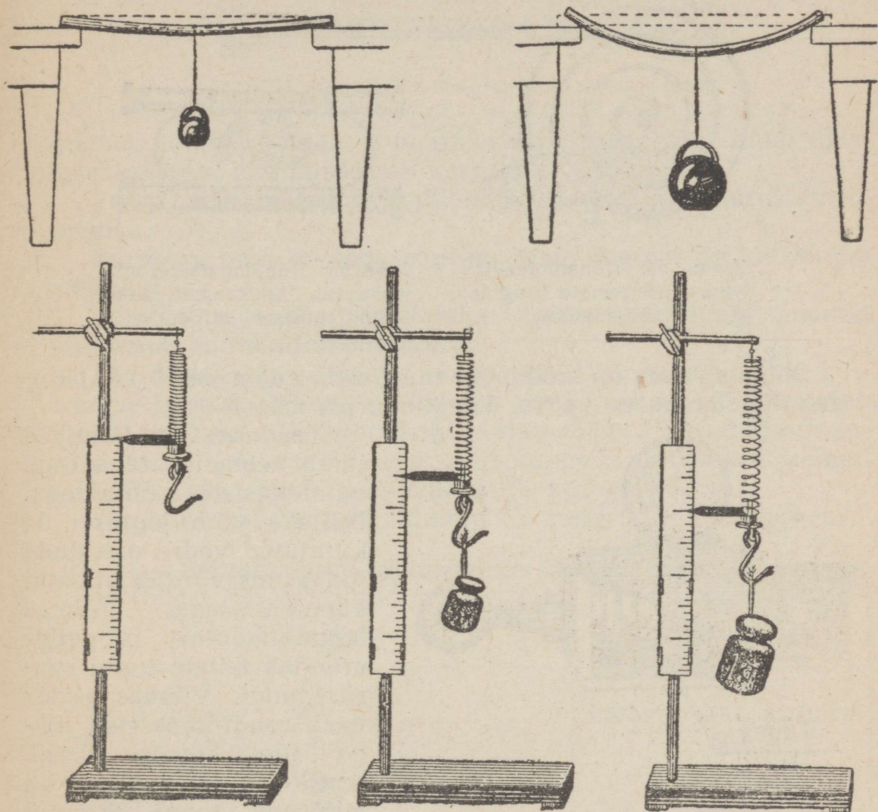
Asetame terasplaadikese kahe toe vahele või riputame üles väikese vedru (joon. 53). Plaadikese või vedru taha kinnitame millimeeterpaberi. Nüüd koormame plaadikese või vedru vihtidega — plaadike või vedru deformeerub. Mida suurem on koormus, seda suurem on ka deformatsioon. Kui näiteks  $\frac{1}{2}$ -kilogrammise koormuse puhul vedru pikeneb 5 sentimeetri võrra, siis 1 kilogramm venitab vedru 10 sentimeetri võrra ja  $1\frac{1}{2}$  kilogrammi 15 sentimeetri võrra.

Mida suurem on mõjuv tung, seda suurem on tahke keha kujumuude. Seda tungi omadust — põhjustada deformatsiooni — kasutatakse sageli tungi suuruse mõõtmiseks.

**Tungid, mis põhjustavad võrdset deformatsiooni, on võrdsed.**

Näiteks, et mõõta kahe inimese musklijõudu, pannakse neid venitama vedru (või kummit). Tugevam on see, kes suudab vedru pikemaks venitada. Kui mõlemad venitavad vedru võrdselt pikaks, on mõlema musklijõud võrdne.

Tungide mõõtmiseks ehitatakse ninimetatud dünamomeetreid. Väiksemate tungide mõõtmiseks tarvitatakse dünamomeetreid elastse niidikesega või vedrukesega, mis meenutab

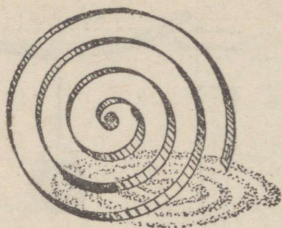


Joon. 53. Mida suurem on koormus, seda suurem on deformatsioon. Suurem koormus painutab terasplaadikest rohkem või venitab vedru pikemaks.

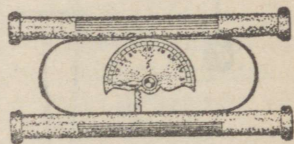
taskukella jõhvvedru (joon. 54). Edaspidi näeme, et selliseid vedrukesi kasutatakse tungide mõõtmiseks kõigis elektrimõõteriistades: voltmeetrites, ampermeetrites jne. Mitmekümne kilogrammi suuruste tungide mõõtmiseks kasutatakse joon. 55 kujutatud dünamomeetrit.

Tungi mõõdab siin elastne terasvedru. Mitme tonni suu-

ruste tungide (näiteks veduri tõmbejõu) mõõtmiseks tarvita-  
takse pakse spiraalvedrusid (joon. 56).

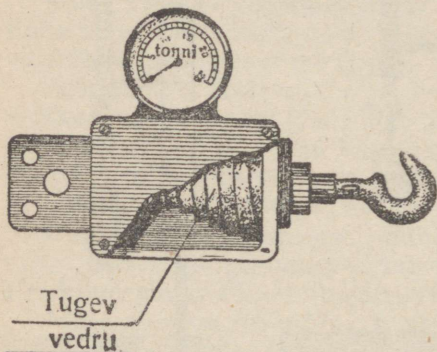


Joon. 54. Dünamomeetri  
vedru nõrgemate tungide  
mõõtmiseks.



Joon. 55. Dünamomeeter mit-  
mekümne kilogrammi suu-  
ruste tungide mõõtmiseks.

Mida suurem on mõõdetav tung, seda enam venib või pain-  
dub dünamomeetri vedru. Tungi suurust näitab osuti.



Joon. 56. Mitme tonni suuruste tungide  
mõõtmiseks kasutatav dünamomeeter.

Teaduses ja tehnikas  
tuleb tegemist teha õige  
mitmekesiste tungidega.  
Näiteks võib joonisel 54  
kujutatud vedru arendada  
tungi, mis võrdub grammi  
kümnesosaga. Võimsa  
lennukimootori propeller  
arendab mitme tonni suu-  
rust tungi. Võimas vedur  
veab rongi-koosseisu jõu-  
ga üle kümne tonni.  
Aurikukruvi veojõud on  
mitusada tonni. Pressid  
arendavad määratu suuri  
tunge, mis ületavad

kümne tuhat tonni. Päike tõmbab Maad ligi kujutlemata suure  
tungiga — kaks triljonit tonni.

§ 25. **Purustav tung. Tõmbetugevus.** Tootmistöölisel on  
väga tähtis teada, kui suurt koormust kannatab üks või teine  
detail; ta peab tundma detaili vastupidavust. See vastupidavus  
oleneb esijoones detaili valmistusmaterjalist. Sellepärast, et  
ette kindlaks teha detaili vastupidavust, allutatakse kõik  
materjalid tugevuskatsule.

Tõmbetugevuse määramiseks treitakse katsutavast metallist joon. 57 näidatud katsukeha. Seda katsukeha rebitakse



Joon. 57. Katsukeha metalli tugevuskatsu jaoks.

erilises tõmbemasinas, kus on olemas seadeldis tungi ülesmärkimiseks, mis põhjustab katsukeha katkemise.

**Tungi, mis põhjustab katkemist, nimetatakse purustavaks tungiks.**

**Purustav tung on seda suurem, mida suurem on katsukeha põikpind.**

**Tõmbetugevuseks nimetatakse purustava tungi suurust põikpinna ruutmillimeetri kohta.**

Kui teraskangi põikpind on 25 ruutmillimeetrit ja kui katkemine toimus 1500-kilogrammise tungi juures, siis tähendab see, et iga ruutmillimeetri kohta tuleb  $1500 : 25 = 60$ -kilogramm tung. Katsutava terase tõmbetugevus on 60 kilogrammi ruutmillimeetri peale (lühendatult  $60 \text{ kg/mm}^2$ ).

Järgmises tabelis on toodud mõne materjali tõmbetugevus.

#### Mitmesuguste materjalide tõmbetugevus.

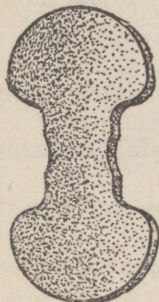
Materjal	Tõmbetugevus
Tööriistateras . . . . .	umbes 200 $\text{kg/mm}^2$
Valatud teras . . . . .	" 60 "
Raud . . . . .	" 50 "
Malm . . . . .	" 20 "
Vask . . . . .	" 15 "
Duralumiinium . . . . .	" 40 "
Tammepuit, piki kiudu . . . . .	" 10 "
Männipuit, piki kiudu . . . . .	" 8 "
Plii . . . . .	" 1,5 "

Ka tsemendi tõmbetugevust katsutakse. Sel otstarbel valmistatakse tsemendist katsukehi, nagu joon. 58 näidatud.

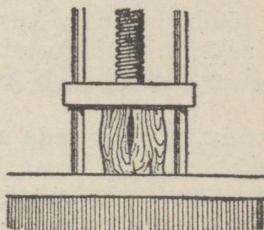
Materjalidel, nagu betoon, graniit, telliskivi, malm, ei katsuta tõmbetugevust, vaid survetugevust. Survekatsu puhul

valmistatakse katsutavast materjalist kuup, mille servad on pikad mõni sentimeeter, ning surutakse see kuup kokku võimsa pressi abil (joon. 59).

Järgmises tabelis on toodud mõne materjali survetugevus.



Joon. 58. Tsemendist katsukeha tõmbekatsu jaoks.



Joon. 59. Survekats.

### Mitmesuguste materjalide survetugevus.

Materjal	Survetugevus
Malm . . . . .	umbes 6000 kg/cm <sup>2</sup>
Graniit . . . . .	" 2000 "
Lubjakivi . . . . .	" 1200 "
Tammepuit, piki kiudu . . . . .	" 300 "
Männipuit, piki kiudu . . . . .	" 250 "
Telliskivi . . . . .	" 200 "
Tsement liivaga . . . . .	" 150 "

**Ulesanne 1.** Kui suurt tungi on vaja teraspoldi katkirebimiseks, mille põikpind on 120 mm<sup>2</sup>?  
Vastus: 7200 kg.

**Ulesanne 2.** Kui suur koormus muljub puruks telliskivi, mille pikkus on 20 cm ning laius 10 cm?  
Vastus: 40 tonni.

§ 26. **Lubatud pinged.\*** Uhtegi detaili ei tohi koormata nii, et pinged oleks lähedane purustavale pingele.

\* Pingeks nimetatakse pinnaühikule mõjuvat tungi. (Tõlkija.)

Kui pinge on lähedane purustavale pingele, võib detail murduda väikese ülekoormuse puhul (või ka juhul, kui materjalis leidub mõni väiksem viga). Sel põhjusel peab detaili koormus olema purustavast pingest palju väiksem.

Koormust, mida detail kannatab, ilma et oleks karta detaili murdumist, nimetatakse lubatud pingeks.

Lubatud pinge peab olema mitu korda väiksem kui purustav pinge (näiteks kümme korda väiksem või isegi veel väiksem). Esimesel pilgul tundub kummaline, et lubatud pinge on nii väike. Asi on aga selles, et iga detail peab suutma taluda mitte ainult püsivat koormust, vaid peale selle veel juhuslikult tekkida võivaid tõukeid. Ka põhjustavad suured pinged jäävdeformatsioone, mida ei tohi lubada.

**N ä i d e.** Leida teraspoldi põikpind, mis peab kandma 300-kilogrammist koormust.

Tabelikohaselt on terase tõmbetugevus 60 kilogrammi ühe ruutmillimeetri kohta. Oletame, et lubatud pinge on purustavast pingest kümme korda väiksem. Järelikult poldi põikpinna iga ruutmillimeeter kannatab 6 kilogrammi suurust koormust. Pold peab aga kandma 300-kilogrammist koormust. Sellest järeldub, et poldi põikpind peab olema  $300 : 6 = 50$  ruutmillimeetrit.

**Ülesanne 1.** Leida terastrossi põikpind 1200-kilogrammiste raskuste tõstmiseks (selles ja järgnevais ülesandeis on lubatud pinge kümme korda väiksem kui purustav pinge).

Vastus: 200 mm<sup>2</sup>.

**Ülesanne 2.** Leida vasktraadi põikpind, kui koormus on 20 kilogrammi.

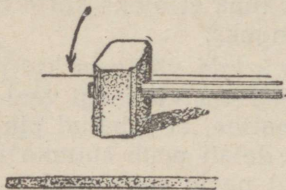
Vastus: 10 mm<sup>2</sup>.

**Ülesanne 3.** Kui suurt survet kannatab tsement-alus, mille suurus on 20 × 20 sentimeetrit?

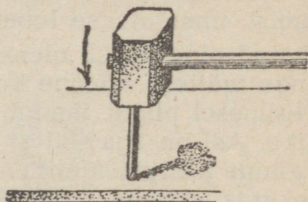
Vastus: 6 tonni.

§ 27. **Tahke keha rõhk aluspinnale.** Ühe või teise tungi purustav mõju oleneb pindala suurusest, millele tung jaotub. Me teame, et haamrilöök ei jäta puidutükile peaaegu mingisugust jälge. Kui aga asetada meisliots vastu puitu ja lüüa haamriga meislile, siis tungib meisel sügavale puitu. Löögitung oli mõlemal juhul ligikaudu sama, kuid esimesel juhul see tung jaotus suurele pindalale (joon. 60) ja löögi mõju osutus tähtsusetuks, kuna teisel juhul tung rakendus väikesele pinnale ja põhjustas tunduvalt purustust: surudes meislit sügavalt puitu (joon. 61).

Me teame, et mida teravam on lõikeriist, näiteks nuga, seda paremini ta lõikab. See tuleb sellest, et terava noa kokkupuutepind puiduga (või mõne muu lõigatava kehaga) on väga väike.



Joon. 60. Suurele pindalale mõjuv tung põhjustab ainult väikest purustust.



Joon. 61. Väikesele pindalale mõjuv tung tekitab suurt purustust.

Mida suurem on pind, millele tung jaotub, seda väiksemat purustust tung põhjustab. Näiteks vajub jalakäija sügavale pehmesse lumme, kuna suusataja libiseb lumest kergelt üle (joon. 62). Selle põhjuseks on, et lumega kokkupuute pind on

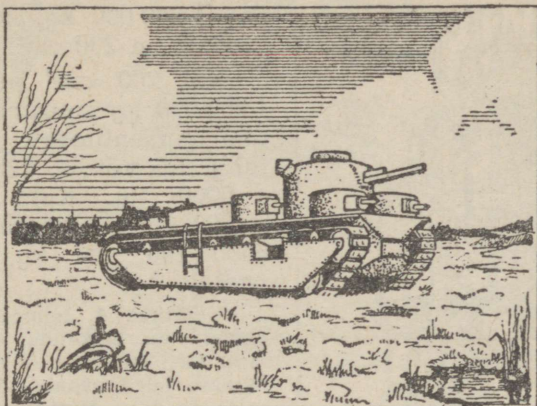


Joon. 62. Jalakäija vajub sügavale pehmesse lumme, kuna suusataja libiseb sellest kergelt üle.

suuskadel palju suurem kui jalataldadel. Määratu suured tankid, mille kaal küünib saja tonnini (joon. 63), ületavad vabalt lumevälju, liivast või soist pinda, kuna roomikute kokkupuutepind maaga on väga suur (roomikuteks nimetatakse metallinte, millel sõidavad tankid ja traktorid). Raske linttraktor veereb vabalt üle kobeda künnimaa; ka see on võimalik ainult

seetõttu, et traktori roomikutel on maaga suur kokkupuute-pind.

§ 28. Rõhumise, tugipinna ja tungi vahekord. Et määrata



Joon. 63. Raske tank ületab kergelt liivast või soist maastikku.

tungi purustusvõimet, tuleb jagada tungi suurust pindala suurusega, millele tung jaotub.

Rõhuks nimetatakse tungi, mis mõjub aluspinna ühikule. Rõhk on tung jagatud pindalaga:

$$\text{rõhk} = \frac{\text{tung}}{\text{pindala}}$$

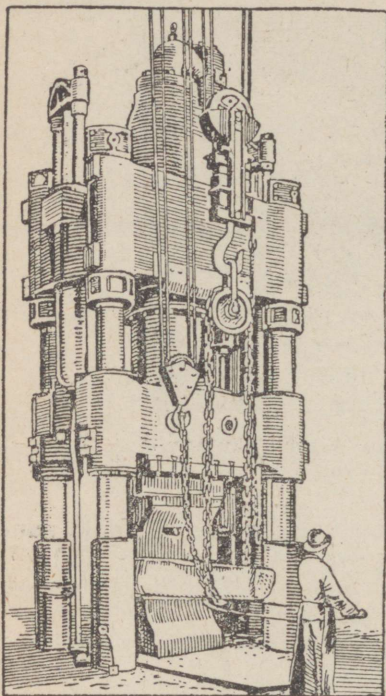
Rõhku väljendatakse tavaliselt kilogrammides ühe ruut-sentimeetri kohta (tähis:  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Näide 1. Rasketanki kaal on 80 tonni. Tanki roomikute tugipind on 16 ruutmeetrit. Leida roomikute rõhk aluspinnale.

Tung (tanki kaal) on 80 tonni ehk 80 000 kilogrammi. Roomikute tugipind on  $16 \text{ m}^2$  ehk  $160\,000 \text{ cm}^2$  (ruutmeetris on  $100 \times 100 = 10\,000 \text{ cm}^2$ ).

Kui  $160\,000 \text{ cm}^2$  peale rõhub 80 000 kilogrammi suurune tung, siis  $1 \text{ cm}^2$  peale tuleb 160 000 korda väiksem tung. Järelikult rõhk on  $80\,000 : 160\,000 = 0,5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ .

Näide 2. Press (joon. 64) arendab 1200-tonnist survet; pressi pinni pindala on 200 cm<sup>2</sup>. Leida rõhk, millega press mõjub töötlus-esemele.



Joon. 64. Press.

Samuti võivad deformeeruda laagrikausid, kui teljesurve on väga suur.

Tugipind deformeerub ainult sel juhul, kui surve ületab materjali tugevuse. Näiteks, kui püsttelg jookseb terasest tugilaagril, siis tugilaager surutakse kokku teljerõhu kasvamisel üle 60 kilogrammi ruutmillimeetri peale.

Et vältida tugipinna kokkusurumist, peab jälgima, et rõhk tugipinnale ei ületaks lubatud pinge piiri.

Kui tugipind on tsemendist, on ta tugevus 150 kilogrammi ruutsentimeetrile (v. § 25). Olgu lubatud pinge kümme korda

Pressi tung on 1200 tonni ehk 1 200 000 kg. Pressi pinni pindala on 200 cm<sup>2</sup>.

Kui 200 cm<sup>2</sup> peale rõhub 1 200 000 kg suurune tung, siis ühe ruutsentimeetri peale tuleb tung, mis võrdub  $1200000:200 = 6000$  kg. Kuid 1 cm<sup>2</sup> = 100 mm<sup>2</sup>. Seepärast rõhk on  $6000:100 = 60$  kg ühe mm<sup>2</sup> peale.

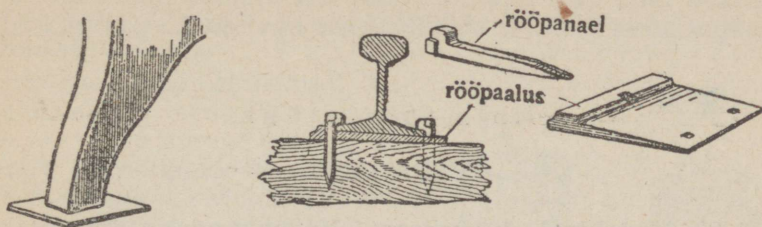
**Ulesanne 1.** Inimese jalataldade pindala on ligikaudu 450 cm<sup>2</sup>; inimese kaal on 70 kg. Leida rõhk, mida inimese jalad avaldavad aluspinnale.  
Vastus: 0,155 kg/cm<sup>2</sup>.

**Ulesanne 2.** Traktor kaalub 10 tonni; ta roomikute tugipind on 5 m<sup>2</sup>. Leida traktori rõhk aluspinnale.  
Vastus: 0,2 kg/cm<sup>2</sup>.

**Ulesanne 3.** Suusataja kaalub 80 kg; suuskade tugipind on 40 dm<sup>2</sup>. Leida suuskade rõhk lumele.  
Vastus: 0,02 kg/cm<sup>2</sup>.

**§ 29. Tugipinna kokkusurumine.** Kui surve tugipinnale on väga suur, võib tugipind deformeeruda. Kui lööme haamriga terasplekile, jääb pleki sisse sügavam sissemuljutud koht.

väiksem survetugevusest. Järelikult tsementplaadi koormus ruutsentimeetrile ei tohi ületada 15 kg.



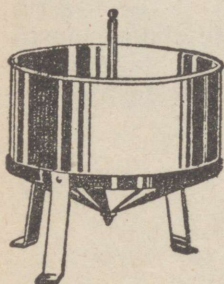
Joon. 65. Treipingi jalaste ja raudteerööbaste alla asetatakse teras-alused.

Et ära hoida tugipinna kokkusurumist, asetatakse masinriistade ja masinate jalaste alla raudalused. Ka raudteerööbaste kinnitamisel liiprite külge pannakse rööbaste alla erilised alused (joon. 65).

## Kolmas peatükk.

### VEDELIKUD.

§ 30. **Vedelikud. Viskoossus.** Vedelikkudeks nimetatakse aineid, mis omavad kindlat ruumala, kuid ei oma kindlat kuju. Bensiin, vesi, petrooleum, masinaõli, vaseliin on vedelikud.



Joon. 66. Anum viskoossuse määramiseks.

Vedelik võtab selle anuma kuju, kuhu ta on valatud. Kui valame vedeliku anumast välja, valgub ta mööda tasapinda laiali.

Sääraseid vedelikke, nagu masinaõli, glütseriin, vaseliin, nimetatakse viskoosseteks ehk sitketeks vedelikeks.

Vesi, bensiin, piiritus, eeter on mitteviskoossed ehk kergeltvoolavad vedelikud. Mida suurem on viskoossus, seda aeglasemalt voolab vedelik avast välja. Näiteks masinaõli voolab kannust palju aeglasemalt välja kui bensiin.

Mida suurem on viskoossus, seda aeglasemalt valgub laiali anumast välja valatud vedelik. Kui valame anumast välja paksu masinaõli — tavotti, siis see esialgu lamab kuhjana maas. Tavoti laialivalgumiseks on vaja mitu päeva aega. Viskoossuse määramiseks valatakse vedelik anumasse (joon. 66). Mida kauemat aega vedelik vajab avast väljavoolamiseks, seda suurem on vedeliku viskoossus. Masinaõli voolab anumast välja kõige aeglasemalt; vesi voolab sealt välja mitu korda kiiremini. Kõige kiiremini voolab välja eeter.

Viskoossus väheneb vedeliku soojenemisel.

§ 31. **Rõhumise edasiandumine vedelikus. Pascal'i seadus.** Asetame mingi tahke keha, näiteks puitklotsi, silindrisse kolvi alla (joon. 67). Rõhume kolbi käega. Puitklots annab rõhumise edasi ainult silindri põhjale.

Asetame silindrisse kolvi alla mingit peeneteralist ainet, näiteks liiva (joon. 68), ja vajutame kolvile. Liiv annab surve

edasi silindri põhjale ja ühtlasi silindri seintele. Ent rõhk põhja peale on ikkagi suurem kui rõhk seintele: liivaterad haarduvad üksteisesse kinni ega saa avaldada seintele sama tugevat survet kui põhjale.

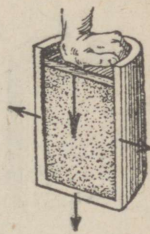
Raudteetammi ehitamisel kasutatakse ära seda liiva omadust — anda survet edasi külgsuunas ja nõrgendada allapoole suunatud survet. Muldkeha, millele asetatakse raudteeliin, on pealt kaetud kruusakihiga (seda nimetatakse pallastkihiks) (joon. 69).

Ülesõitev rong rõhub rööbas-tele; rööpad annavad selle surve edasi liipritele; need omakorda suruvad pallastkihile, mis koosneb jämedast liivast. Liiv annab survet edasi igas suunas. Selle tõttu jaotub rongi raskus suurele pindalale ja rõhk raudteeliini aluspinnale väheneb tunduvalt.

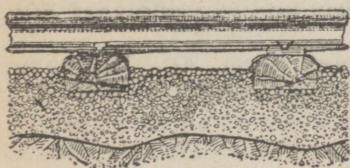
Valame nüüd silindrisse kolvi alla mingit vedelikku, näiteks vett, ja surume kolvile. Vedelik on kergesti liikuv: püüdes kolvi alt ära minna, rõhub ta ühteviisi kolbi ennast, silindri põhja ja seinu (joon. 70).



Joon. 67. Puitklots annab rõhumist edasi ainult silindri põhjale.



Joon. 68. Liiv annab rõhumist edasi anuma põhjale ja ka seintele, kuigi mitte täielikult.



Joon. 69. Pallastkiht vähendab rõhku.

**Vedelikud annavad rõhumist edasi igas suunas ühteviisi.**

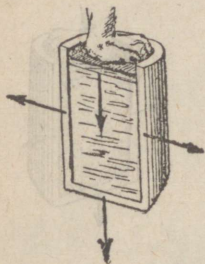
Seda seadust nimetatakse Pascal'i seaduseks.

Pascal'i seaduse selgitamiseks võib teha järgmise katse: täidame veega kerakujulise anuma, milles on rida augukesti, ja rõhume kolviga. Vesi purskab ühteviisi kõigist augukestest (joon. 71).

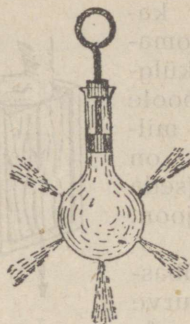
Pascal'i seadus väljendab vedelikkude põhiomadust. Kui ei tunta põhjalikult Pascal'i seadust, ei ole võimalik mõista vedelikkude teisi omadusi.

Vedeliku rõhku väljendatakse tavaliselt kilogrammides ruutsentimeetri peale. Rõhumist, kus üks kilogramm rõhub 1 ruutsentimeetrile, nimetatakse tehniliseks atmosfääriks (tähis: at)

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



Joon. 70. Vedelik annab rõhumist edasi ühte viisi anuma seintele ja põhjale.



Joon. 71. Vesi purskab ühte viisi kõigist augukestest.

### § 32. Hüdraulilised masinad.

Hüdrauliliste masinate töö põhineb vedelikkude omadusel anda rõhumist edasi igas suunas ühte viisi. Nende masinatega on võimalik saavutada väga suuri tunge.

Lihtsaim hüdrauliline masin koosneb kahest erisuurusest silindrist kolbidega: üks silinder on lai, suure läbimõõduga, kuna teine on kitsas, väikese läbimõõduga (joon. 72). Silindrid on omavahel

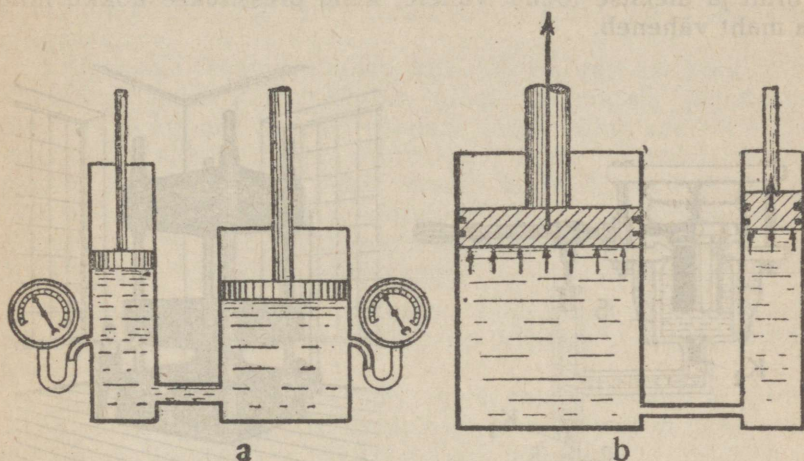
ühendatud toru kaudu ja täidetud mingi vedelikuga, tavaliselt masinaõliga. Silindrite õõnsusse on asetatud kolvid. Kolvid liibuvad tihedalt silindri seinte külge, kuid võivad ühtlasi silindris vabalt liikuda. Et vedelik ei saaks silindri seinte ja kolvi vahelt läbi immitseda, on kolvile asetatud elastsed tihendusrõngad (joon. 73). Suurema kindluse mõttes asetatakse kolvile kolm või neli sarnast rõngast.

Vaatleme veel hüdraulilist masinat (joon. 72). Vajutame käega väiksema kolvi varrele. Kolb rõhub vedelikku; see rõhk kandub edasi vedeliku kaudu ja rõhub laiema silindri kolbi.

Pascal'i seaduse kohaselt mõjub vedeliku rõhk igas suunas ühte viisi. Kui väikese kolvi igale ruutsentimeetrile mõjub näiteks kahe kilogrammi suurune tung, siis suure kolvi igale ruutsentimeetrile mõjub samuti kahe kilogrammi suurune tung. Kui väikese kolvi pindala on näiteks 10 ruutsentimeetrit, siis väikesele kolvile mõjub  $2 \cdot 10 = 20$ -kilogrammiline tung. (Ühele ruutsentimeetrile mõjub 2 kg suurune tung ja kümnele ruutsentimeetrile mõjub 10 korda suurem tung.) Kui suure kolvi pindala on näiteks  $100 \text{ cm}^2$ , siis suurele kolvile mõjub  $2 \cdot 100 = 200$ -kilogrammiline tung.

Sellest teeme tähtsa järelduse:

Mida suurem on hüdraulilise masina kolvipindala, seda suurem on kolvi peale mõjuv tung.



Joon. 72. a — hüdrauliline masin, b — hüdraulilise masina abil saavutatakse suurt rõhumist.

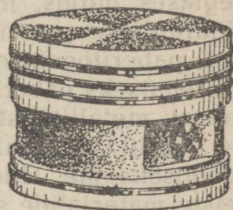
Kui rõhume väikese kolvi peale teatava jõuga, siis rõhub suur kolb ülespoole nii mitu korda suurema jõuga, kui mitu korda suure kolvi pindala on suure väikese kolvi pindalast.

### § 33. Hüdraulilised masinad tehnikas.

Hüdraulilisi masinaid tarvitatakse juhul, kui on vaja saavutada väga suurt tungi. Neid masinaid kasutatakse näiteks suurte raskuste tõstmiseks, suurekaliibriliste suurtükkide ümberpaigutamiseks (kindlustes ja sõjalaevadel), sildade tõstmiseks (avamiseks) jne.

Hüdraulilise masina üheks näiteks on hüdrauliline press ehk vesipress. Joonis 74 näitab skemaatiliselt inimjõul töötava hüdraulilise pressi ehitust.

Käepidemega kangi abil lükatakse pumbakolb veidi üles; seega imetakse vett anumast A klapi  $K_1$  kaudu, mis avaneb

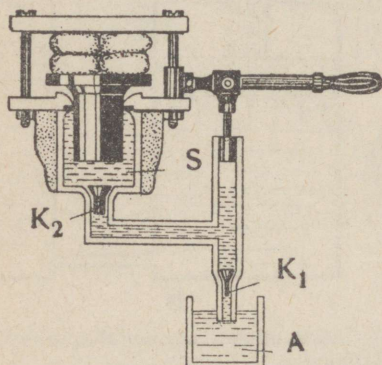


Joon. 73. Tihendus-  
rõngastega kolb.

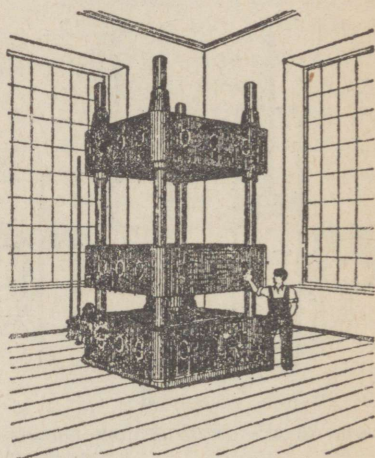
Ex bibl. univ. Tart.

ülespoole. Kolvi allalükkamisel sulgub klapp  $K_1$  ja vesi läheb toru kaudu läbi avanewa klapi  $K_2$  pressi silindrisse  $S$ , mille kolvi ta tõstab suure jõuga.

Kui asetame mingi koheva keha (näiteks puuvillapalli) suure kolvi peal olevale platvormile, siis surutakse see keha platvormi ja ülemise toendi vahele; keha pressitakse kokku ning ta maht väheneb.



Joon. 74. Hüdraulilise pressi skeem.



Joon. 75. Hüdrauliline press.

Hüdraulilise pressi peamine paremus seisneb ta sujuvas ja aeglases mõjus, mis järk-järgult kasvab teatava suuruseni. Hüdraulilise pressi rakendusvõimalused on väga mitmesugused; paberitööstuses kasutatakse seda pressi liigse vee välja-pressimiseks paberimassist, õlitööstuses — õli saamiseks seemnetest, metallitööstuses — metallide töötlemiseks (joon. 75 ja 64), eriti neetimiseks, pressimiseks, lõikamiseks, augulõõmiseks jne. Hüdraulilisi presse kasutatakse telliskivide ja teiste materjalide survetugevuse proovimiseks, heinapressimiseks, rataste kinnitamiseks telje otsa, vask- ja pliitorude valmistamiseks. Tohtu võimsusega pressid, mis arendavad 14 miljoni kilogrammiseid ja koguni veel suuremaid rõhumisi, on kasutamisel metallitehastes, kus nende abil töödeldakse raskeid valatud terasest panku. Sarnased pressid asendavad edukalt massiivseid auruvasaraid, mida tarvitati varemalt.

Suurimad tehnikas saavutatud tungid on saadud just hüdrauliliste presside abil. Võimsa pressi poolt arendatud tung on küllaldane kolmekordse kivimaja üleskergitamiseks või suure ookeaniauriku tõstmiseks.

**Näide 1.** Hüdraulilise pressi väikesele kolvile mõjub 50 kg suurune tung. Väikese kolvi pindala on  $5 \text{ cm}^2$ , suure kolvi pindala on  $100 \text{ cm}^2$ . Leida suure kolvi poolt tekitatud tungi suurus.

Kõigepealt teeme kindlaks, kui suur on väikese kolvi rõhk vedeliku peale. Rõhk võrdub tungi ja pindala jagatisega:  $50 : 5 = 10 \text{ kg/cm}^2$ . Pascal'i seaduse järgi mõjub see rõhk igas suunas. Järelikult mõjub suure kolvi igale ruutsentimeetrile samuti 10 kg suurune rõhk. Kuna suure kolvi pindala on  $100 \text{ cm}^2$ , siis kogu kolvile mõjub 100 korda suurem surve, ja nimelt  $10 \cdot 100 = 1000$  kilogrammi. Niisiis tekitab suur kolb 1000 kg ehk 1 tonni suuruse tungi.

**Näide 2.** Õlirõhk võimsas hüdraulilises pressis on  $200 \text{ kg/cm}^2$ . Suure kolvi pindala on  $1500 \text{ cm}^2$ . Leida suurele kolvile mõjuv tung.

Kolvi pindala on  $1500 \text{ cm}^2$ ; igale ruutsentimeetrile mõjub 200 kg suurune tung. Järelikult kogu kolvile mõjub tung, mille suurus on  $200 \cdot 1500 = 300\,000 \text{ kg}$  ehk 300 tonni.

**Ülesanne 1.** Hüdraulilise pressi väikese kolvi pindala on  $4 \text{ cm}^2$ . Suure kolvi pindala on  $180 \text{ cm}^2$ . Väikesele kolvile mõjub 40 kg suurune tung. Kui suurt survetungi tekitab suur kolb?

Vastus: 1800 kg.

**Ülesanne 2.** Hüdraulilise pressi väikese silindri läbimõõt on 2 cm; suure silindri läbimõõt on 15 cm; väikesele kolvile mõjub 250 kg suurune tung. Leida suure kolvi poolt tekitatud tung.

Vastus: 14,06 tonni.

**§ 34. Rõhumine vedeliku sees.** Igal vedelikul on teatav raskus ehk kaal.

**Vedeliku raskus tekitab rõhumist.**

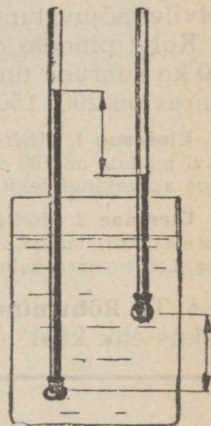
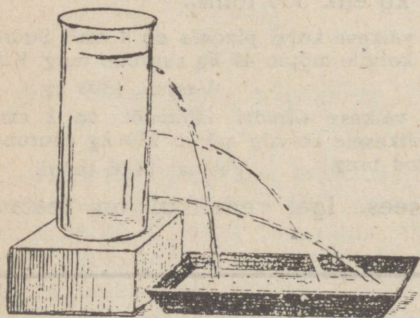
Võtame anuma, mille seinas on mitmesugusel kõrgusel asetsevad augud, ja valame sellesse anumasse vett. Me näeme, et vesi hakkab aukudest välja voolama. Mida madalamal asetseb auk, seda kaugemale purskab vesi sellest august välja (joon. 76): vesi voolab alumistest aukudest suurema survega kui ülemistest.

Teeme veel järgmise katse: suleme klaastorukese ühe otsa õhukese kummimembraani abil, nii et membraan moodustab väikese kotikese. Valame torukesse värvistatud vett (joon. 77) ja märgime ära koha, milleni ulatub veesamba tase torukeses (selleks võib torukese seinale kleepida kitsa pabeririba). Kui nüüd vajutame torukest sügavamale vee alla, näeme, et mida sügavamal ta asetseb, seda kõrgemale tõuseb värvistatud vee tase (joon. 77).

Neist katsetest võib teha tähtsa järelduse:

**Mida sügavamal vedelikus asetseb keha, seda suurema rõhumise osaliseks ta saab.**

Jaotame mõttes mingis anumaski oleva vedeliku üksikuteks rõhksateks kihtideks (joon. 78). Meie joonisel on need kihid tähistatud numbritega 1, 2, 3 jne. Kõige kõrgem kiht 1 rõhub oma raskusega kihile 2.



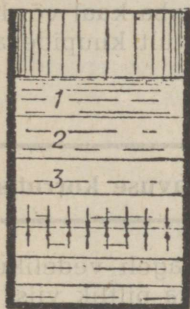
Joon. 76. Mida madalamal asetseb ava, seda kaugemale purskab veejuga.

Joon. 77. Vedeliku rõhk kasvab ühes suureneva sügavusega.

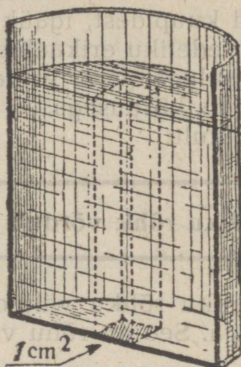
Pascal'i seaduse järgi mõjub see rõhk igas suunas ühteviisi: kihi 2 osakesed kannavad igast küljest rõhust, mida avaldab neisse ülemine kiht 1. Kihi 3 osakesed kannavad juba kahe

kihi (kihi 1 ja kihi 2) rõhumist. Kõige madalamal asetsevad osakesed kannavad aga kõigi ülemiste kihtide rõhumist. Teeme siit sama järelduse mis katsetestki: mida madalamal asub keha pinnaosa, seda suurema rõhu osaliseks ta saab.

Nüüd arvutame välja rõhu suuruse, mida vedelik põhjustab oma raskusega.



Joon. 78. Vedeliku kihid rõhuvad üksteisele.



Joon. 79. Vedeliku rõhk võrdub püstsamba kaaluga, mille aluseks on 1 cm<sup>2</sup>.

Joonis 79 kujutab vedelikuga täidetud anumad. 5 sentimeetri sügavuses on joonistatud ettekujutatav horisontaalne tasapind suurusega 1 cm<sup>2</sup>. Sellele tasapinnale toetub vedelikusambake, mis ulatub vedeliku vaba pinnani. Rõhu suuruse määrab pindalaühikule mõjuv tung. Seepärast ongi tung, millega vedelikusambake rõhub oma põhipinnale, vedeliku rõhu suuruseks antud sügavuses. Seega tuleme väga lihtsale järeldusele:

**Vedeliku rõhk antud sügavuses võrdub vedeliku püstsamba kaaluga, mille aluseks on 1 cm<sup>2</sup> ja kõrguseks on antud sügavuse kaugus vedeliku pinnast.**

Kui anumad on vesi, mille erikaal on 1, siis ülalkirjeldatud püstsambas, mille maht on 5 cm<sup>3</sup>, kaalub 5 g. Selle püstsamba rõhk on 5 g/cm<sup>2</sup>.

Kui valame anumasse petrooleumi, mille erikaal on  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , siis kaalub kirjeldatud püstsammas  $5 \cdot 0,8 = 4$  grammi. Petrooleumi rõhk 5 cm sügavuses on  $4 \text{ g/cm}^2$ .

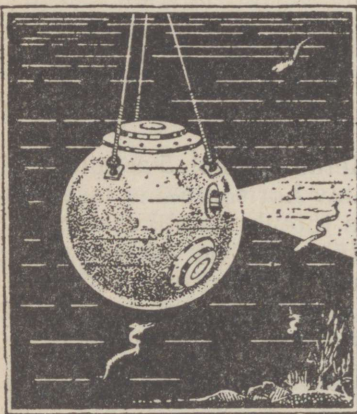
Kui anum on täidetud elavhõbedaga, mille erikaal on  $13,6 \text{ g/cm}^3$ , siis on püstsamba kaal  $13,6 \cdot 5 = 68 \text{ g}$ . Elavhõbeda rõhk 5 cm sügavuses on  $68 \text{ g/cm}^2$ .

Oletame, et kirjeldatud püstsammas koosneb üksteise otsa asetatud kuupidest, igaüks mahuga  $1 \text{ cm}^3$ . Iga kuubi kaal on võrdne vedeliku erikaaluga. Kogu püstsamba kaal võrdub ühe kuubi kaaluga (s. o. erikaaluga) korrutatult kuupide arvuga, s. o. samba kõrgusega.

Järelikult:

**Vedeliku rõhk võrdub erikaalu ja sügavuse korrutisega.**

Vedeliku rõhku väljendatakse väga sageli vedelikusamba kõrgusega. See on rõhu väljendamise väga piltlik viis.



Joon. 80. Batisfäär.

Näiteks selle asemel, et öelda: „rõhk võrdub  $0,5 \text{ kg}$  ehk  $500$  grammiga ruutsentimeetri peale“, öeldakse: „rõhk võrdub  $500\text{-cm}$  ehk  $5\text{-m}$  veesambaga“. Selle asemel aga, et öelda: „rõhk võrdub  $136$  grammiga ruutsentimeetrile“, öeldakse: „rõhk võrdub  $10\text{-cm}$  ehk  $100\text{-mm}$  elavhõbedasambaga“.

Tuukrid peavad kannatama väga suurt rõhku. Näiteks  $100$  meetri sügavuses kannatab tuuker  $100\text{-meetri}$  vee-samba rõhku ehk, teisiti väljendatult, rõhku  $10 \text{ kg/cm}^2$ . Sügavus, kus tuukrid saavad töötada, ületab harva  $200$  meetrit.

Meresügavuste uurimiseks kasutatakse suuri tihedalt suletud metallkerasid — batisfääre. Nende sisemuses asub vaatleja, kes on varustatud mitmesuguste teaduslike riistade, helgiheitjate ja kinoaparaadiga (joon. 80).

Näide. Veevärgi rõhk on  $3,5 \text{ kg/cm}^2$ . Leida, kui kõrgele võib suruda vett.

Rõhk on  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  ehk 3500 grammi ühe ruutsentimeetri peale. Järelikult võib veesamba kõrgus olla 3500 cm ehk 35 meetrit.

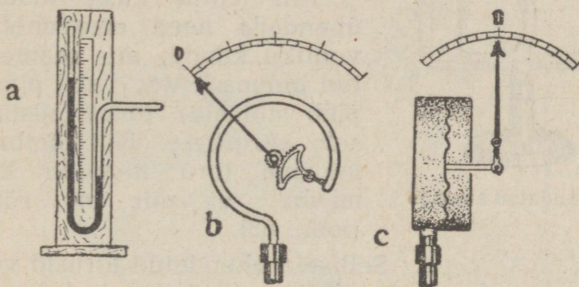
**Ülesanne 1.** Vaikse ookeani sügavus on ühes kohas 10 170 meetrit. Leida rõhk selles sügavuses.

Vastus: Üle  $1000 \text{ kg/cm}^2$ .

**Ülesanne 2.** Pump surub vett 60 m kõrgusele. Leida pumba rõhk.

Vastus:  $6 \text{ kg/cm}^2$ .

§ 35. **Manomeetrid.** Manomeetriteks nimetatakse rõhu mõõtmise seadeldisi (joon. 81).



Joon. 81. Manomeetrid. Nendega mõõdetakse rõhumi.

Lihtsaimaks manomeetriks on kõver toru, millesse on valatud vett või elavhõbedat ((joon. 81-a). Toru üks haru (näiteks parem) ühendatakse anumaga, mille sisemist rõhku on vaja mõõta; teise haru ots jäetakse lahti. Kui rõhk anumal on suurem kui õhurõhk toas, siis vedeliku tase paremas harus langeb, vasakus aga tõuseb. Tasemevahest võib määrata rõhu suurust.

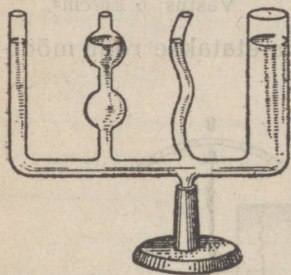
Näiteks, kui manomeeter on täidetud elavhõbedaga ja taseme vahe on 23 cm, siis on rõhk võrdne 23-cm elavhõbedasambaga ehk  $23 \cdot 13,6 = 303 \text{ g/cm}^2$ . Kui aga manomeeter on täidetud veega ja nivoode vahe on 16 cm, siis võrdub rõhu suurus 16-cm veesambaga ehk  $16 \text{ g/cm}^2$ .

Teiseks levinud manomeetriks on metallmanomeeter kõverakskäänatud elastse torukesega, mille üks ots on kinni joodetud ja osutiga ühendatud (joon. 81-b). Torukeselahetine ots ühendatakse anumaga, mille sisemist rõhku tahetakse mõõta.

Rõhu suurenemisel läheb toruke veidi sirgemaks ja pöörab osutit.

On olemas ka manomeetreid, mis koosnevad elastse vaheseinaga kinnisest karbist (joon. 81-c). Kui rõhk ühes karbipooles suureneb, siis vahesein paindub ja nihutab osutit. Mida suurem on rõhk, seda suurem on osuti kõrvalekaldumine.

§ 36. **Uhendatud anumad.** Uhendatud anumais nimetatakse kaks või rohkem anumaid, mis on omavahel ühendatud.



Joon. 82. Uhendatud anumad.

Vedeliku vaba pind ühendatud anumais jääb alati püsima võrdsele kõrgusele (joon. 82).

Kui võtta kaks klaastoru ja ühendada need omavahel kummi-vooliku kaudu, siis saame ühendatud anumad. Vee vaba pind (nivoo) jääb mõlemas torus püsima võrdsele kõrgusele. Kui tõmbame niidi mõlema toru nivoo kõrgusele, näeme, et niit on rõhtsendis (joon. 83).



Joon. 83. Uhendatud anumate abil võib tõmmata rõhtjooni.

Selliseid ühendatud torusid võib kasutada rõhtjoonte tõmbamiseks.

Kui kallutame ühte torudest, jäävad vedeliku nivood ikkagi samale kõrgusele. Nivood püsivad samal kõrgusel ka siis, kui asendame ühe toru lehtriga.

Uhendatud anumaid kasutatakse laialt tehnikas.

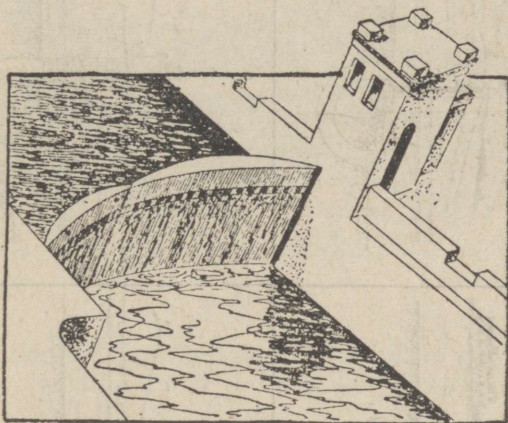
**Küsimus.** Milliseid ühendatud anumaid näeme igapäevases elus?

§ 37. **Uhendatud anumate kasutamise tehnikas.** Lüüsid. Üheks grandioossemaks näiteks ühendatud anumate kasutamisest tehnikas on lüüsid. Nendega varustatakse kanaleid või laevatavaid jõgesid paisude või kärestikkude kohal. Lüüside otstarbeks on laevade läbilaskmine. Lüüs koosneb kambrist, mis on jõest eraldatud tugeva väravaga (joon. 84).

Lüüs on jõega ühendatud laiade torude kaudu, mida saab sulgeda lükatavate kilpide abil. Oletame, et laev sõidab pärivett

mööda jõge. Kui ta jõuab lüüsi juurde, avatakse toru, mis ühendab jõe ülemist osa lüüsikambriga (joon. 85-a). Vesi voolab kambrisse, kuni selle nivoo on võrdne jõe ülemise osa nivooaga. Siis avatakse lüüsi sissepääsuvärv ja laev sõidab kambrisse (joon. 85-b); samal ajal on väljapääsuvärv kinni. Järgnevalt suletakse sissepääsuvärv ning avatakse veetoru, mis ühendab lüüsi jõe alamjooksuga (joon. 85-c). Kui lüüsi nivoo on samal kõrgusel jõe alamjooksu omaga, avatakse väljapääsuvärv ja laev sõidab jõele (joon. 85-d).

Kui vee nivoo lüüsi värvava mõlemalt poolt on erineval kõrgusel, peab lüüsi värvava vastu panema tohutule survele. Et vee-

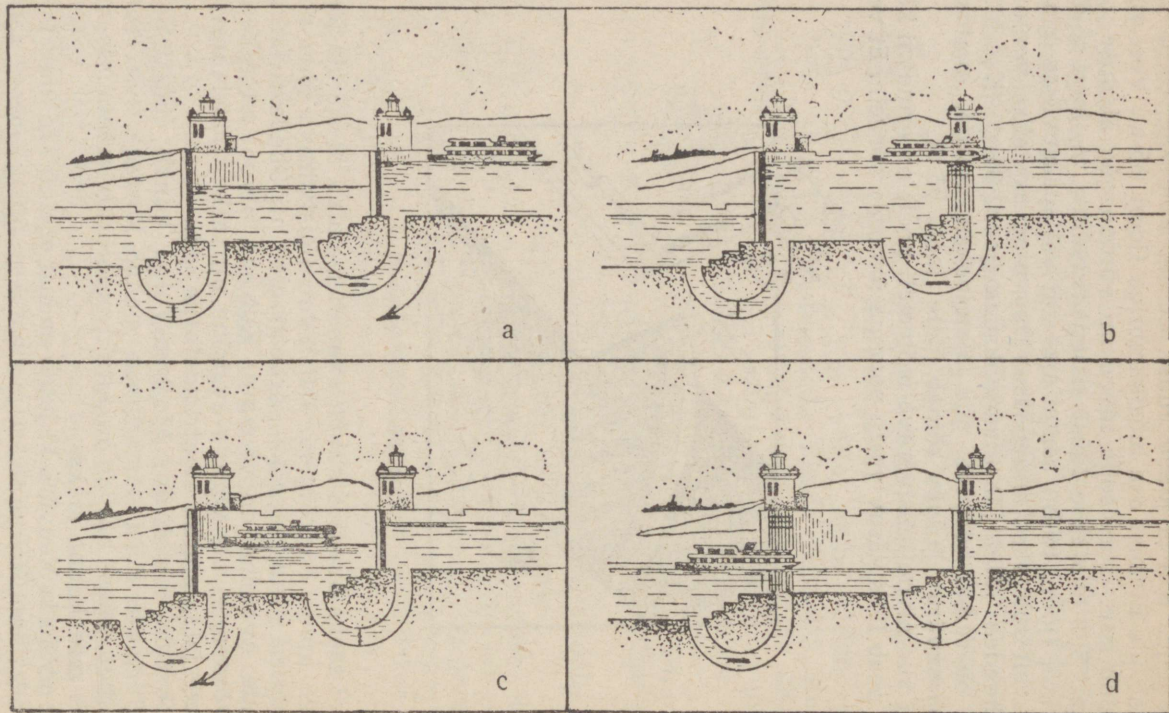


Joon. 84. Lüüsi värvavad.

surve ei saaks avada värvavat, avaneb see alati ülespoole jõge, kus vee nivoo on kõrgem. Kui nivoo lüüsi värvava ühel pool on kõrgem, surub veerõhk värvapooled nii tihedasti kokku, et nende avamine on võimatu. Kui aga nivoo on mõlemal pool võrdne, ei ole värvava avamine nii raske. Lüüsi värvavaid avatakse ja suletakse elektrimootorite abil.

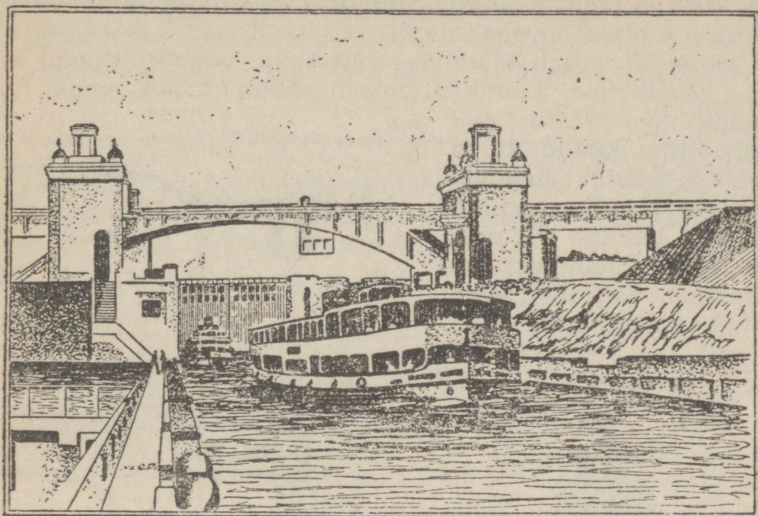
Joonis 86 näitab üht Moskva-Volga kanali lüüsi. Selle tohutult suure lüüsi kambrisse mahub korraga kuus suurt jõearikut. Lüüsi kõrval on tornid mootorite, juhtimisseadeldiste ja meeskonna jaoks.

**V e e v ä r k.** Veevärk kujutab endast samuti rea ühendatud anumaid (joon. 87). Jõevesi pumbatakse filtrihoonesse (pumpade ehitusest on juttu neljandas peatükis § 46). Filtrid puhas-



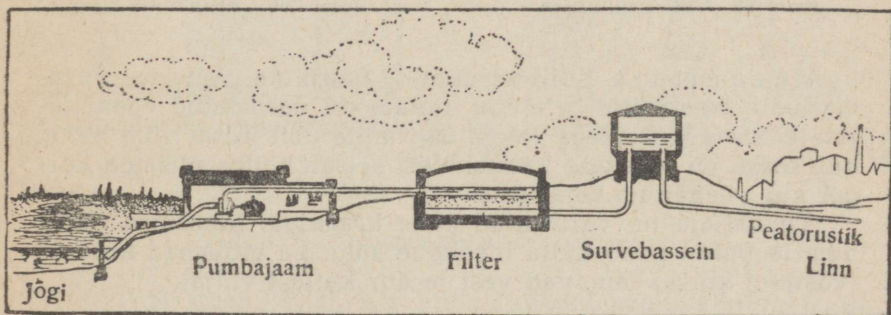
Joon. 85. Lüüsid on määratu suured ühendatud anumad.

tavad jõevett mustusest ja pisikutest. Puhastatud vesi pumbatakse survebasseini, mis peab asetsema kõrgemal kui linna



Joon. 86.

kõrgeimad hooned. Survebasseinist juhitakse vesi maa-aluse peatorustiku<sup>1</sup> kaudu linna. Linnas peatorustik hargneb ja

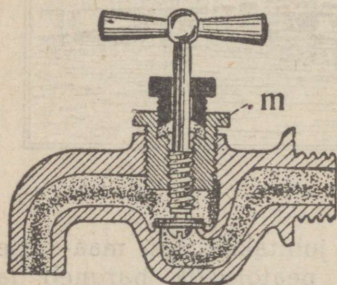


Joon. 87. Veevärk.

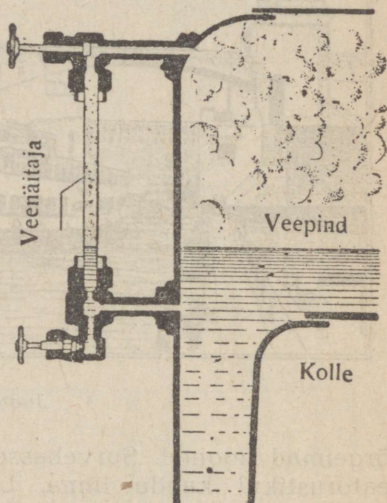
<sup>1</sup> Veevärgi peatorustikuks nimetatakse veevärgi pealiini, mis koosneb ühest või mitmest suurest veevärgitorust.

varustab veega üksikuid linnajagusid. Maa-alused veevärgitorud juhivad vett elamutesse, saunadesse, pesumajadesse, vabrikute ja tehaste juurde, tuletõrje veevõtupunktidesse jne. Veetorude otsas on veekraanid.

Joonis 88 näitab läbilõikes lihtsaima veevärgikraani ehitust. Käepideme kinnikeeramisel surub kruvi nahk- või kummirõnga vastu ava äärt, mille kaudu tuleb veevärgi vesi. Tihendusrõngas aja jooksul kulub ja kraan hakkab tilkuma. Siis peab tihendusrõnga vahetama. Selleks tuleb lahti keerata mutter m.



Joon. 88. Veevärgi kraan.



Joon. 89. Veenäitaja.

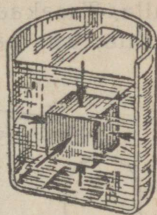
Veenäitaja. Kõik aurukatlad (aurikute, vedurite, aurumasinate, keskkütte ja muud katlad) on varustatud veenäitajate ehk veeklaasidega (joon. 89), mille abil kütja võib näha, kui kõrge on vee tase katlas. Vesi seisab katlas niisama kõrgel kui veenäitaja-klaastorus.

Veenäitaja on varustatud kahe kraaniga; klaastoru purunemise puhul peab kütja otsekohe sulgema mõlemad kraanid (vastasel korral tungivad vesi ja aur katlast välja).

§ 38. Archimedese seadus. Vedelikku asetatud keha on igalt poolt vedeliku rõhumise all (joon. 90). Keha ülemisele osale rõhub väiksem vedelikusamm ja see rõhumine on suunatud allapoole. Keha alumine osa on suurema vedelikusamba rõhumise all; selle rõhumise suund on alt üles. On

selge, et keha alumised pinnaosad on suurema rõhu all kui ülemised pinnaosad. Ülespoole suunatud rõhumise ülekaal tekitab teatava tungi, mis püüab vedelikku asetatud keha üles lükata. Tundub, nagu oleks keha kaotanud osa oma raskusest ja muutunud kergemaks.

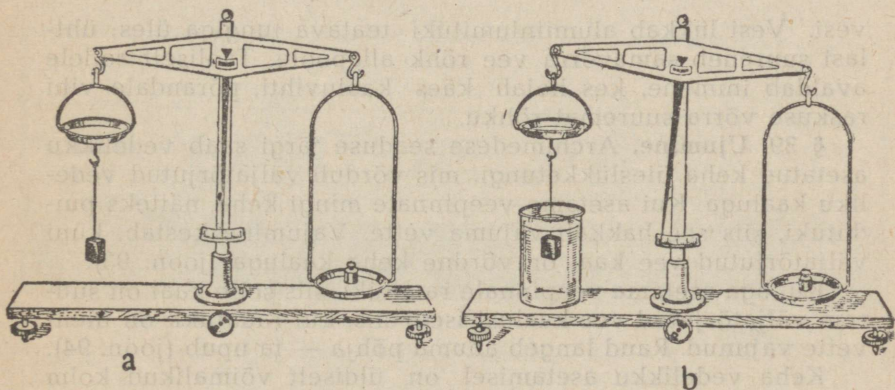
**Vedelikku asetatud keha kaotab oma kaalu nii palju, kui palju kaalub selle keha poolt väljatõrjutud vedelik.**



Joon. 90. Vedelikku asetatud keha on igalt poolt vedeliku rõhu all.

See on Archimedese seadus.

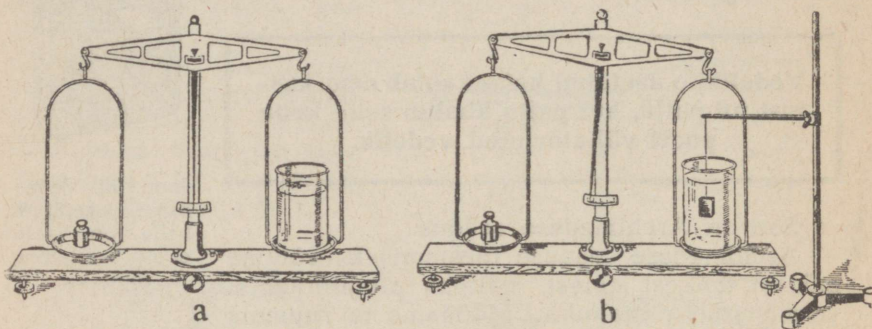
Archimedese seaduse tõestamiseks võtame mõnest tahkest ainek, näiteks alumiiniumist valmistatud risttahuka. Mõõdame ta ruumala ja arvutame, kui suur on vee kaal selle keha ruumalas. Siis riputame selle risttahuka kaalu külge ja tasakaalustame ta



Joon. 91. Archimedese seaduse selgitamine.

vihtidega (joon. 91-a). Kui nüüd asetada kaalu alla veeanum selliselt, et alumiiniumitükk satub veepinna alla (joon. 91-b), siis kaalu tasakaal kaob: vihtidega kausis vajub alla. Tasakaalustamiseks tuleb lisada kausile, mille küljes ripub alumiiniumitükk, nii palju vihte, kui palju meie arvutuse kohaselt kaalub tema poolt väljatõrjutud vesi.

Tasakaalustame kaaludel veeklaasi (joon. 92-a) ja asetame vette alumiiniumitüki, mis ripub laual seisva aluse küljes (joon. 92-b); tasakaal on rikutud ja kauss veeklaasiga vajub alla. Tasakaalustamiseks peab panema vastaskaasile nii palju vihte, kui palju kaalub alumiiniumitüki poolt väljatõrjutud



Joon. 92. Risttahukat üles tõrjudes rõhub vesi põhipinnale suurema jõuga.

vesi. Vesi lükkab alumiiniumitüki teatava tungiga üles; ühtlasi suureneb samavõrra vee rõhk allapoole. Taoliselt sellele avaldab inimene, kes hoiab käes kaaluvihti, põrandale vihi raskuse võrra suuremat rõhku.

§ 39. **Ujumine.** Archimedese seaduse järgi saab vedelikku asetatud keha üleslükketungi, mis võrdub väljatõrjutud vedeliku kaaluga. Kui asetame veepinnale mingi keha, näiteks puidütüki, siis see hakkab vajuma vette. Vajumine kestab, kuni väljatõrjutud vee kaal on võrdne keha kaaluga (joon. 93).

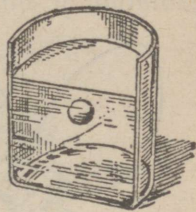
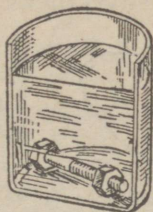
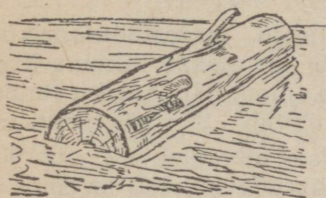
Kui aga asetame veepinnale rauatüki, siis selle kaal on suurem väljatõrjutud vee kaalust isegi siis, kui rauatükk on üleni vette vajunud. Raud langeb anuma põhja — ta upub (joon. 94).

Keha vedelikku asetamisel on üldiselt võimalikud kolm juhtu:

1. j u h t u m. Keha kaal on väiksem kui väljatõrjutud vedeliku kaal. Sel juhul on üleslükketung keha kaalust suurem. Keha kerkib üles, kuni väljatõrjutud vedeliku kaal on võrdne keha kaaluga. Seejuures ulatub keha üks osa üle vedeliku pinna (joon. 93).

2. j u h t u m. Keha kaal ületab väljatõrjutud vedeliku kaalu. Üleslükketung on keha kaalust väiksem ja keha vajub põhja (ta upub) (joon. 94).

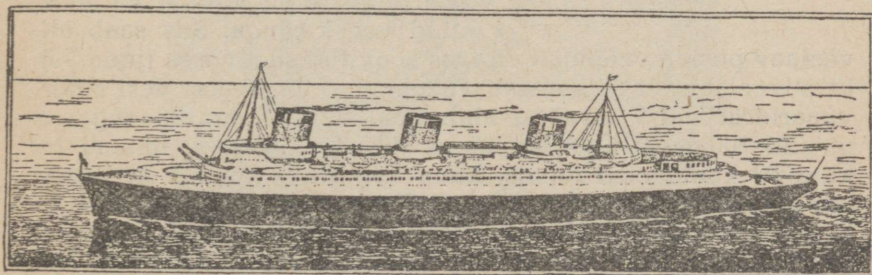
3. juh t u m. Keha kaal on võrdne väljatõrjutud vedeliku kaaluga. Üleslüketung ja raskustung tasakaalustavad teineteist. Keha püsib vedelikupinna all igas soovitud sügavuses (joon. 95).



Joon. 93. Keha vajub vette, kuni väljatõrjutud vee kaal on võrdne keha kaaluga.

Joon. 94. Kui keha kaal ületab väljatõrjutud vee kaalu, vajub keha põhja.

Joon. 95. Kui keha kaal võrdub väljatõrjutud vee kaaluga, siis hõljub keha vedeliku sees igas sügavuses.

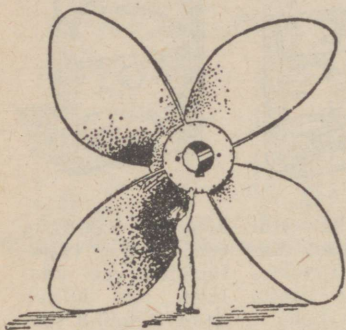


Joon. 96. Suur ookeaniaurik.

§ 40. **Laevad. Allveelaevad.** Laevade ja allveelaevade ujumine põhineb Archimedese seadusel: laeva või allveelaeva kaal on võrdne väljatõrjutud vee kaaluga. Laeva või allveelaeva poolt väljatõrjutud vee kaalu nimetatakse veeväljasurveks. Kui auriku veeväljasurve on 10 000 tonni, siis see tähendab, et aurik kaalub 10 000 tonni ja tõrjub välja samapalju tonne vett. Mida suurem on auriku laadung, seda sügavamal ta istub vees. Mida soolasem on merevesi, seda suurem on ta

erikaal ja seda väiksem on auriku vettevajumise ulatus ehk auriku „süvis“.

Piki auriku parrast on tõmmatud rõhtjoon — niinimetatud vesijoon. Aurik peab olema laaditud selliselt, et vesi ei tõuseks üle vesijoone. Laadung peab olema laevaruumis ühtlaselt jaotatud, et auriku süvis oleks igal pool ühesugune.



Joon 97. Laevakruvi.

Nüüdisaja meresõidu-aurikud (joon. 96) pannakse liikuma kruvide abil (joon. 97). Auriku tunni kiirus ulatub 80 kilomeetrini.

Moodsad allveelaevad (joon. 98) võivad liikuda niihästi veepinnal (kusjuufes ligikaudu üks neljandik laevakerest ulatub veest välja) kui ka vee all. Allveelaeva sukeldumise otstarbel täidetakse laevakere alumises osas leiduvad suured veereservuaarid veega. Seeläbi suureneb allveelaeva kaal, kuni ta on võrdne väljatõrjutud vee kaaluga. Siis saab allveelaev

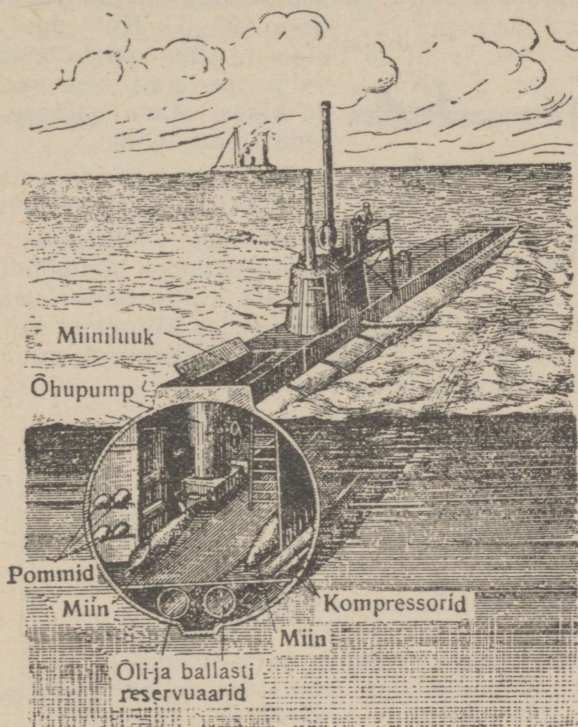
püsida veepinna all igas soovitud sügavuses (joon. 95). Et allveelaev tõuseks uuesti veepinnale, tõrjutakse vesi reservuaaridest välja suruõhu abil. Sukeldumise suurim sügavus on üle 100 meetri. Allveelaeva liikumiskiirus veepinnal on kuni 40 kilomeetrit tunnis, kuna vee all ta suudab arendada ligi 30-kilomeetrist tunni kiirust. Katkestamatu merelviibimise kestus on kuni üks kuu, kusjuures tegevusraadius ulatub 16 000 kilomeetrini. Allveelaev võib sõita vee all kuni 2000 km, ilma et ta peaks vahepeal veepinnale tõusma.

Allveelaev pannakse liikuma allveesõidu puhul elektrimootorite abil, pealveesõidu puhul aga — sisepõlemootoriga (diiselmootoriga). Praegusaja võimsate allveelaevade veeväljasurve ulatub kuni 3000 tonni. Nad on relvastatud mitme torpeedoaparaadiga, neljatolliste kahuritega, kuulipildujate ja õhutõrjekahuritega.

Vaenlast ründav allveelaev ei liigu kuigi sügaval veepinna all; seejuures ulatub veest välja periskoop (vaatetoru), mille abil kapten võib jälgida kõike, mis sünnib ümberringi. Pärast rünnakut allveelaev sukeldub täiesti ja eemaldub

pimesi, kusjuures sõidu suunda määratakse vastavate seadeldiste abil.

Allveelaev on võimsaks ründe- ja rannakaitserelvaks.



Joon. 98. Allveelaev.

§ 41. **Märgamine. Kapillaarsus.** Me teame igapäevasest elust, et üks aine märgub vedelikus hästi, teine aga mitte. Näiteks vesi märgab puhast klaasi väga hästi: kui asetame vette puhta klaasplaadi, jääb see märjaks ka pärast veest väljavõtmist. Kui aga määrime klaasplaadi rasvaga ja asetame ta siis vette, ei märga vesi plaadi pinda. Järelikult vesi märgab puhast klaasi, kuid ei märga rasvaga kaetud klaasi.

Mitmesugused õlid märgavad väga hästi igasuguseid pindasid. Asetades õlisse mitmesugustest ainetest valmistatud plaadikesi või vardakesi, näeme, et õli märgab neid.

Elavhõbe märgab ainult teatud aineid, näiteks kulda, kuid ta ei märga klaasi, puitu ega rauda.

Kui valame märgavat vedelikku mingile plaadikesele, näiteks kui tilgutame vett klaasplaadile, valgub vedelik laiali (joon. 99-a). Kui aga asetame klaasile tilga elavhõbedat, siis ei valgu see laiali, vaid veereb mööda klaasi pinda väikese kuulikesena (joon. 99-b).



Joon. 99. a — veetilk valgub klaasil laiali; b — klaasile asetatud elavhõbedatilk näeb välja kui väike kuulike.

Märgamisega on seletatav ka kapillaarsuseks nimetatav nähtus.

Asetame lahtisesse veeanumasse erineva läbimõõduga peenikeste klaastorude otsad (joon.

100). Me näeme, et vesi seisab torudes kõrgemal kui anumal. Erinevais torudes seisab vesi erineval kõrgusel: mida peenem on toru, seda kõrgemale tõuseb vesi.

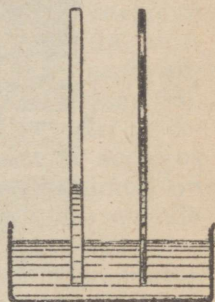
Et vedelik saaks torus tõusta, peab ta märgama toru seina. Vesi märgab klaasi; seetõttu tõuseb vesi peenikeses klaastorus. Kui aga määrime toru mingi rasvaga, siis vesi torus ei tõuse: vesi ei märga rasvatud klaasi.

Kui valame anumasse vee asemel elavhõbedat, näeme, et elavhõbe ei tõuse torudesse. Vastupidi: mida peenem on toru, seda madalamal on elavhõbeda pinnatase selles torus. See tuleb sellest, et elavhõbe ei märga klaasi.

Vedeliku omadust peenikeses torus tõusta või langeda nimetatakse kapillaarsuseks (jõhvsuseks).

Kapillaarsusel on väga suur tähtsus looduses, tehnikas ja igapäevases elus. Kapillaarsuse tõttu liiguvad mahlad taimedes; kapillaarsuse tõttu tõuseb ka niiskus pinnase alumistest kihtidest ülespoole. Tänu kapillaarsusele tõuseb petrooleum lambitahis, tint imub kuivatuspaberisse ja vesi tungib pesemiskäsnasse.

Kapillaarsusnähtuste ärakasutamisel põhineb ka eriline värvaine uurimise viis. Kui asetame kuivatuspaberi riba vede-



Vesi

Joon. 100. Mida peenem on toru, seda kõrgemale tõuseb vesi.

lasse värvainesse, siis erinevad värvi koostained tõusevad kuivatuspaberis erinevale kõrgusele. Nii on kuivatuspaberilt näha, missugustest värvidest koosneb antud värvaine.

Märgamisnähtuste ärakasutamisel põhineb tehniliselt kõige tähtsam viis, kuidas eraldada värviliste metallide maake lisanditest.<sup>1</sup> Pulbriks pihustatud metall eraldub lisanditest selle tõttu, et eriliselt valmistatud lahus märgab metalli, kuid ei märga lisandeid.

---

<sup>1</sup> Seda menetlust nimetatakse floteerimiseks.

## Neljas peatükk.

### GAASID.

§ 42. **Gaasilised kehad.** Gaasideks nimetatakse kehi nagu õhk, hapnik, vesinik, veeaur jms.

Nagu vedelikud, ei evi ka gaasid kindlat kuju. Peale selle ei evi gaasid ka kindlat ruumala. Pigistame käega väikest kummipalli: pallis sisalduva õhu ruumala väheneb. Kui laseme gaasi anumast välja, levib gaas ühtlaselt kogu ruumis. Kui laseme balloonist välja väikese hulga mingit lõhnavat gaasi, näiteks ammoniaaki, siis mõne minuti möödumisel võime tunda selle gaasi lõhna kõigis toa nurkades.

Gaasidel on väga väike erikaal. Näiteks õhu erikaal on 770 korda väiksem kui vee erikaal; vesiniku erikaal on aga ligikaudu üksteist tuhat korda väiksem vee erikaalust.

Gaaside omadused sarnlevad mõnes suhtes vedelikkude omadustega. Nii on Pascal'i ja Archimedese seadused kohaldatavad ka gaasidele.

§ 43. **Pascali seadus gaaside kohta.** Alljärgneva katse abil võime veenduda selles, et Pascali seadus kehtib gaaside kohta samahästi kui vedelikkude kohta. Võtame kummipalli, millesse on tehtud mitu auku, ja täidame palli suitsuga. Kui nüüd pigistame palli käega, siis tulevad suitsujoad ühteviisi kõigist aukudest (joon. 101). Järelikult:

**Gaasid annavad rõhumist edasi igas suunas ühteviisi.**

Teeme veel järgmise katse: võtame jalgpalli kummikesta, asetame ta mõnele tasapinnale ja katame ta lauaga, millel lasub suur raskus (keegi võib lauale istuda) (joon. 102). Kui nüüd võtame suhu kummikesta õhuvooliku ja hakkame kesta täis puhuma, siis kerkib laud kergesti. Rõhumine, mis tekib õhu sissepuhumisel kummikestasse, jaotub kesta ja laua suurele

kokkupuutepinnale. Seetõttu hakkab lauale mõjuma suur tõstetung.

Kui autojuht pumpab autokummi õhku täis, kergitab ta autot veidi üles, kuigi iga ratta peal lasuv raskus on mitusada kilogrammi.

Pascali seadusel gaaside kohta põhineb näiteks trammi-vagunites, rongidel ja allmaaraudteel kasutatavate õhkpidu-rite ehitus.



Joon. 101. Gaas annab rõhumist edasi igas suunas ühteviisi.

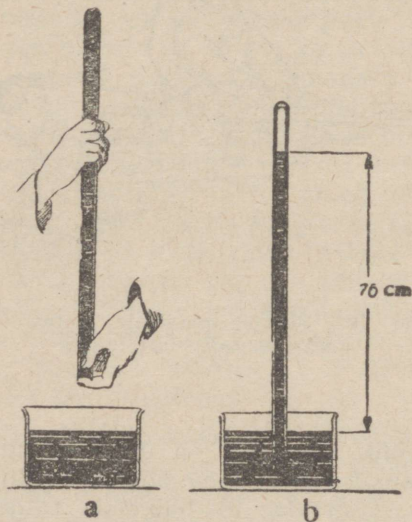


Joon. 102. Suurele pindalale jaotuv õhurõhk tekitab suurt tungi.

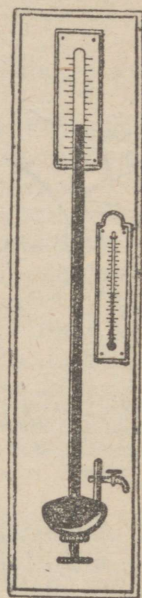
§ 44. **Atmosfääriline rõhk.** Maakera on ümbritsetud õhukihi — atmosfääriga. Maakera ümbritsev õhk ei lendu maailmaruumis laiali sellepärast, et Maa tõmbab teda külge, raskustung hoiab teda kinni. **Atmosfääri raskus rõhub maapinnale ja kõigile maapinnal ja õhus leiduvatele kehadele.**

Võtame ette katse, mis näitab meile selgesti, et õhk rõhub tõesti kõigile kehadele. Võtame pika klaastoru, mille üks ots on kinni sulatatud. Täidame ta ääreni elavhõbedaga, suleme sõrmega ja asetame toru otsa ettevaatlikult elavhõbedaga täidetud lahtisesse anumasse (joon. 103-a). Seejuures peab tähelepanelikult jälgima, et torusse ei satuks õhku. Kui eemaldame nüüd sõrme toru otsa eest, ei voola kõik elavhõbe torust välja. Torusse jääb umbes 76 sentimeetri kõrgune elavhõbedasamm (joon. 103-b). Elavhõbeda peale jääb tühi ruum, kus on ainult väga vähe õhku (mis oli jäänud toruseinte ja elavhõbeda vahele) ja natuke elavhõbeda auru.

76 sentimeetri kõrgune elavhõbedasammas tekib oma raskusega õige suurt rõhumist:  $76 \cdot 13,6 = 1033$  grammi ruut-sentimeetri peale (13,6 on elavhõbeda erikaal). Mis sunnib seda rasket elavhõbedasammast jääma torusse? Mispärast ei valgu elavhõbe torust välja? Selle seletus on väga lihtne: lah-tises anumas seisva elavhõbeda pinnale rõhub torus olev elav-hõbedasammas, sellele pinnale rõhub aga ka atmosfäär. Vede-



Joon. 103. Elavhõbe püsib torus õhurõhu mõjul.



Joon. 104. Elavhõbe-baromeeter.

lik annab rõhumise edasi igas suunas ühte viisi. Järelikult tasakaalustub elavhõbedasamba kaal atmosfäärilise rõhuga (ehk õhurõhuga).

Normaalne õhurõhk merepinnal võrdub 76 sentimeetri kõrguse elavhõbedasamba rõhuga. Õhurõhku saab mõõta ka veega täidetud toru abil. Kuid vesi on elavhõbedast 13,6 korda kergem; sellepärast peab õhurõhumist tasakaalustava vee-samba kõrgus olema 13,6 korda suurem.

Normaalne õhurõhk on võrdne  $13,6 \cdot 76 = 1033$  sentimeetri ehk ligikaudu 10 meetri kõrguse veesamba rõhumisega.

Mõõteriistu atmosfäärilise rõhu mõõtmiseks nimetatakse baromeetriteks. Lihtsaimaks baromeetrik on ülalkirjeldatud katses kasutatud, elavhõbedaga täidetud toru: see on elavhõbe-baromeeter. Elavhõbedasamba kõrgus torus näitab atmosfääri rõhku.

Igas ilmajaamas peab tingimata olema elavhõbe-baromeeter.

Inimene on sedavõrd harjunud ümbritseva õhu survega ja ta kehaehitus on sellega niivõrd kohastatud, et ta üldse ei pane tähele seda survet. Kuid me tajume valuliselt rõhumise järske muutusi.

§ 45. **Baromeetrid.** Nagu öeldud, on lihtsaimaks elavhõbe-baromeetrik kinnisulatatud ülemise otsaga toru, mille lahtine alumine ots on asetatud elavhõbedaga täidetud anumasse; atmosfääriline rõhk hoiab torus leiduva elavhõbeda teataval kõrgusel. Elavhõbeda peal on tühi ruum. Toru kõrvale kinnitatakse skaala elavhõbedasamba kõrguse määramiseks (joon. 104).

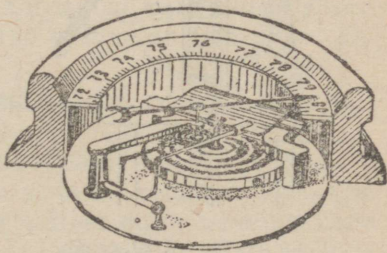
Baromeetri ümberpaigutamisel keeratakse kraan kinni, et elavhõbe ei loksuks välja (joon. 104).

Kergesti käsitatavad ning seetõttu väga levinud on metall- ehk aneroid-baromeetrid (joon. 105).

Aneroid-baromeeter kujutab endast elastse kaanega õhutühja teraskarpi. Et õhurõhk ei saaks kaant sisse muljuda, on selle alla asetatud tugev vedru. Kui välisõhu rõhumine muutub, vajub karbikaas alla või kerkib üles.

Kaane asendi muuted kanduvad osutile, see liigub mööda skaalat ja näitab, kui suurele elavhõbedasamba kõrgusele vastab antud õhurõhk.

Baromeetrit jälgides näeme, et õhurõhu suurus muutub alata: baromeeter „tõuseb“ või „langeb“<sup>1</sup>. Kuid õhurõhul on



Joon. 105. Aneroid-baromeeter.

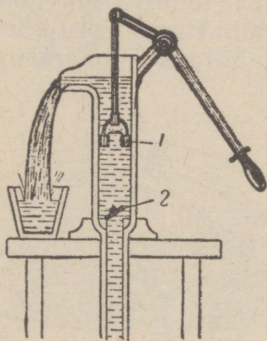
<sup>1</sup> Need väljendid on pärit ajast, kui kasutati eranditult elavhõbe-baromeetrid. Väljend „baromeeter langeb“ tähendab seda, et elavhõbedasammas alaneb.

igas kohas oma kindel keskmine suurus. Näiteks merepinnal võrdub õhurõhk keskmiselt 760-mm elavhõbedasambaga (ehk 76 cm).

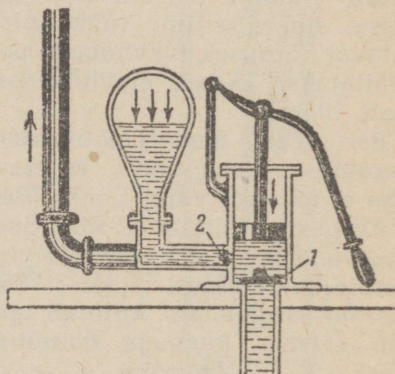
Üldiselt on levinud arvamine, et baromeeter näitab ilma. See ei ole õige: baromeeter näitab ainult atmosfäärilist rõhku. Ent baromeetri näitudest võib teha ligikaudseid järeldusi ka ilma-muutuste kohta. See põhineb asjaolul, et meie kliimas atmosfäärilise rõhu kiire langus käib tavaliselt vihmase ilma eel, kuna rõhu tõus eelneb vihmade lõppemisele. Ilmade täpseks ennustamiseks ei piisa aga ainult baromeetrist.

§ 46. **Pumbad.** Õhurõhumisel põhineb ka vee- ja õhupumpade ehitus.

Tõste- ehk i m e v p u m p (joon. 106) koosneb silindrist, milles liigub silindri seintele hästi tihedalt liibuv kolb. Silindri



Joon. 106. Tõstepump.



Joon. 107. Surupump.

alumises osas ja kolvis on olemas klappidega suletavad avad. Joonisel 106 avanevad mõlemad klapid ülespoole. Kolvi liikumisel ülespoole on klapp 1 suletud õhurõhu mõjul; seevastu avaneb klapp 2 vee survele, mida tõstab üles lahtisele veepinnale mõjuv atmosfääriline rõhumine. Kolvi liikumisel allapoole klapp 2 sulgub, klapp 1 aga avaneb ja vesi tungib kolvist pealpool olevasse ruumi. Mõne kolvikäigu järel hakkab vesi pumbatorust välja voolama.

Atmosfääriline rõhk võib tasakaalustada ligikaudu 10 meetri

kõrguse veesamba. Seetõttu ei saa tõstepumbaga tõsta vett kõrgemale kui 10 meetrit<sup>1</sup>.

Surupump koosneb samuti silindrist ja kolvist (joon. 107). Kolvis ei ole ava, silindris aga on kaks ava: üks on suletud silindri sissepoole avaneva klapiga 1, teine väljapoole avaneva klapiga 2. Kui kolb liigub ülespoole, siis klapp 1 avaneb ja vesi tungib atmosfäärilise rõhu mõjul silindrisse; samal ajal atmosfääriline rõhk suleb klapi 2. Kui kolb liigub allapoole, siis klapp 1 sulgub ja kolb surub vee klapi 2 kaudu välja.

Sarnased pumbad kõlbavad mitte ainult vedelikkude, vaid ka gaaside pumpamiseks. Gaaside jaoks määratud pumbad peavad aga olema väga hoolikalt konstrueeritud, et gaasid ei saaks suletud klappide või silindriseinte ja kolvi vahelt läbi immitseda.

Imevaid pumpasid tarvitatakse õhu hõrendamiseks, suruvaid pumpasid — õhu kokkusurumiseks.

Tehnikas kasutatakse mitmeti niihästi õhutühja ruumi, kust õhk on välja pumbatud (see on nn. vaakuum), kui ka kokkusurutud gaase. Näiteks pumbatakse õhk välja tavalistest elektri-hõõglampidest ja niinimetatud elektrontorudest, mis on raadiovastuvõtjate osad. Kõrget hõrendust saavutatakse eriliste hõrenduspumpade abil; nende ehitus on keerukam kui ülalkirjeldatud pumba oma.

§ 47. **Archimedese seadus gaaside kohta.** Archimedese seadus on kehtiv mitte ainult vedelikkude, vaid ka gaaside kohta. Nagu vedelikkude, nii ka gaaside raskus tekitab rõhumist. Gaasi rõhumine mingile kehale on seda suurem, mida paksem on gaasi kiht selle keha kohal. Seepärast on gaasi rõhk keha ülemistele pinnaosadele väiksem kui alumistele pinnaosadele ja gaas tõukab keha ülespoole. Keha tundub kergem, ta kaotab osa oma kaalust.

**Gaasist ümbritsetud keha saab tõstetungi, mis võrdub väljatõrjutud gaasi kaaluga.**

See on Archimedese seadus gaaside kohta.

<sup>1</sup> Teoreetiline tõstekõrgus on 10 m, esinevate takistuste tõttu on tõstekõrgus tegelikult 6—8 m. (Tõlkija.)

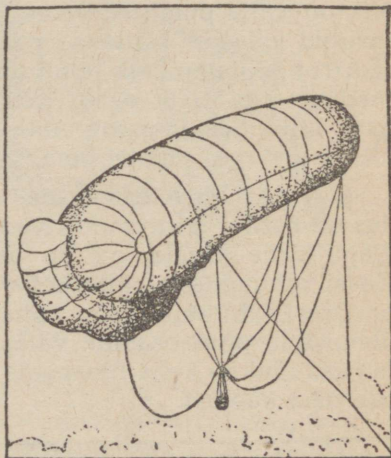
Õhk ümbritseb kõiki maapinnal leiduvaid kehi. Need kaotavad nii palju oma kaalust, kui palju kaalub nende poolt väljatõrjutud õhk. See kaalukaotus on suhteliselt seda suurem, mida väiksem on keha erikaal.

Näiteks, kui korgitükil on õhus pliitükiga võrdne kaal, siis õhutühjas ruumis osutub korgitükk raskemaks: ta kaalukaotus õhus oli suurem kui pliitüki kaalukaotus. Tasakaalustame kangkaalul korgi ja pliitüki. Siis asetame kangkaalu õhukindla klaaskupli alla ning pumpame õhu kupli alt välja: kangkaalu õlg, mille küljes ripub kork, vajub madalamale.

Kergeste gaaside, nagu vesiniku või heeliumi, kaalukaotus õhus on suurem nende oma kaalust. Kui laseme veidi vesinikku balloonist välja, siis kerkib vesinik kohe üles. Kui täidame vesinikuga õhukese kummipalli, siis saame õhupalli, mida me kõik hästi tunneme. Pall tõuseb ülespoole vesiniku tõstetungi mõjul. Sellised pallid ei ole üksnes lastemänguasjad. Neid tarvitatakse ka tuulekiiruse kindlaksmääramiseks suures kõrguses: õhupall lastakse lahti ning jälgitakse, kuhu ja kui kiiresti ta lendab tuulest kantuna.



Joon. 108. Vaba aerostaat ehk õhupall.



Joon. 109. Kinnitatav aerostaat.

Mitme kuupmeetri ruumalaga õhupalle kasutatakse atmosfääri ülemiste kihtide uurimiseks. Need niinimetatud katsepallid kannavad automaatseid teaduslikke aparate temperatuuri ning rõhu üleskirjutamiseks ja õhuproovi võtmiseks suu-

res kõrguses. Paarikümne kilomeetri kõrgusel katsepall lõhkeb ja aparaadid laskuvad väikese langevarjuga alla. Katsepalli-dega on saavutatud kõrgust üle 30 kilomeetri.

**Küsimus 1.** Mispärast lõhkeb katsepall suures kõrguses?

**Küsimus 2.** Mispärast tõuseb suits korstnast ülespoole?

§ 48. **Aerostaat.** Aerostaadi (vaba, kinnitatava ja juhitava) tõus on rajatud Archimede-seadusele. Aerostaadid on täidetud õhust kergema gaasiga: vesinikuga või heeliiumiga.

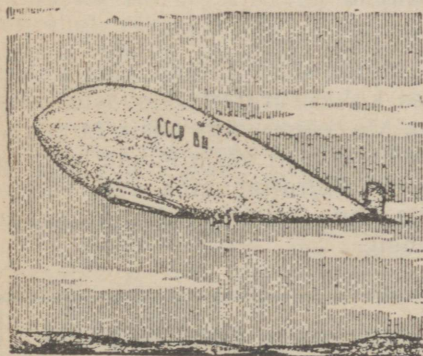
Aerostaati täitev gaas kaotab nii palju oma kaalust, kui palju kaalub väljatõrjutud õhk.

Aerostaadi kest peab sisaldama nii palju gaasi, et selle tõstetung oleks veidi suurem kui kogu aerostaadi raskus ühes meeskonnagondli ja muu varustisega.

Käesoleval ajal ehitatakse vabu aerostaate (joon. 108) ja kinnitatud aerostaate (joon. 109). Vabad aerostaadid ehk õhupallid



Joon. 110. Stratostaat.



Joon. 111. Öhulaev.



Joon. 112. Propeller.

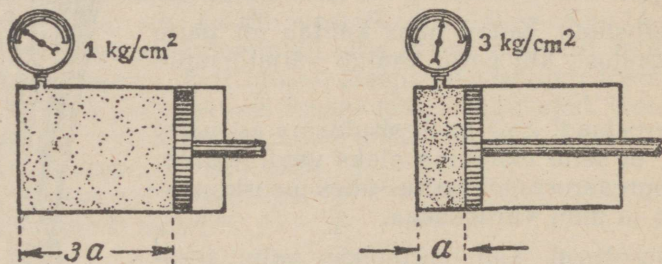
lendavad tuule ajal. Õhkutõusmiseks heidab lendur kot-tidest välja teatava hulga ballastist (liivast). Laskumi-

seks laseb lendur õhupallist välja erilise klapi kaudu veidi gaasi.

Suurele kõrgusele tõusmiseks ehitatakse hiiglasuuri õhupalle — stratostaate, mille maht on kuni 30 000 kuupmeetrit (joon. 110).

Juhitavad aerostaadid (dirižaablid ehk õhulaevad) (joon. 111) on varustatud mootori ja õhukruviga — propelleriga (joon. 112).

§ 49. **Gaaside kokkusurumine. (Boyle-Mariotte'i seadus.)** Seni vaatlesime gaaside omadusi, mis sarnanevad vedelikkude omadustega. Nüüd aga tutvume gaaside omadusega, mis järevalt erineb vedelikkude omadustest.



Joon. 113. Mida väiksem on gaasi ruumala, seda suurem on rõhumine.

Vedeliku ruumala muutub välise rõhu mõjul väga vähe: praktiliselt ei ole vedelik üldse kokkusurutav. Seevastu gaaside ruumala oleneb rõhumisest. Me teame väga hästi, et pudelisse võib suuga sisse puhuda või pudelist välja imeda teatava hulga õhku. Kui suleme sõrmega jalgrattapumba ava, võime kokku suruda kolvi all leiduva õhu; selleks tuleb vajutada teatava jõuga pumba käepidemele.

Katselisel teel leiti:

**Gaasi ruumala väheneb nii mitu korda, kui mitu korda suureneb rõhumine gaasile.**

See on Boyle-Mariotte'i (Boil-Marjoti) seadus.

See seadus on kehtiv tingimusel, et gaasi temperatuur katse ajal on üks ja seesama.

Joon. 113 kujutab kolviga silindrit; kolvi all on mingisugune gaas, näiteks õhk. Silindriga on ühendatud manomeeter. Oletame, et manomeeter näitab rõhku  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

Kui nüüd lükkame kolbi silindrisse, vähendades gaasi ruumala näiteks 3 korda, siis kasvab rõhumine samuti kolmekordseks ja manomeeter näitab rõhumist  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

Kui vähendame ruumala kümme korda, siis kasvab rõhumine ka kümnekordseks: manomeeter näitab  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

Gaasi kaal ei muutu kokkusurumisel või paisumisel, seetõttu suureneb ruumala vähenemisega gaasi erikaal. Kui mitu korda väheneb gaasi ruumala, nii mitu korda suureneb ta erikaal. Niisiis võime väljendada Boyle-Mariotte'i seadust ka järgmiselt:

**Gaasi erikaal suureneb nii mitu korda, kui mitu korda suureneb rõhumine.**

**N ä i d e.** Pudelis on kokkusurutud hapnik  $80 \text{ kg/cm}^2$  rõhu all ( $80$  atmosfääri). Pudeli maht on  $60$  liitrit. Leida, kui suure ruumala täidaks pudelist õhku väljalastud hapnik. (Õhurõhk on umbes  $1 \text{ kg/cm}^2$ .)

Kui laseme hapniku pudelist välja, väheneb rõhumine  $80$  korda. Kui mitu korda vähenes rõhumine, nii mitu korda suureneb ruumala (Boyle-Mariotte'i seaduse järgi). Järelikult hapnik täidab ruumala  $60 \cdot 80 = 4800$  liitrit ehk  $4,8$  kuupmeetrit.

**Ulesanne 1.** Mitu pudelit kokkusurutud heeliumi vajatakse, et täita  $8100 \text{ m}^3$  ruumalaga õhulaev, kui rõhumine õhulaeva kestas on  $1$  at ja gaasi rõhumine pudelis  $90$  at. Iga pudel mahutab  $60$  liitrit.

Vastus: Umbes  $1500$  pudelit.

**Ulesanne 2.** Tuuker hingab sisse õhku, mida juhitakse tema juurde vooliku kaudu. Selle õhu rõhk võrdub ümberoleva vee rõhuga. Leida, kui mitu korda on tuukri poolt  $60 \text{ m}$  sügavuses sissehingatava õhu erikaal suurem õhu erikaalust merepinnal.

Vastus:  $7$  korda.

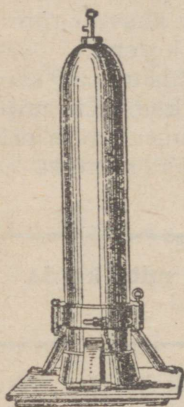
**Ulesanne 3.** Elbrusi mäe kõrgus on  $5633$  meetrit. Õhurõhk on sellel kõrgusel  $380 \text{ mm}$  elavhõbedasammast. Leida, kui mitu korda on õhk Elbrusi tipul hõredam kui merepinnal.

Vastus:  $2$  korda.

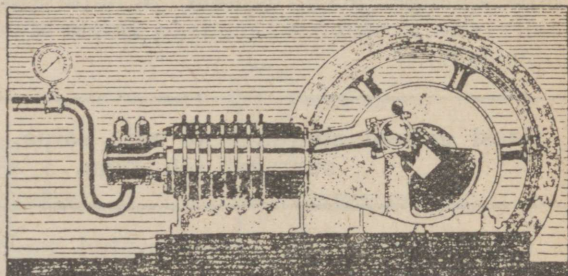
§ 50. **Suruõhk. Kompressor.** Rõhu kasvamisega väheneb õhu ruumala: õhk surutakse kokku. Kokku võib suruda mitte ainult õhku, vaid ka teisi gaase.

Gaasid nagu vesinik, hapnik, ammoniaak, atsetüleen leivad tehnikas laialdast kasutamist.

Näiteks vesinik, atsetüleen ja hapnik on vajalikud keevitamise juures. Ammoniaaki tarvitatakse külmutustööstuses. Transpordi lihtsustamiseks surutakse gaasid kokku 60—100 atmosfääri rõhuni; seejuures gaasi ruumala väheneb samuti 60—100 korda. Kokkusurutud gaasi jaoks on erilised paksude seintega teraspudelid (joon. 114).



Joon. 114. Pudel kokkusurutud gaasi jaoks.

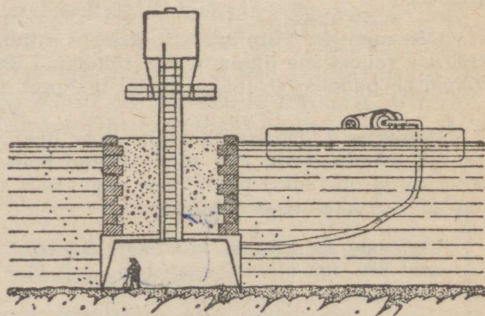


Joon. 115. Kompressor.

Et oleks alati teada, missugune gaas pudelis on, värvitakse atsetüleenipudelid valgeks, hapnikupudelid siniseks ja vesinikupudelid punaseks.

Gaase surutakse kokku võimsate pumpade — kompressorite — abil (joon. 115).

Kompressor kujutab endast tugevajulist surupumpa, mille ehitus on üldjoontes sama mis harilikul surupumbal.

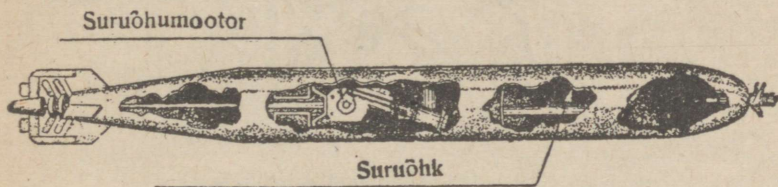


Joon. 116. Kessoon.

§ 51. **Suruõhk tehnikas.** Suruõhku tarvitatakse tehnikas väga mitmel viisil. Nimetame mõned neist.

Suruõhk leiab rakendamist töödel veepinna all, niinimetatud kessoonides. Kessoon on väga suur raudkast, mis on alt-poolt lahti. Ta lastakse alla jõe- või merepõhja. Et vesi ei saaks täita kessooni, täidetakse see suruõhuga, või „surutakse sinna õhku“, mille rõhk võrdub vee rõhuga antud sügavuses. Töölised laskuvad kessooni erilise püstkäigu kaudu ja teevad seal vajalikke töid: müürivad seinu, valavad betooni, kindlustavad põhja — teevad töid, mis on tarvilikud veetaluse vundamendiga ehitiste püstitamisel (nagu sillad, paisud, muulid jne.).

Suruõhk paneb liikuma ka mitmesuguseid õhumootoreid. Õhumootoriga on varustatud näiteks vaenlase laevade uputamiseks määratud iseliikuvad torpeedod (joon. 117). Tor-



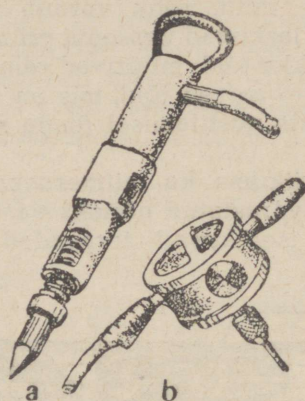
Joon. 117. Torpeedo.

peedoaparaadist välja lastud torpeedo hakkab vees liikuma kindlaksmääratud suunas kruvi abil, juhitud automaatselt roolist. On olemas torpeedosid, mis pöörduvad ümber ja ründavad vaenlase laeva teiskordselt, kui esimene rünnak ei olnud edukas. Kui ka teine rünnak ebaõnnestub, avab automaat erilised luugid ja torpeedo läheb põhja, et mitte tabada juhuslikult oma laeva. Kõik torpeedos leiduvad aparaadid käivitatakse suruõhuga, mis on erilises õhureservuaaris suure rõhu all (umbes 80 at).

Suruõhuga käivitatakse ka mitmesuguseid nõndanimetatud pneumaatilisi tööriistu: lahtiraiumis- ja neetimisvasaraid, puure jne. (joon. 118). Suruõhk juhitakse tööriista juurde tugeva kummivooliku kaudu erilisest paagist, umbes 4 at rõhumise all. Õhk pumbatakse paaki võimsa õhupumba (kompressori) abil.

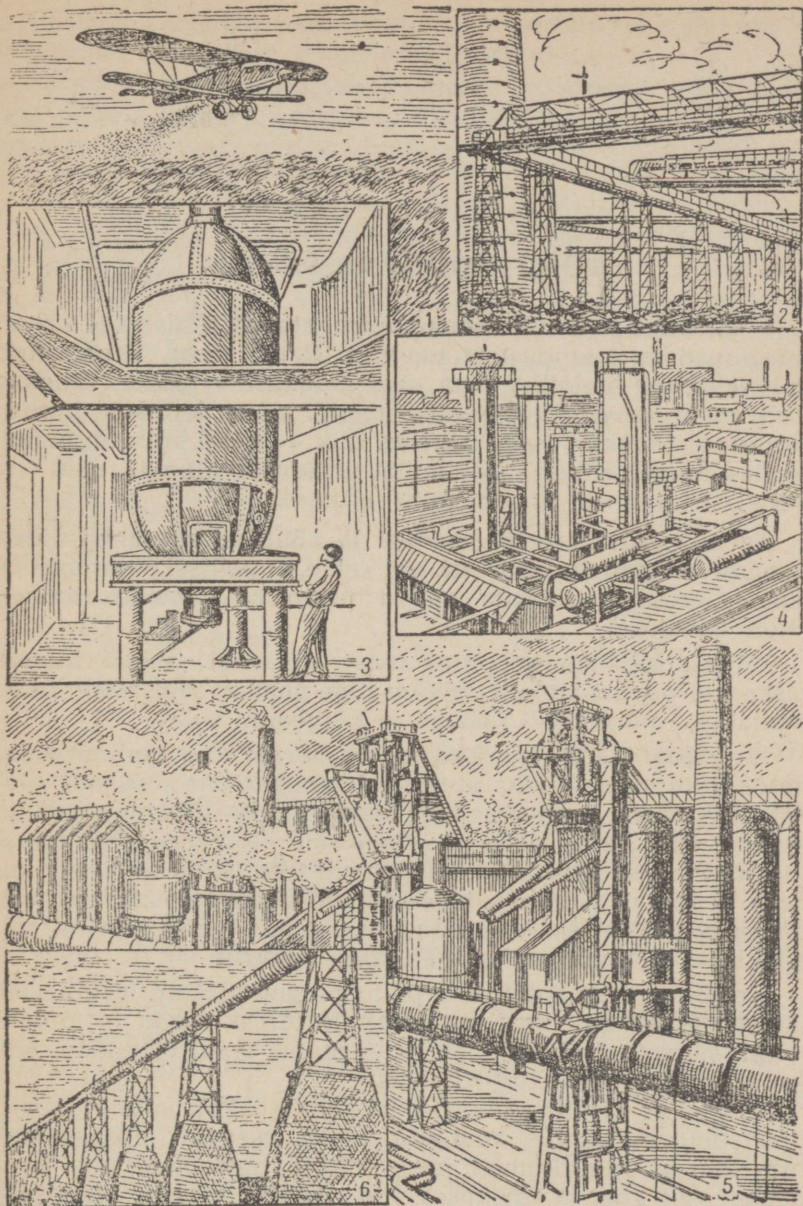
Tarvitatakse ka liivajoaseadiseid, mille abil tekitatakse liivaga segatud tugevat õhujuga; nendega puhastatakse seinu ja muid esemeid.

Suurtes asutistes on tarvitusel pneumaatiline post pabe-  
rite kiireks edasitoimetamiseks ühest ruumist teise. Paber  
asetatakse vaskkesta, see pannakse pneumaatilise posti torus-



Joon. 118. Pneumaatilisi töö-  
riistu.

tikku ning suruõhk lükkab kesta torustikus edasi. Suruõhu  
abil avanevad ja sulguvad ka allmaaraudtee-vagunite ja  
trolleibuste ukсед.



Keemia tootmises: 1 — külvide tolmutamine; 2 — koksitööstus; 3 — tselluloosi tootmine; 4 — craking-tehas; 5 — kõrgahjud; 6 — gaasitorustik.

## Viies peatükk.

### PÕHITEADMISI KEEMIAST.

§ 52. **Ained ja nende muundumisnähtused.** Füüsilised kehad koosnevad mitmesugustest ainetest. Raud, teras, vask, tsink ja kõik teised metallid, raua peal moodustuv rooste, rohekas kord, mida vahest näeb vaskesemetel, klaas, kautšuk, harilik keedusool, suhkur, vesi, piiritus, õhk — need kõik on ained. Teadus tunneb väga suurt hulka erinevaid aineid: neid on mitusada tuhat või koguni mitu miljonit.

**Keemia uurib ainete omadusi ja nähtusi, kus ühed ained muunduvad teisteks aineteks.** On selge, et selliseks uurimiseks peame oskama eraldada aineid üksteisest, peame tundma ainete omadusi.

Näiteks kirjeldades puhta vase omadusi iseloomustame vaske kui punast metalli, mis on õige pehme, sepistatav, hästi venitav, rauast veidi raskem ja kergemini sulav.

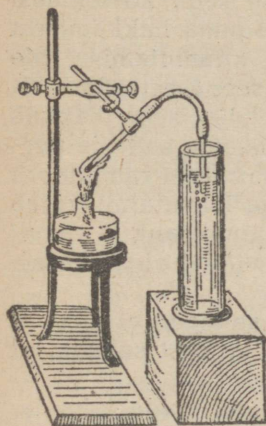
Järgmised näited selgitavad, mispärast on oluline osata muuta ühte ainet teiseks aineks. Hommikuti me tõuseme voodist ja riietume; paneme jalga nahkkingad. Võtame seebi ja peseme end. Pärast seda me einestame: lõikame leiba terasnoaga ja joome klaasist suhkrustatud teed. Kuid looduses inimene ei leia ei valmis nahka kingade valmistamiseks, ei valmis seepi pesemiseks ega valmis terast noa tegemiseks, ei valmis klaasi jooginõu jaoks ega valmis suhkrut.

Me jõuame töökotta. Kui palju mitmesuguseid metalle me näeme ümberringi! Seal on vaske ja terast, raua ja alumiiniumi, sulamit „pobediit“ ja palju muud. Kuid ei midagi sellest kõigest ei ole leitud valmina.

Mustad ja värvilised metallid, paber, suhkur, mitmesugused kunstväetised, värvid, arstimid, klaas, tsement, lõhkeained, kunstsiidriie, kunstkummi jne. — kõik, mis ümbritseb meid igapäevases elus ja tööstuses, on saadud ainete keerukate muundumiste teel.

**Ainete keemilisi muundumisi nimetatakse reaktsioonideks.**  
Toome keemiliste reaktsioonide näiteid.

§ 53. **Lagumisreaktsioon.** Asetame katseklaasi veidi punakat pulbrit, mida nimetatakse elavhõbeda-hapendiks, ja kuumutame seda ainet pikemat aega piirituse- või gaasileegil, kusjuures hoiame klaasi nii, nagu seda näitab joonis 119. Katseklaasi külmade seinte küljes on näha elavhõbeda läikivaid tilgakesi.



Joon. 119. Elavhõbeda-hapendi lagunemine kuumutamisel.

Kui asetame katseklaasi hõõguva peeru, hakkab see põlema heleda leegiga. Sellest järeldame, et katseklaasis leidub õhu asemel mingi teine gaas. Seda gaasi nimetatakse hapnikuks.

Joon. 120. Kogu elavhõbeda-hapendi hulk on lagunenu hapnikuks ja elavhõbedaks.



Selles katses lagunes elavhõbeda-hapend soojuse mõjul kaheks uueks aineks: hapnikuks ja elavhõbedaks. Jätkates sama katset, võiksime lagundada hapnikuks ja elavhõbedaks kogu katseks võetud elavhõbeda-hapendi (joon. 120).

**Reaktsiooni, kus ühest ainest tekib kaks või mitu ainet, nimetatakse lagumisreaktsiooniks.**

Ulalkirjeldatud reaktsioonis saime ühest ainest kaks ainet. Sagedad on ka juhud, kus lagumisreaktsioon annab kolm või mitu uut ainet.

§ 54. **Uhinemisreaktsioon.** Võiksime teha ka eelmisele katsele vastupidise katse: võtta elavhõbedat ja hapnikku ning panna nad ühinema. Seejuures tekiks punakas elavhõbeda-hapend. See katse on aga raske, võtame selle asemel ette teise katse.

Võtame rauda ja väävli. Rauda võtame hallikasmusta pulbri kujul. Sellel pulbril ei ole küll metallilist läiget, tal on aga kõik raua iseloomustavad omadused: ta vajub vees põhja,

magnet tõmbab ta enda külge jne. Väävlit võtame samuti pulbri kujul. See pulber on kollakat värvi, magnet ei tõmba teda ligi, ta ujub veepinnal, põlemasüüdatult põleb ta sinise leegiga.

Kaalume 3,5 g rauda ja 2 g väävlit ning segame mõlemad pulbrid hoolega paberilehe peal. Raputame segu katseklaasi ja kuumutame seda altpoolt, kuni segu hõõguma hakkamisest näeme, et algas reaktsioon. Siis lõpetame kuumutamise. Me näeme, et reaktsioon ei lõpe, vaid kestab iseenesest edasi. Ta on isegi nii hoogne, et kogu katseklaasis olev segu hakkab hõõguma. Kui katseklaas on jahtunud, purustame selle ja peenendame ta sisu uhmris. Saadud pulber ei sarnle ei rauapulbri, ei väävlipulbri ega ka nende seguga. Veega loksutatult vajub ta põhja (kui me oleksime aga veega loksutanud raua ja väävli segu, siis raud oleks vajunud põhja, kuna väävel oleks kerkinud veepinnale).

Saadud pulber erineb rauast muuseas sellega, et magnet ei tõmba teda enda külge. Väävlist erineb ta veel sellega, et ta ei põle.

Raua ja väävli ühinemisel saime uue aine, mida nimetatakse väävelrauaks.

**Reaktsiooni, kus kahest või mitmest ainest tekib uus aine, nimetatakse ühinemisreaktsiooniks. Ainet, mis tekib ühinemisreaktsiooni tagajärjel, nimetatakse keemiliseks ühendiks ehk lihtsalt ühendiks.**

Toodud näites oli vaja kuumutada algaineid, et tekitada reaktsiooni. On aga ka ühinemisreaktsioone, mis algavad ilma kuumutamisetä, ainult ainete kokkupuute tagajärjel. Selline on näiteks põletatud lubja ühinemisreaktsioon veega, mida nimetatakse lubja kustutamiseks.

Kui valame vett põletatud lubja peale, tekib suur kuumus ja me saame uue aine uute omadustega — kustutatud lubja. See on valge pulber; ta segu vee ja liivaga kasutatakse ehitustöös seinte krohvimiseks.

§ 55. **Mehaaniline segu.** Eelmises paragrahvis näitasime, et väävli- ja rauapulbri segust võib eraldada rauda ja väävlit sel teel, et loksutame segu veega ja laseme settida. Võiksime aga lahutada seda segu algaineteks ka teisel teel, nimelt eemaldades rauaosakesed magneti abil.

**Segusid, mida saab lahutada koostisosadeks veega lok-**

sutamise teel, magneti abil jne., nimetatakse mehaanilisteks segudeks.

Paneme tähele järgmist olulist vahet mehaanilise segu ja keemilise ühendi vahel: väävli ja raua mehaanilises segus on harilik väävel ja harilik raud. Raua ja väävli keemilises ühendis, see on väävelrauas, ei ole ei harilikku raua ega harilikku väävlit; niisamuti nagu elavhõbeda-hapendis ei ole harilikku elavhõbedat ega harilikku hapnikku. Kustutatud lubjas ei ole ei kustutamata lupja ega vett.

See tähendab, et kehad, mis astuvad keemilistesse ühenditesse, alluvad seejuures väga põhjalikule ümberkujunemisele.

Milles seisneb see ümberkujunemine?

Selle küsimuse vastamiseks peame tutvuma aine ehitusega.

§ 56. **Molekulid.** Näeme sageli, et üks või teine vedelik kuivab ära (teisiti öeldult ta lendub, aurustub). Pärast põrandapesemist on toa õhk niiske. Selle põhjuseks on asjaolu, et põrandale jäänud vesi on muutunud auruks (see tähendab gaasiks), mis on segunenud toa õhuga.

Ka tahked ained võivad aurustuda, see on muutuda auruks ehk gaasiks. Tuttavaks näiteks on siin naftaliin. Mahapuistatud väike kogus naftaliini annab oma iseloomulikku lõhna terve toa õhule. (Me tajume lõhnasid sellepärast, et sissehingatud õhule on lisandunud mingi lõhnav gaas.)

Ei ole raske mõista, et ülaltoodud näidetes aurustuv aine, mis seguneb suure õhuhulgaga, peab koosnema väga väikestest osakestest. Need osakesed ei ole nähtavad isegi tugevajoõulise mikroskoobi abil (mikroskoop on eriline riist, millega saab vaadelda väga väikesi, paljale silmale nähtamatuid esemeid).

Naftaliin võib seista toa ühes nurgas, naftaliini lõhna on aga tunda selle toa kõigis nurkades. Järelikult liiguvad naftaliiniauru osakesed ühest paigast teise.

Nagu vee- või naftaliiniaur, nii koosneb ka iga teine aur ehk gaas väga väikestest, alalises liikumises olevatest osakestest.

**Neid väga väikesi, alalises liikumises olevaid aine osakesi nimetatakse molekulideks.**

On arusaadav, et gaaside molekulid peavad asetsema üksteisest teatud kaugusel. Me ju nägime, et auruks muutunud väike naftaliinitükike võtab oma alla terve toa ruumala.

Mitmesuguste katsete ja arvutuste teel on teadlased suut-

nud kindlaks teha molekuli mõõtusid ja ta liikumisseadusi. Molekulide mõõdud on kujutlematult väikesed, molekulide arv aga kujutlematult suur isegi kõige pisemas gaasi ruumalas. Üks kuupmillimeeter gaasi sisaldab harilikult mitu miljardit molekuli. On saadud ka kindlaks teha, et kõik molekulid liiguvad väga suure kiirusega, mis on lähedane vintpüssikuuli kiirusele. Ent vaatamata sellele suurele kiirusele ei jõua molekul kuigi kiiresti ühest toanurgast teise. Asi on selles, et oma teekonnal põrkab ta järjest kokku teiste molekulidega. Kokkupõrganud molekulid tõukavad üksteist eemale nagu elastsed kerad. Nende alaliste kokkupõrgete tõttu on iga üksiku molekuli teekond äärmiselt keeruline.

Mitte ainult gaasid, vaid ka vedelikud ja tahked ained koosnevad molekulidest; kuid olukord, milles molekulid siin asuvad, on teine. Tahketes kehaes haarduvad molekulid üksteisesse võrdlemisi kõvasti ja kindlalt ega saa rännata nagu gaasides. Katsudes katki rebida mõnest tahkest ainest valmistatud vardakest, saame ettekujutuse tungi suurusest, millega tahke keha molekulid haarduvad üksteisesse. Mida suurem on molekulide üksteisest kinnihoidmise tung, seda suurem on tahke keha takistus katkimurdmisele. Peab aga meeles pidama, et see takistus on tohutu hulga molekulide ühise mõju tagajärg.

Vedelikkudes ei ole molekulid liikumatud nagu tahketes kehaes; kuid ei ole ka nii vabaltliikuvad nagu gaasides. Vedeliku molekulid hoiavad üksteist kinni teatava tungiga. See nähtub sellest, et sõrmeotsast allarippuv veetilk ei poolitu, või ka sellest, et kaks kokkupuutunud elavhõbedatilka liituvad ühte (kui nende pind on mustusest vaba).

**Keemiliselt puhta aine molekulid on omadustelt täiesti ühesugused.**

Näiteks on keemiliselt puhta vee molekulid kõik ühesugused, vaatamata sellele, kas need on vee või auru osakesed. Samuti on kõik naftaliini molekulid omavahel sarnased. Ka elavhõbeda-hapendi või väävelraua molekulid on kõik omavahel ühesugused jne. Kuid:

**Ise suguste ainete molekulid on omadustelt täiesti erinevad.**

Näiteks ei ole naftaliini molekul põrmugi sarnane vee, väävelraua või elavhõbeda-hapendi molekuliga.

Tekib küsimus: mis saab siis, kui purustame osadeks vee, naftaliini, elavhõbeda-hapendi või mõne teise aine molekuli? Sellele küsimusele vastab keemia.

**§ 57. Keemilised reaktsioonid ja molekulid; aatomid.**

**Keemiliselt puhta aine molekul on selle aine kõige väiksem võimalik kogus.**

Näiteks elavhõbeda-hapendi molekul on kõige väiksem võimalik kogus elavhõbeda-hapendit.

Selgitame seda väidet lihtsa võrdlusega. Uhesugustest molekulidest koosneva keemiliselt puhta aine asemel kujutleme ühesuguste kuulikeste hunnikut. On selge, et üks kuulike moodustab hunniku väikseima osa, sest kui purustame mõne kuulikese osadeks, siis need osad ei ole enam kuulikesed.

Kuidas on siis võimalik, et elavhõbeda-hapend laguneb elavhõbedaks ja hapnikuks?

Seda on võimalik seletada ainult nii, et elavhõbeda-hapendi molekulid lagunevad veel väiksemateks osadeks. Ent igaüks neist osakestest ei ole enam elavhõbeda-hapendi osake. Need on nüüd elavhõbeda ja hapniku väikseimad osakesed.

Neid molekuli osakesi nimetatakse aatomeiks.

Tavaliselt haarduvad aatomid molekulis tugevasti üksteisesse. Et purustada molekuli aatomeiks, peame abiks võtma õige tugevaid mõjutusi (näiteks kõrget kuumust).

Kuna antud keemiliselt puhta aine molekulid on omadustelt täiesti sarnased, siis on ka nende koosseis aatomite suhtes samane. Keemial on abinõusid selle koosseisu kindlakstegemiseks.

Keemikud on leidnud:

**Looduses leidub üheksakümmend kaks erinevat (üks-teisega mittesarnlevat) aatomi liiki.**

Uhelt poolt loodus ja teiselt poolt keemikud on loonud määratu suure hulga tegelikult olemasolevaid aineid, moodustades mitmesuguseid molekule aatomite väga mitmekesise ühendamise teel.

§ 58. **Liitained ja lihtained.** Kui mõne aine molekul koosneb kahest või mitmest erinevast aatomist, siis on arusaadav, et lahutades neid aatomeid võime moodustada kaks või mitu uut ainet: see on lagumisreaktsioon.

**Aineid, mille molekulid koosnevad erinevaist aatomeist, nimetatakse liitaineiks ehk ühendeiks.**

Elavhõbeda-hapend, väävelraud, kustutatud lubi, vesi, soolhape, keedusool, nuuskpiiritus ja määratu hulk teisi aineid on liitained (ühendid).

On aga ka aineid, mille molekulid koosnevad ühesuguseist aatomeist. Neid aineid nimetatakse lihtaineiks. Lihtained on näiteks: elavhõbe, hapnik, raud (keemiliselt puhas), väävel, vask, tsink, plii, tina ja üldse kõik keemiliselt puhtad metallid.

§ 59. **Elemendid.** On abinõusid, mis võimaldavad lahutada lihtainet üksikuiks aatomeiks (üheks selliseks abinõuks on näiteks kõrge temperatuuri kasutamine).

**Aatomeiks lahutatud lihtainet nimetatakse elementideks.**

On juhtusid, kus kaks või mitu lihtainet koosnevad ühest ja samast elementist. Selle tuntuimaks näiteks on teemant ja grafiit: mõlemad on lihtained, mis koosnevad ühe ja sellesama elemendi — süsiniku — aatomeist.

Teemandi ja grafiidi omadused on erinevad sellepärast, et aatomite asetus teemandis erineb aatomite asetusest grafiidis.

Süsinik (peenendatud grafiidi näol) on söe peamiseks koostaineks. Seepärast tavaliselt kasutatakse sütt, kui on vaja läbi viia mõnd katset süsinikuga.

Lihtsaim elementide omadustest sõltuv nähtus on leegi värvumine. Kui asetame gaasi- või piirituseleeki väikese hulga mõnd lihtainet, siis omandab leek otsekohe teatava kindla värvuse. Näiteks värvib element naatrium leegi kollaseks, element vask rohelineks, element alumiinium violetseks (metallid: naatrium, vask ja alumiinium on lihtained; suur kuumus purustab nad aatomeiks).

§ 60. **Tähtsamad elementid.** Elemendi nimetus ühtib suuremalt osalt lihtaine nimetusega, millest saab tekitada seda elementi.

Järgnevalt toome tähtsamate elementide tabeli. Elemendi

nimetuse kõrval on toodud leppemärk ehk sümbol, millega tähistatakse vastavat elementi lühendatult (leppemärk koosneb ühest või kahest ladina keele tähest).

Tähtsaimate elementide tabel.

Elemendi nimetus	Leppemärk	Elemendi nimetus	Leppemärk
Vesinik . . . . .	H	Mangaan . . . . .	Mn (metall)
Heelium . . . . .	He	Raud . . . . .	Fe (metall)
Süsinik . . . . .	C	Nikkel . . . . .	Ni (metall)
Lämmastik . . . . .	N	Vask . . . . .	Cu (metall)
Hapnik . . . . .	O	Tsink . . . . .	Zn (metall)
Naatrium . . . . .	Na (metall)	Hõbe . . . . .	Ag (metall)
Magneesium . . . . .	Mg (metall)	Tina . . . . .	Sn (metall)
Alumiinium . . . . .	Al (metall)	Jood . . . . .	J
Räni . . . . .	Si	Volfram . . . . .	W (metall)
Fosfor . . . . .	P	Iriidium . . . . .	Ir (metall)
Väävel . . . . .	S	Plaatina . . . . .	Pt (metall)
Kloor . . . . .	Cl	Elavhõbe . . . . .	Hg (metall)
Kaalium . . . . .	K (metall)	Plii (seatina) . . . . .	Pb (metall)
Kaltsium . . . . .	Ca (metall)	Raadium . . . . .	Ra
Kroom . . . . .	Cr (metall)		

Elemendid on selles tabelis asetatud kindlasse järjekorda: mida raskem on elemendi aatomikaal, seda madalamal kohal on element.

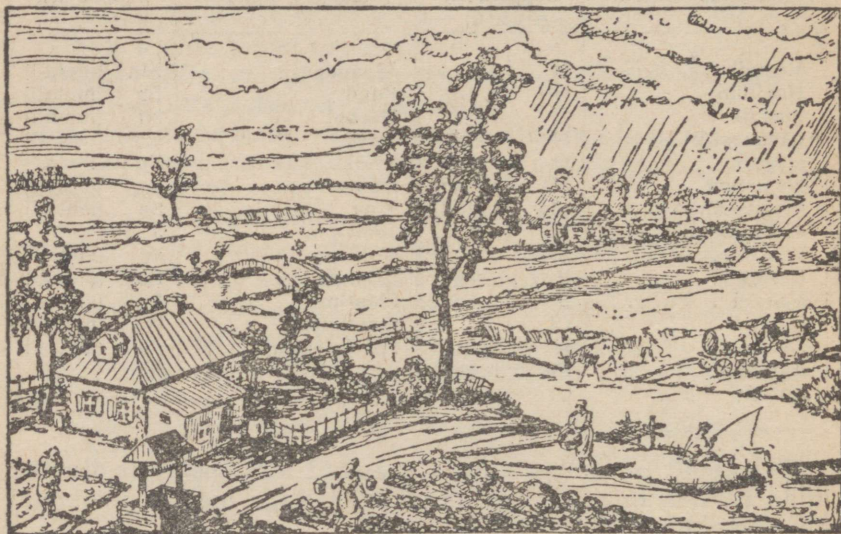
Metallidel on järgmised iseloomustavad omadused: eriline läige, hea sepistatavus, soojust ja elektri kõrge juhtimisvõime (need omadused on kirjeldatud lähemalt peatükkides 10 ja 11).

Elemente, mis ei ole metallid, nimetatakse mitmetallideks ehk metalloïdideks.

§ 61. **Vesi.** Vesi on looduses väga levinud (joon. 121) ookeanide, merede, järvede ja jõgede näol. Jää- ja lumekor-rana katab ta kõrgmägesid ja külmade maade pinda talvisel ajal. Muld ja kivimid on veega läbi imunud. Õhus on väga palju vett nähtamatu auru ja pilvede näol (pilved koosnevad pisikestest veetiljadest või jääkristallikestest). Vett on ka loomade kehas ja taimedes. Inimese kehas on kaalu järgi 75% vett (joon. 122).

§ 62. **Loodusliku vee lisandeid.** Looduses on raske leida täiesti puhast vett. Looduses leiduv vesi (eriti vedelas olekus) sisaldab alati suuremal või väiksemal hulgal mitmesuguseid lisandeid, nimelt:

1) Vesi võib sisaldada liiva, savi ja teiste kivimite osakesi, taimede ja loomade jäänuseid ning ka mikroskoopilisi elusorganisme — pisikuid. Need lisandid on vees heljuvas olekus; kui neid on palju, siis on vesi sogane. Neid lisandeid on kerge avastada mikroskoobilisel uurimisel.



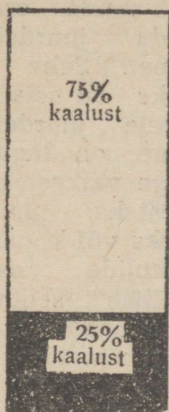
Joon. 121. Vesi looduses.

2) Kokku puutudes Maakera koores sisalduvate ainetega, lahustab vesi osa neist. Sel viisil lahustatud aineid leidub vees väga väikeste osakestena (aatomitena või aatomite gruppide). Neid osakesi ei saa muidugi avastada mikroskoobi abil, küll aga saab neid tihtipeale tunda maitse järgi. Lahustatud soolad annavad näiteks mereveele mörkjäs-soolase maitse. Jões on kandnud selle soola merre paljude tuhandete aastate jooksul.

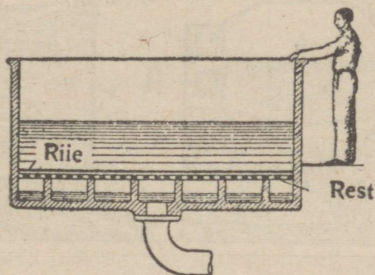
Kui aurustame soolasisaldusega vett, siis jäävad soolad järele kuiva jäägi näol.

Soolasisaldusega vesi moodustab katlas niinimetatud katlakivi.

3) Vesi sisaldab tavaliselt gaase, mida ta võtab õhust. Vee soojendamisel lahkuvad need gaasid mullikestena.



Joon. 122. Inimese kehas on kaalult 75% vett.



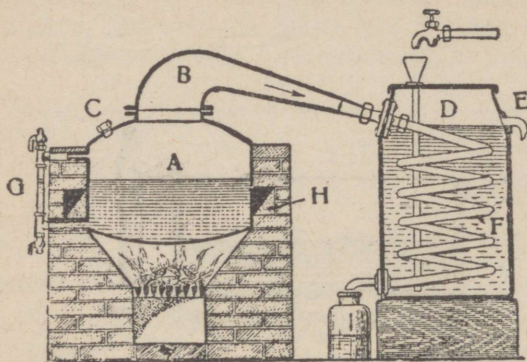
Joon. 123. Vee filtreerimine. Joonis kujutab tööstuslikku filterseadet. Filtriiks on puitrestile asetatud riie. Pumba abil hõrendatakse õhk riide all. Õhurõhu mõjul läheb vedelik riidest kiiremini läbi.

§ 63. **Vee puhastamine.** Vee vabastamiseks võõrkehadest tuleb vesi kurnata ehk filtreerida. Filtriiks võetakse mitmesuguseid urbseid aineid (liiva, sütt, filterpaberit ja muud sarnast). Tehnikas kasutatakse vee filtreerimiseks mitmesugust riidet (joon 123).

Vees lahustunud aineosakesed (näiteks soolad) läbivad filtri vabalt. Et vett puhastada lahustunud aineist, destilleeritakse ta. Suuremate veekoguste destilleerimiseks tarvitatakse destilleerimisaparaati (joon. 124). Selle põhiosaks on suur vaskkatel, mida köetakse kolde kaudu või elektriga. Vee keemisel eralduv aur läbib jahuti spiraalтору (mis on valmistatud tinast või on seestpoolt tinutatud). Spiraalтору asetseb läbi-voolava veega jahutis, mis selletõttu omab võrdlemisi madalat temperatuuri. Külma spiraaltorusse sattunud aur ei saa säilitada oma gaasilist olekut ja veeldub (kondenseerub). Saadud destilleeritud ehk puhas vesi koguneb allapandud anumasse.

§ 64. **Vesi lahustajana.** Paneme vette natuke suhkrut (joon. 125), keedusoola, mõnda muud soola, mingisugust hapet

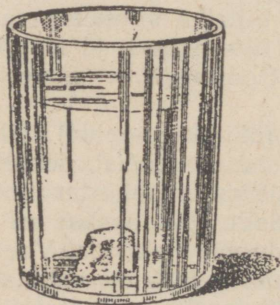
või piiritust. Saame vedeliku, milles isegi kõige tugevama mikroskoobi abil ei saa näha juurdesegatud aine osakesi.



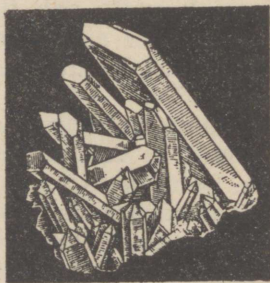
Joon. 124. Veedestilleerimis-aparaat: A — koldele müüritud destilleerimiskatel, H — lõõrid, G — veenäitaja, C — vee sissevalamisava, B — katla kaas painutatud toruga, F — jahuti spiraalatoru, D — jahuti läbivoolava veega, E — kraan soojenenud vee väljavoolu jaoks.

Mingisugune filter ei suuda eraldada seda juurdelisatud ainet. Selle põhjuseks on asjaolu, et veele juurdelisatud aine on lagunenu õige väikesteks osakesteks: molekulideks või koguni molekulide osadeks. Sellise segunemise teel saadud vedeliku nimetatakse lahuseks. Meie näidetes on vesi lahustajaks; veele lisandatud ainet aga nimetatakse lahustatud aineks. Mõnikord ni-

metatakse lahuseks loksutamise teel saadud vee segu savi või lubjaga. See ei ole õige: sel juhul ei ole meil tegu lahusega,



Joon. 125. Vesi lahustab suhkrut.



Joon. 126. Kristallid on korrapärased kujundid.

vaid püsiva seguga, mida nimetatakse ka suspensiooniks ehk heljundiks.

Võtame veega täidetud klaasi ja viskame sinna lauasoola

väikeste kogustena, kusjuures kiirendame lahustumist lusi-  
kaga segamise abil. Viimaks näeme, et sool ei lahustu enam:  
segamisele vaatamata jääb klaasi põhja tahket soola. Meil on  
siis küllastunud lahus.

Paljudel juhtudel on tähtis teada, kui palju ühte või teist  
ainet võib lahustada antud veehulgas. Katseliselt on kindlaks  
tehtud, et ühes liitris vees võib lahustada tavalise tempera-  
tuuri juures:

2 kilogrammi suhkrut,  
või 365 grammi lauasoola,  
või 260 grammi salpeetrit,  
või 2,1 grammi kipsi.

Antud veehulgas võib harilikult lahustada seda suurema  
hulga tahket ainet, mida kõrgem on vee temperatuur. Ja vastu-  
pidi, kui me jahutame küllastunud lahust, siis eraldab see järk-  
järgult lahustunud ainet tahkel kujul. Kui lahus seisab rahuli-  
kult paigal, siis moodustab eralduv aine kristalle, s. o. korra-  
pärase kujuga tükikesi (joon. 126).

Nagu vesi, nii võivad ka teised vedelikud olla lahustajaks.  
Näiteks bensiin lahustab hästi mitmesuguseid rasvasid; piiri-  
tus ja tärpentiin lahustavad vaike; elavhõbe lahustab teatud  
metalle.

§ 65. **Vesi tööstuses.** Peaaegu iga tööstus vajab vett. Vee-  
auruga töötavad aurumasinad ja auruturbiinid.

Vett tarvitatakse kulla eraldamiseks kuldasisaldavast lii-  
vast: seda liiva pestakse veega erilistes rennides, kusjuures  
liivast palju raskemad kullaterad langevad renni põhja.

Vett kasutatakse ka jahutamiseks; tihti jahutatakse veega  
(millele on lisandatud teatav hulk vajalikke keemilisi aineid)  
treipinkide lõiketeri ja kõvu käiasid.

Tänu vee omadusele lahustada mitmesuguseid aineid, kasu-  
tatakse vett ka villa, riiete jms. pesemiseks, samuti ka värvi-  
mise juures. Paljudes keemiatööstustes kasutatakse mitme-  
suguste keemiaainete vesilahuseid (näiteks hapete, soolade  
või leheliste lahuseid).

Ehitusmaterjalide- (telliskivid, tsement, betoon) ja keraa-  
mikätööstuses (portselan, fajanss) on vesi aluseks savi ja  
muude lähtematerjalide segamisel. Vee kasutamisest lubjakus-  
tutamisel oli juttu eespool.

Vesi omab tähtsat osa paljude toiduainete valmistamisel

(näiteks leivaküpsetamisel, konservitööstuses ja eriti jookide valmistamisel).

Kui keegi tahaks kirjeldada kõiki veekasutamise viise mitmesugustes tööstusharudes, siis peaks ta kirjutama paksu raamatu.

§ 66. **Vee keemiline koosseis.** Suure kuumuse mõjul laguneb veeaur kaheks elemendiks: hapnikuks ja vesinikuks.

Keemikud on leidnud:

**Üks vee molekul koosneb kahest vesiniku aatomist ja ühest hapniku aatomist.**

Lühendatult kirjutatakse vee koostis järgmiselt:  $H_2O$ . H tähendab siin vesiniku aatomit, O — hapniku aatomit. H tähe all leiduv arv 2 tähendab, et vee molekulis on 2 vesiniku aatomit.

Sarnaste valemitega väljendatakse keemias igasuguste ainete koostist.

Keemilise valemi abil võib ka välja arvutada, kui palju gramme ühte või teist elementi leidub mõne liitaineteatavas kaaluhulgas — näiteks 100 grammis. Seejuures peab ainult teadma, missuguses vahekorras on antud liitainete aatomite kaalud. Vastavatest käsiraamatutest võib leida mitmesuguste elementide suhtelise aatomikaalu.

Näitena lahendame järgmise ülesande.

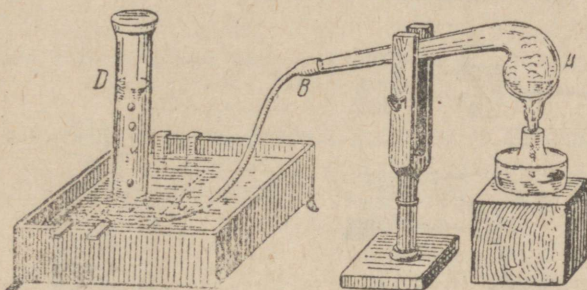
Hapniku aatom on vesiniku aatomist 16 korda raskem. Mitu grammi hapnikku ja vesinikku on vee 100 grammis? Kui võtame vesiniku aatomikaalu ühikuks, siis kaalub hapniku aatom 16 sarnast ühikut. Vee valem  $H_2O$  näitab, et üks vee molekul sisaldab kaks vesiniku aatomit ja ühe hapniku aatomi. See tähendab, et kaalu järgi sisaldab üks vee molekul (ja ühtlasi igasugune veekogus) 2 osa vesinikku ja 16 osa hapnikku: kokku 18 osa. Kui veekogus kaalub 100 grammi, siis kaalub üks osa  $100 : 18 = 5,55$  grammi. Vesiniku peale tuleb 2 kaaluosa, see on  $5,55 \cdot 2 = 11,1$  (ehk täpsemalt: 11,2) grammi. Hapniku peale tuleb  $5,55 \cdot 16 = 88,8$  grammi.

§ 67. **Hapnik.** Hapnik on maakera väliskihitudes kõige levinumaks elemendiks. Hapnikku leidub kõikide tähtsamate kivimite koostises.

## Vee 9 kaaluosast on 8 kaaluosa hapnikku.

Hapnikku kui lihtainet leidub suurel hulgal õhus. Inimesed ja loomad vajavad hapnikku hingamiseks.

Me teame § 53-st, et hapnikku võib saada elavhõbeda-hapendi lagundamise teel. Aga järgmine saamisviis on palju lihtsam.



Joon. 127. Hapniku saamine Berthollet' soolast.

Retordis A (joon. 127) kuumutatakse veidi Berthollet' soola; see on liitaine, mis sisaldab tunduva hapnikuprotsendi<sup>1</sup>. Eralduv hapnik läbib vooliku BC ja koguneb anumasse D.

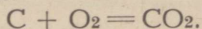
Hapnik on värvitu, maitsetu ja lõhnatu gaas (niisama nagu õhk). Hapnik on õhust pisut raskem. Ta ühineb kergesti peaaegu kõigi lihtainetega. Näiteks raua roostetamine on raua ühinemine õhuhapniku ja veega. Aine kiirel ühinemisel hapnikuga tekib tihti leek ja eraldub palju soojust.

**Aine kiiret ühinemist hapnikuga nimetatakse põlemiseks.**

Ained põlevad puhtas hapnikus palju ägedamalt kui õhus või teistes gaasides. Seda omadust kasutatakse hapniku eristamiseks teistest gaasidest. Proovitava gaasi asetatakse hõõguv peerg: kui gaas on hapnik, siis hakkab peerg põlema heleda leegiga (joon. 128).

<sup>1</sup> On kasulik lisandada Berthollet' soolale musta pulbrit, mida nimetatakse mangaanühikapendiks. Reaktsioon toimub siis kiiremini ega vaja nii tugevat kuumutamist, kui oleks tarvilik ilma mangaanühikapendita.

Teeme ühe niisuguse katse. Hapnikuga täidetud purki pistame traadi otsas kergelt hõõguva söe. Süsi põleb ära kiiresti, heleda leegiga. Sellejuures tekkivat ühinemisreaktsiooni saab üles märkida järgmiselt:



See võrrand tähendab, et süsiniku aatom C, ühinedes kahe hapniku aatomiga O (kaks hapniku aatomit moodustavad molekuli  $O_2$ ), annab uue aine molekuli, mis koosneb nimetatud aatomeist. Uus aine on gaas, mille valemiks on  $CO_2$  ja mida nimetatakse süsihappegaasiks. Süsihappegaasi saab võrdle-



Joon. 128. Aine põleb hapnikus ägedama leegiga kui õhus.



Joon. 129. Raudtraat põleb hapnikus.

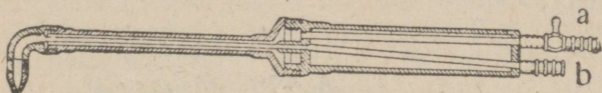
misi kergesti muuta vedelikuks või tahkeks kehaks. Tahket süsihappegaasi nimetatakse „kuivaks lumeks“ (seda tarvatakse muuseas jäätise alalhoidmiseks).

Süsihappe olemasolu võib kindlaks teha, valades purki lubjaveet: lubjavesi muutub piimjaks. Lubjaveeks nimetatakse kustutatud lubja vesilahust. Kustutatud lubja valem on  $Ca(OH)_2$  ehk (mis on üks ja seesama)  $CaO \cdot H_2O$ . See valem osutab, et kustutatud lubja molekul koosneb ühest kaltsiumi Ca aatomist, kahest hapniku O aatomist ja kahest vesiniku H aatomist.

Teeme veel järgmise katse. Seome korgitükikese väikese raudvedru alumise otsa külge, süütame korgi ja asetame vedru hapnikku sisaldavasse purki. Esmalt põleb ära kork

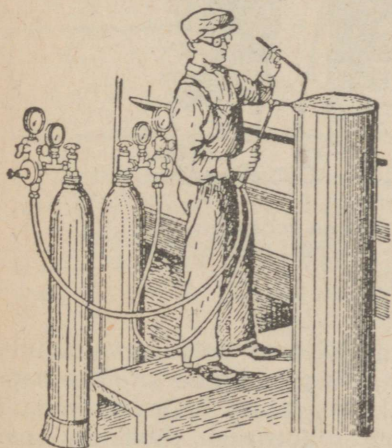
ning siis süttib ka rauast vedru (joon. 129), mille põlemisel tekib rauahapend  $Fe_3O_4$  (valemist on näha, et rauahapendi molekulis on kolm raua Fe aatomit ja neli hapniku O aatomit).

§ 68. **Hapniku tarvitamine tehnikas.** Hapnikku tarvatakse metallide keevitamiseks ja lõikamiseks, kusjuures on kasutusel erilised põletid, kus hapnik ja atsetüleen segunevad. Atsetüleen on gaas, valemiga  $C_2H_2$  (valem näitab, et atsetüleeni

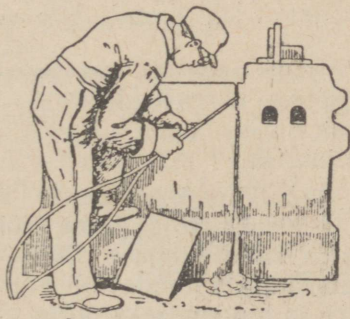


Joon. 130. Hapniku-atsetüleenipõleti: toru a kaudu tuleb atsetüleen, toru b kaudu hapnik.

molekul koosneb kahest süsiniku C aatomist ja kahest vesiniku H aatomist). Põledes hapnikus, annab atsetüleen 3500- kuni 4000-kraadise temperatuuriga leegi. Tehastes, kus toodetakse hapnikku ja atsetüleeni, pumbatakse neid gaase suure rõhu all teraspudelitesse. Selliselt kokkusurutult saadetakse hapnik ja atsetü-



Joon. 131. Metallide autogeenkeevitus. Meistri paremas käes on põleti, millega ta sulatab teises käes olevat traati. Sulanud traadi metall keevitab eseme kokku.



Joon. 132. Teraselõikamine hapniku-atsetüleenileegiga.

leen tööstusse. Hapniku-atsetüleenipõleti (joon. 130) ühendatakse mõlema gaasi pudelitega kummivoolikutega kaudu.

Kuna atsetüleeni segu hapnikuga põleb väga suure kuumuse eraldumisega, sulatab tekkiv leek kõiki metalle. Sellel põhineb metallide autogeenkeevitus (joon. 131). Autogeenkeevituse teel valmistatakse raudplaatidest suuri torusid, täidetakse metalliga valutoodete õnarusi, parandatakse lõhkenud auru- katlaid ning torusid jne. Atsetüleenileegiga lõigatakse ka pakse terasplaate (joon. 132); põleti kitsas leek sulatab terase sisse kitsa prao.



Joon. 133. Päästemeeskondadel on seljas hapnikusilindrid. Silindrist läheb hapnik gaasitorbikutaolisse aparati.

Hapnikku kasutatakse ka mürkainete läbi kannatanute päästmiseks (sõjas ja ka tööstuses). Kannatanule antakse hapnikku sisse hingata. Suruhapniku tagavara vajavad samuti lendurid, kes lendavad väga suures kõrguses: õhk on seal hõre ja hingamiseks mitte piisav. Allveelaevadel uuendatakse õhku samuti hapniku abil. Kui kaevanduses on juhtunud kaevandusgaasi plahvatus, siis on pärast plahvatust õhk kaevanduses mürgistatud plahvatusel tekkinud vingugaasi ehk süsinikuhapendiga (CO). Kaevanduse päästemeeskonnad on seetõttu varustatud hapnikuaparaatidega, mis võimaldavad hingamist mürgistatud keskkonnas (joon. 133). Sanitarid ja minöörid, kes sõjaolukorras peavad töötama vingugaasis, tarvita-

vad samuti hapnikuaparaate. Tavalised gaasimaskid ei kaitse vingugaasi vastu.

§ 69. **Õhu koostis. Põlemine õhus.** Õhk on mitme gaasi segu. Selles segus on kaalu järgi 75% lämmastikku ja 23% hapnikku. Muudest gaasidest, mida õhk sisaldab, on veeaur kõige tähtsam.

Me nägime, et hapniku kõrval on õhus palju lämmastikku, mis ei soodusta hingamist. Seetõttu toimub inimeste ja loomade hingamisprotsess täpselt sellises tempos, nagu see on vajalik organismi normaalseks tegevuseks (kui õhk ei ole kahjulikkude gaasidega rikutud).

Põlemisprotsess toimub harilikus õhus palju aeglasema tempoga kui puhtas hapnikus. Ka selle põhjuseks on õhu suur lämmastikusisaldus, sest lämmastik ei soodusta põlemist.

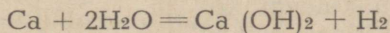
Nägime paragrahvis 67, et raudtraat põleb puhtas hapnikus, õhus aga raudtraat põlema ei hakka.

§ 70. **Vesinik.** Vesinik lihtainena esineb looduses väga harva. See-eest on ta väga levinud kui element, olles paljude liitainete koosteosaks.

**Vesinik moodustab vee kaalust  $\frac{1}{9}$  osa.**

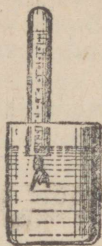
Peale selle on tunduv hulk vesinikku looma- ja taimeorganismide, samuti nafta koosteiniks.

Vesinikku saab hõlpsasti veest, kui asetada vette kaltsiumi. Selleks otstarbeks täidetakse katseklaas veega ja asetatakse ta kummuli veeanumasse, nagu seda näitab joon. 134; siis pannakse vette katseklaasi alla veidi marlisse mähitud kaltsiumipulbrit ja hoitakse seda seal, kuni katseklaas on vesinikku täis. Siis eemaldatakse katseklaas veest, kusjuures katseklaasi põhi peab ikka olema ülespoole. Siin on toimunud reaktsioon, mida saab üles märkida järgmiselt:



Võrrandi vasak pool näitab reaktsiooni astuvaid aineid: kaltsiumi Ca ja vett  $\text{H}_2\text{O}$ ; tegur 2 vee valemi ees näitab, et kaltsiumi iga aatomiga peab ühinema kaks vee molekuli. Võrrandi paremast poolest on näha reaktsioonist saadavad ained: meile juba tuntud kustutatud lubi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (seda saame ühe

molekuli) ja vesinik  $H_2$  (kaks aatomit vesinikku, mis moodustavad ühe molekuli). See reaktsioon on varemvaadeldud reaktsioonidest keerukam: siin esineb niihästi lagunemine (laguneb vesi) kui ka ühinemine. Ühinemisreaktsiooni tagajärjel tekib kustutatud lubi.



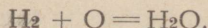
Joon. 134. Vesiniku saamine veest kaltsiumi abil.



Joon. 135. Vesiniku ümbervalamine ühest anumast teise.

valada vesinikku ühest anumast joonis 135.

Vesinik põleb; seejuures ühineb ta õhu hapnikuga ja tekib vesi (siit gaasi nimetus — vesinik). Seda reaktsiooni võib kirjutada nii:



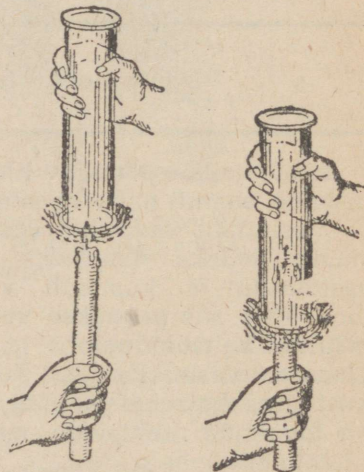
Võrrandi vasak pool näitab reaktsiooni lähteaineid: vesinikku  $H_2$  (kahest aatomist koosnev molekul) ja hapniku  $O$ . Võrrandi paremast poolst on näha reaktsiooni tulemus: üks molekul vett  $H_2O$ .

Sellepärast, kui hoiame klaasi kummuli vesinikuleegi kohal, siis kattuvad klaasi seinad niiskusega.

Suurem osa kehi vesinikus ei põle. Selles veendume järgmise katse abil: kummutatud silindrisse, mis on täidetud vesinikuga, pistame põleva küünla (joon. 136): avause juu-

reaktsioonidest keerukam: siin esineb niihästi lagunemine (laguneb vesi) kui ka ühinemine. Ühinemisreaktsiooni tagajärjel tekib kustutatud lubi.

Vesinik on maitsetu, värvitu ja lõhnatu gaas. Ta on õhust  $14\frac{1}{2}$  korda kergem, mistõttu teda ei saa hoida pealtpoolt lah-tises anumast: ta lenduks otsekohe. Vesinikku võib aga hoida kummuliolevas anumast; võib koguni teise, nagu seda näitab



Joon. 136. Vesinik põleb, kuid ei soodusta põlemist. Põlev küünal kustub vesinikus.

res olev vesinik hakkab põlema, aga küünal silindris kustub. Nii siis:

### Vesinik ei soodusta põlemist.

Vesiniku võime ära tunda ta kergusest, ta kergest süttivusest ja sellest, et ta põlemisel tekib vesi.

§ 71. **Vesiniku kasutamine tehnikas.** Kuna vesinik on haruldaselt kerge, kasutatakse teda õhupallide ja õhulaevade täitmiseks.

Kui vesinik põleb mitte õhus, vaid puhtas hapnikus, siis on ta leegil väga kõrge temperatuur — umbes 3000 kraadi. Selle kuumuse ära kasutamiseks tarvitatakse kahest teineteise sisse asetatud torust koosnevat põletit. Sisemisest torust tuleb hapnik, välisest — vesinik. Mõlemad gaasid segunevad torude avauste juures, kus segu süüdatakse, andes hapniku-vesiniku-leegi.

Hapniku ja vesiniku segu nimetatakse paukgaasiks. Paukgaas plahvatab süütamisel; see plahvatus on väga ohtlik, eriti kui gaasikogus on suur. Aga hapniku-vesinikupõleti on selles suhtes täiesti ohutu, kuna paukgaasi saadakse siin ainult väikeses koguses põleti avauste ümber.

Hapniku-vesinikupõleti leek sulatab vaske, terast, plaatinat, kvartsi ja muid raskesti sulavaid aineid.

Vesinik leiab kasutamist paljudes keemiatööstuse harudes, nii näiteks taimerasvade viimisel vedelast olekust tahkesse olekusse ja ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) valmistamisel (ammoniaak on aine, mida vajatakse eriti palju kunstväetisetööstuses).

### § 72. Leek ja põlemine leegis.

**Leegiks nimetatakse põlevaid hõõgkuumi aurusid ja gaase.**

Vaatleme küünlaleeki (joon. 137). Küünlaleek on koonuse-taoline; ta koosneb kolmest kihist: 1) seesmine mittehelendav, läbipaistev koonus AA, 2) keskmine helendav ja kõige vähem läbipaistev kiht DFH ja 3) väline kahvatu ja vaevalt nähtav kiht BOE.



Joon. 137. Küünlaleegi kihid.

Ei ole raske tõestada, et seesmine tume leegiosa evib kõige madalamat temperatuuri. Kui pistame puutiku kiiresti leegi sisemusse, asetades tikku põiki leeki, siis tikk sütib esmalt vahemikkudes EH ja BD ja alles sealt tuli levib kihile A. Võime pista tuletikuotsa ruumi AA ja võtta sealt mõne hetke pärast välja, ilma et tikk sütiks. See katse ei õnnestu leegi keskmise ja välimise kihiga. Kui asetame klaastoruotsa ruumi AA, siis hakkab toru kaudu liikuma raskeid valgeid gaase (joon. 138). (Neid gaase võime tähele panna ka ilma mingi seadeldiseta, kui kustutame küünla. Nende gaaside lõhn on kõigile hästi tuntud.) Neid gaase võib süüdata toru teises otsas. Sellest ilmneb, et seesmises tumedas leegiosas ei toimu põlemist selle sõna otseses mõttes, vaid et seal ainult tekib põlemiseks vajalik gaasiline materjal küünla ainest.



Joon. 138. Leegi seesmisest osast tulevad toru kaudu valged aarud. Seal põlemist ei ole.

Keskmise, kõige rohkem helen-dava leegiosa uurimiseks asetame sinna mõne külma keha (noa, klaasitüki, alustassikese või midagi muud). Keha kattub otsekohe tahmaga, s. o. väga väikeste söeosakestega. See süsi tekib seesmises leegiosas leiduvaist aurudest, mis kuumuse mõjul lagunevad elementideks. Söekübemed hõljuvad keskmises leegiosas; nad hõõguvad kuumusest ja helendavad. Sellest tekibki leegi valgus. Niisiis on leegi keskmises osas aine, millest küünal on tehtud, juba lagunenu elementideks (peamiselt süsinikuks ja vesinikuks). Leegi väliskihis ühinevad need elemendid ümbritseva õhu hapnikuga: nad põlevad ära. Seejuures tekib süsinikust süsihappegaas ja vesinikust vesi. See reaktsioon vabastab hulga soojust, mis sulatab lähemalasetsevad küünla-aine osakesed. Need tõusevad tahis ülespoole ja saavad omakorda kõigi kirjeldatud muutuste osaliseks.

Kui soovitakse saada mittehelenavat kõrgema temperatuuriga leeki (mis annaks vähem valgust ja järelikult ka vähem tahma), siis segatakse põlevaid gaase küllaldase õhuhulgaga. Seda saavutatakse mitmesuguste põletite abil.

### § 73. Hapendid.

Elementide ühendeid hapnikuga nimetatakse hapenditeks ehk oksüüdideks.

Mitmesugustel hapenditel on erinevad nimetused, olenedes hapendi molekulis sisalduva hapniku aatomite arvust. Need nimetused on: alahapend, hapend, kahelishapend, ülihapend jne.

Meenutame hapendeid, millest oli juba juttu selles peatükis. Me nägime elavhõbeda-hapendit (valem  $HgO$ ), vett  $H_2O$ , mida võiksime nimetada ka vesinikuhapendiks, süsinikuhapendit  $CO$ , süsihappegaasi  $CO_2$ , mille täpne nimetus on süsiniku-kahelishapend, ja rauahapendit  $Fe_3O_4$ , s. o. rauahapendi ja raudhapendi ühend.

Me nägime juba, et hapendid võivad tekkida põlemisel, see on mingi elemendi kiirel ühinemisel hapnikuga. Elementide ja ka mitmesuguste liitainete ühinemine hapnikuga toimub aga sageli ka aeglaselt ja peaaegu märkamatuult. Võtame tüki pliid, mis on kaua seisnud õhu käes. Plii pealispind on tuhmunud. Eemaldades pealmise kihi me näeme, et selle all on läikiv metall. Kui jätame selle metalli jälle kauemaks ajaks õhu kätte, siis ta helkiv pind tuhmub uuesti. Pealispinna tuhmumine on plii ja õhuhapniku aeglase ühinemise tulemuseks.

Palju teisigi metalle hapendub õhus samuti nagu plii.

**Õhus mittehapenduvaid metalle nimetatakse väärismetallideks.**

Neist on tuntuimad: kuld, hõbe, plaatina, elavhõbe.

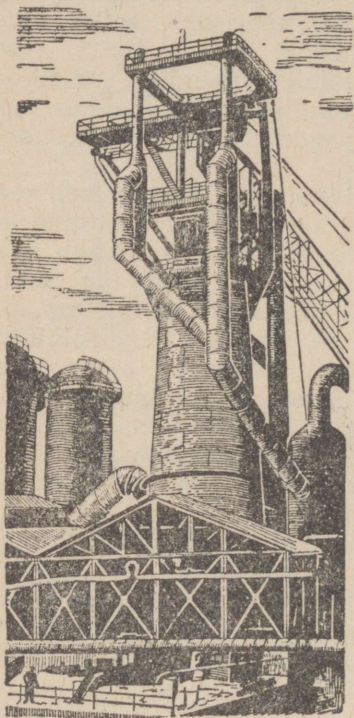
§ 74. Metallide hapendumine ja vahendid selle vastu. Kõige tähtsama metalli — raua — hapendumise küsimus omab määratu suurt praktilist tähtsust. Igaüks meist teab, et rauast või terasest valmistatud ese kattub roostekorraga, kui jätame ta pikemaks ajaks niiske õhu kätte.

### Rooste on raua ühend hapniku ja veega.

Raudeseme pinnale tekkinud roostet võime kergesti kõrvaldada kange soolhappe abil.

Kui aga ese on väga roostes, siis võib ta osutada täiesti tarvitamiskõlbmatuks. Seepärast antud juhul (ja ka muil juhtudel) peame kandma hoolt mitte niipalju metalli haiguse ravimise, kui selle haiguse ärahoidmise eest. Raua roostetamise ja üldse metallide hapendumise ärahoidmiseks tarvita- takse järgmisi vahendeid: aeg-ajalt puhastatakse metalli

pinda, õlitatakse metalli pinda või kaetakse see värvi- või lakikorruga, kaetakse metall-ese mõne teise, vähem hapenduva metalli kihiga, võttes selleks alumiiniumi, tsinki, tina, niklit, kroomi, kulda, hõbedat või muid metalle.



Joon. 139. Kõrgahi.

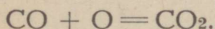
koksikiht (koksi saadakse kivisöest), mis peab ulatuma umbes kõrgahju poole kõrguseni. Siis pannakse ahju mitu kihti rauamaaki, vaheldumisi koksikihtidega (joon. 140). Rauamaagile lisandatakse teatud mineraalaineid, mis peavad ühinema maaki jäänud kõrvaliste kivimitega. Kui ahi on täidetud, süüdatakse küttepuid ning puhutakse altpoolt õhku sisse, et koksi põlema panna. Põlev koks (mis koosneb peamiselt süsinikust) ühineb sissepuhutud õhu hapnikuga, moodustades süsinikuhapendi CO. Seda ühinemist võib kirjutada nii:  $C + O = CO$ .

On üldiselt teada, et vasknõusid seestpoolt tinutatakse, s. o. kaetakse nad tinakorruga. Sellega hoitakse ära mürgiste vasehapendite tekkimist vase pinnale ja takistatakse eseme pinna järk-järgulist kulumist.

Käesoleval ajal osatakse valmistada roostevaba terast. Roostevaba teras ei hapendu ei õhus ega vees. Sellest terasest valmistatakse mitmesuguseid hinnalisi masinaid ja lennukiosi.

§ 75. **Raua taandamine kõrgahjudes.** Rauda leidub looduses rauamaagi näol. Rauamaagid koosnevad suuremalt osalt rauahapenditest. Nõndanimetatud kõrgahjuprotsessi abil eraldatakse raud sellega ühinenud hapnikust. See protsess teostub kõrgahjudes — määratu suurtes tulekindlatest tellistest ja terasest ehitatud tornides (joon. 139). Ahju alumisse ossa laotakse kuivi, petrooleumiga ülevalatud küttepuid. Puude peale pannakse

Võrrandi vasak pool näitab reaktsiooni lähteaineid: süsinikku C ja hapnikku O. Võrrandi parem pool näitab reaktsioonist tekkinud ainet: süsinikuhapendit CO. Süsinikuhapend on kõrgahjuprotsessi aktiivsemaks aineks, kuna ta eraldab hapniku maagi rauahapenditest. Seejuures süsinikuhapend ühineb maagist eraldatud hapnikuga. Seda reaktsiooni võib kirjutada nii:



Võrrandi vasakul poolel on reaktsiooni lähteained: süsinikuhapend CO ja hapnik O. Paremal poolel on reaktsioonist tekkinud aine: süsihappegaas CO<sub>2</sub>. (Ka põlev koks võtab rauamaagist osa hapnikku.)

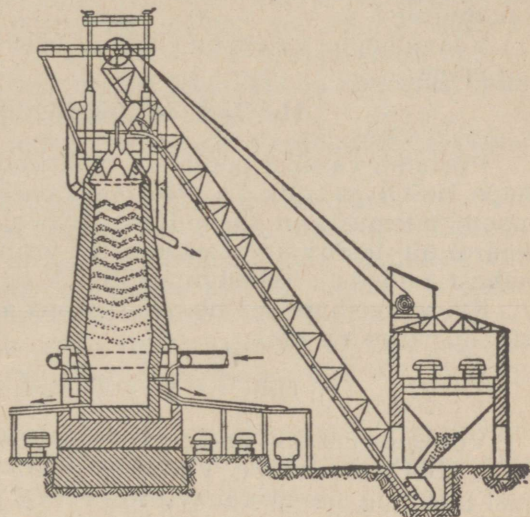
Kõrgahjuprotsessi tulemusena koguneb ahju alla sulanud malm — raua sulam vähese süsiniku hulgaga (mõni protsent) ja maagis olnud teiste metallidega.

Kõrgahjuprotsess on väga keeruline. Siin on toodud ainult ta peamised üldjooned. Kõige olulisem on ilmselt asjaolu, et rauahapenditest saadakse metalli — raua.

**Metallide saamist hapenditest nimetatakse metallide taandamiseks.**

§ 76. **Happed ja soolad.** Hapeteks nimetatud ained moodustavad laialdase liitainete liigi. Kõik happed sisaldavad vesinikku.

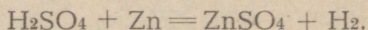
Vees lahustatud happed annavad veele hapu maitse; nad värvivad lakmuspaberi punaseks (lakmus on teatud taimedest saadud aine). Selle omaduse abil võib tõestada hapete juuresolu. Soolhape ja väävelhape on kõige laialdasemalt tarvitatud happed.



Joon. 140. Kõrgahju täitmine.

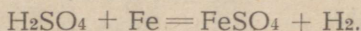
Hapetes sisalduvat vesinikku võib asendada metalliga. Seejuures tekkinud aineid nimetatakse sooladeks; vesinik saab vabaks ja eraldub. Seda omadust kasutatakse sageli vesiniku saamiseks. Nii valmistatakse vesinikku, valades lahjendatud väävelhapet (1 osa hapet 5 osa vee peale) tsinkpulbrile või rauapurule.<sup>1</sup>

Väävelhappe valem on  $H_2SO_4$ . Soola tekkimisreaktsioon on järgmine:



Võrrandi vasakul poolel on reaktsiooni lähteained: väävelhape  $H_2SO_4$  ja tsink Zn. Võrrandi parem pool näitab reaktsiooni tulemust: on saadud tsingivitriol  $ZnSO_4$  ja vesinik  $H_2$  (märgi all leiduv arv 2 osutab, et vesiniku molekul koosneb kahest aatomist). Tsingivitriol  $ZnSO_4$  on sool.

Kui väävelhappe mõjub rauasse, siis on soola tekkimisreaktsioonil järgmine käik:



Võrrandi vasakul poolel on reaktsiooni lähteained: väävelhape  $H_2SO_4$  ja raud Fe. Võrrandi parem pool näitab reaktsioonist tekkinud aineid: rauavitrioli  $FeSO_4$  ja vesinikku  $H_2$ . Rauavitriol on samuti sool. Me näeme, et sool tekib siis, kui happes sisalduv vesinik asendub metalliga.

Joonisel 141 näidatud seadeldis on kohane vesiniku saamiseks (soolade tekkimisel). Hapet valatakse juurde toru A kaudu, kuna vesinik eraldub toru B kaudu. Torust väljuvat vesinikku võib põlema süüdata; seda ei tohi aga teha enne, kui kogu õhk on anumast välja tõrjutud (vastasel korral tekib ohtlik plahvatus).

Joon. 141. Vesiniku saamine soolade tekkimise puhul.

Teistest hapetest nimetame gaasi- taolist kloorvesinikku, mille vesilahust nimetatakse soolhappeks. Soolhappe sooladest on järgmised üldiselt tuntud: lauasoole  $NaCl$  (ehk kloornaatrium) ja salmiaak  $NH_4Cl$  (ehk kloorammoonium).

<sup>1</sup> Praktikas on kasulikum segada need mõlemad metallid.

Salmiaaki tarvitatakse jootmisel, kuna ta lahustab hapendeid joodetavail metallipindadel.

§ 77. **Alused.** Eespool tutvusime ainega, mida nimetatakse kustutatud lubjaks (valem  $\text{CaO}_2\text{H}_2$ ). Kustutatud lubja valemist nähtub, et seda ainet võib vaadelda kui kaltsiumihapendi ( $\text{CaO}$ ) ühendit veega ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Omadustelt see aine ei sarnane ei happe ega soolaga. Ta kuulub ainete gruppi, mida nimetatakse alusteks. Nagu kustutatud lubi, nii on iga alus mõne (kuid mitte iga!) metalli ühendiks veega.

Aluseid tuntakse sellest, et nende vesilahused värvivad lakmuspaberi siniseks.

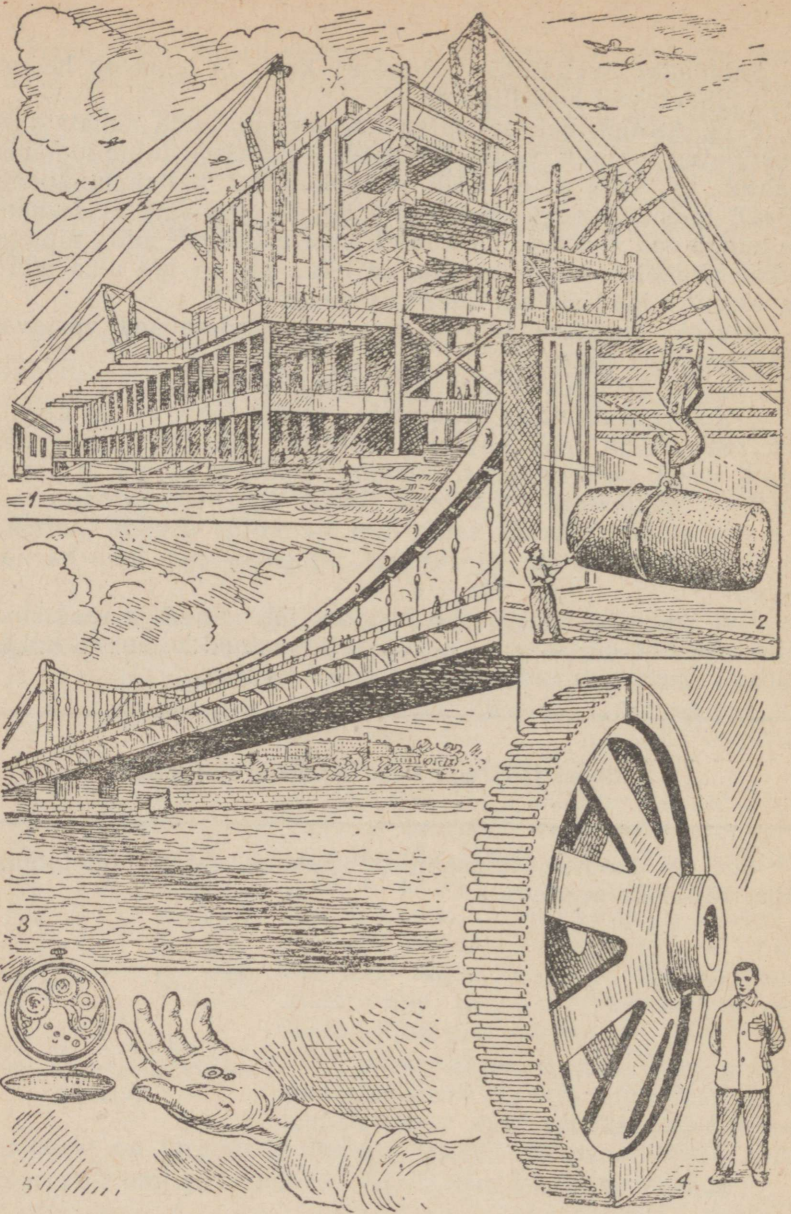
Aluste vesilahused tunduvad sõrmedel libedana.

§ 78. **Aine säilimise seadus.** Me teame juba, et iga keemilist reaktsiooni saab kujutada võrrandi abil, kusjuures võrrandi vasak pool näitab reaktsiooni astuvaid aineid ja parem pool — reaktsioonist tekkinud aineid. Iga liigi aatomite arv vasakul poolel võrdub sama liigi aatomite arvuga paremal poolel. Ükski aatom ei teki ei millestki ega kao ka jäljetult.

Kui kaalume hoolega reaktsiooni lähteained ja reaktsioonist tekkinud ained, siis näeme, et lähteained kaaluvad kokku täpselt samapalju kui tekkinud ained kokku.

**Aine ei teki ega kao, ta ainult muundub.**

See on looduse tähtsaim põhiseadus, mida nimetatakse **aine säilimise seaduseks.**



Mehaanika tehnikas: 1 — maailma suurima hoone ehitamine (Nõukogude Palee Moskvas); 2 — võimas kraana tõstab üles sajatonnise metallpanga; 3 — rippuv sild Moskva jõel (selliseid konstruktsioone võib püstitada ainult mehaanika seadusi tundes); 4 — määratu suur hammasratas „Bibi“ kannab liikumist üle ühelt võllilt teisele; 5 — kellamehhanismi tillukesed hammasrattad kannavad samuti liikumist üle.

## Kuues peatükk.

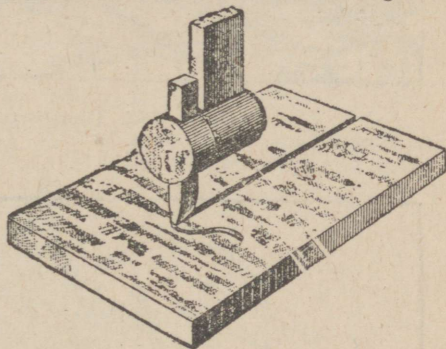
### LIIKUMINE.

Käesolev peatükk ja järgnevad kolm peatükki käsitlevad liikumist ja tunge. Õpetust liikumisest ja tungidest nimetatakse mehaanikaks.

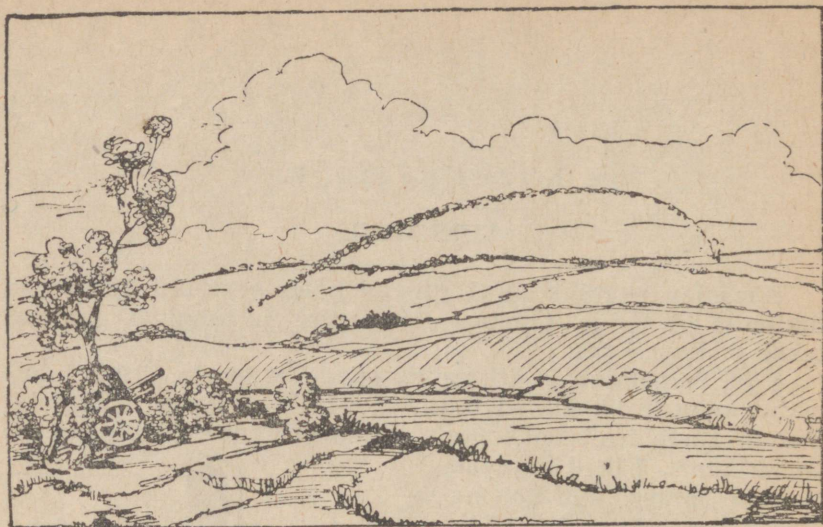
§ 79. **Paigalolek ja liikumine.** Looduses ei ole ühtegi liikumatut keha. Kõik kehad liiguvad. Maakera tiirleb oma telje ümber, ringeldes samaaegselt ümber Päikese. Päike liigub taevaruumis. Tähed liiguvad üksteise suhtes. Aga kui me ütleme, et mingi keha on paigal, siis see väide on õige ainult suhteliselt. Väga sageli oletatakse, et Maa on liikumatu (kuigi meile on hästi teada, et Maa on tegelikult alalises liikumises). Töötava treipingi padruni või lendava lennuki kohta öeldakse, et nad liiguvad, kuna nende asend Maa suhtes muutub. Kuid treipingi kanduri või mingisuguse hoone kohta öeldakse, et nad on liikumatud, kuna nende asend Maa suhtes ei muutu.

**Joont, mida moodustab liikuv keha, nimetatakse trajektooriks (liikumisteesks).**

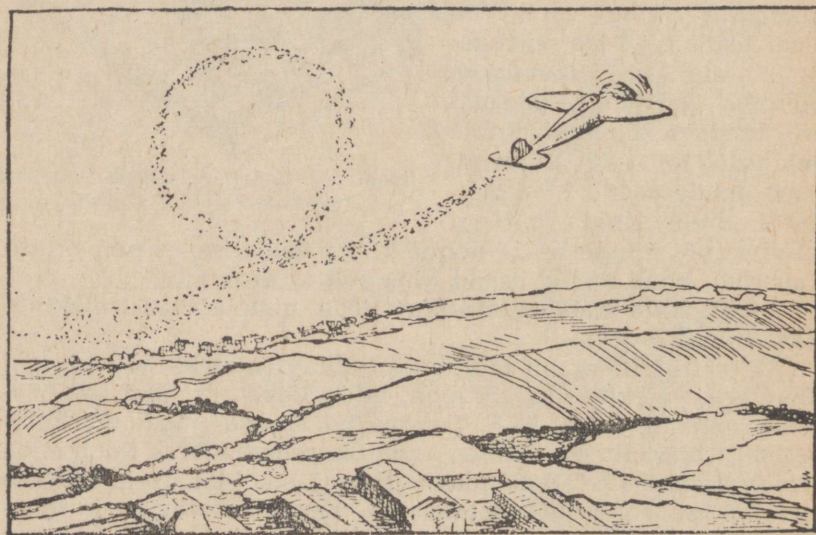
Keha trajektoor on mõnikord nähtav: näiteks hõövelpingi lõiketera trajektooriks on joon, mida lõiketera jätab töötlus-eseme pinnale (joon. 142). Trasseeriva mürsu (juga- või helkmürsu) trajektoor on nähtav, kuna trasseeriv mürsk jätab enda järele suitsujoa või helendava jälje (joon. 143). Neid mürske tarvitatakse lennukite tulistamiseks, nende kasutamine kergendab sihtimist. Lennuki lendjoon võib samuti olla nähtav tänu suitsujoale, mida lennuk jätab enda järele (joon. 144).



Joon. 142. Lõiketera märgib ära oma trajektoori töötlus-esemel.



Joon. 143. Trasseeriva mürsu trajektor.

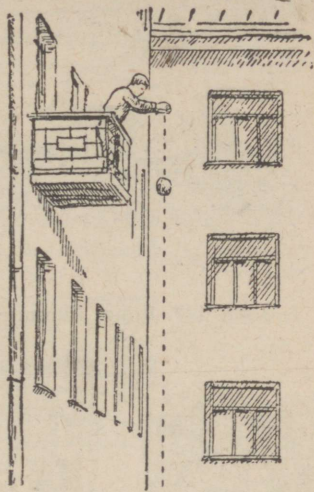


Joon. 144. Lennuki trajektor.

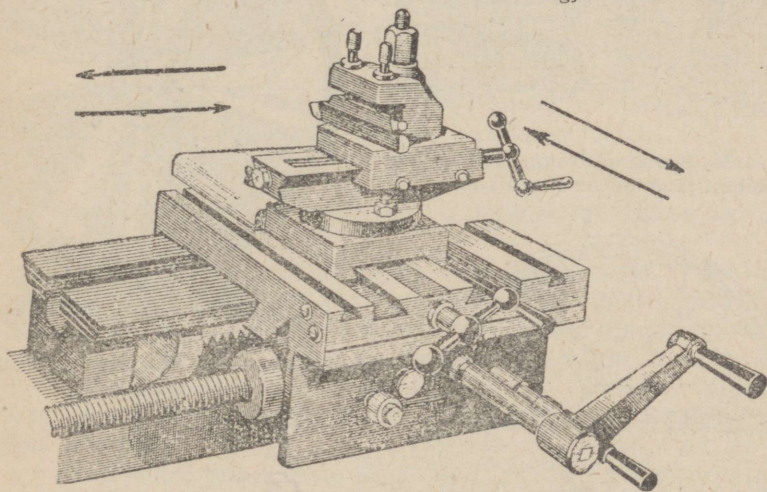
§ 80. **Liikumise liigid.** Kehade liikumine võib olla väga mitmesugune. Kui kõik keha punktid liiguvad mööda sirgjooni, nimetatakse liikumist sirgjooneliikumiseks. Kivi langemine, treipingi (vaata joonis 146) supordi liikumine on sirgjoonelised liikumised (joon. 145 ja 146).

Liikumist, kus keha liigub kõverjoont mööda, nimetatakse kõverjooneliikumiseks. Kõverjooneliikumise näitena võib tuua kääna kul sõitva raudteerongi liikumist (joon. 147).

Keha liikumist ümber telje nimetatakse ringliikumiseks ehk tiirlemiseks. Masinate hoorattad, treipinkide rihmaseibid ja padrunid, karussell-treipinkide plaanseibid ja paljud muud kehad tiirlevad (joon. 148 ja 149). Kõik tiirleva keha punktid liiguvad ringjoontel (joon. 150).

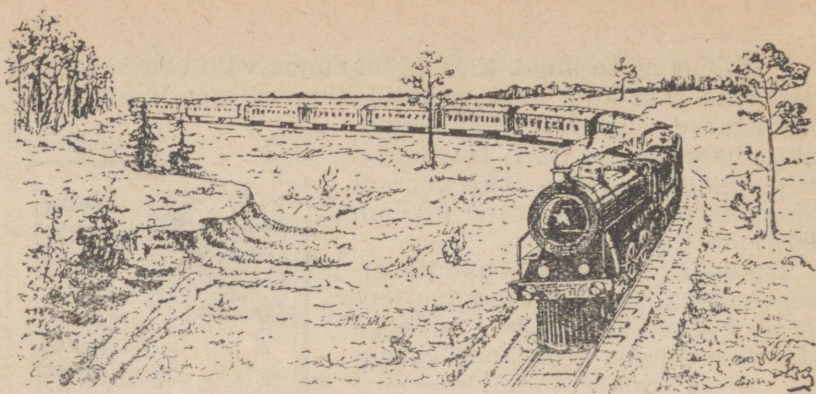


Joon. 145. Kivi langemine on sirgjooneline liikumine.

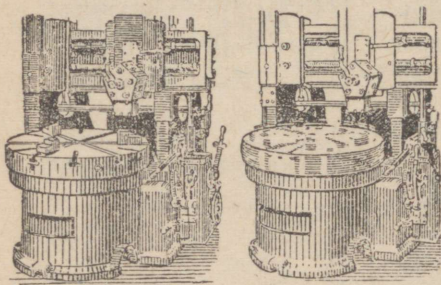


Joon. 146. Treipinki supordi liikumine on sirgjooneline liikumine.

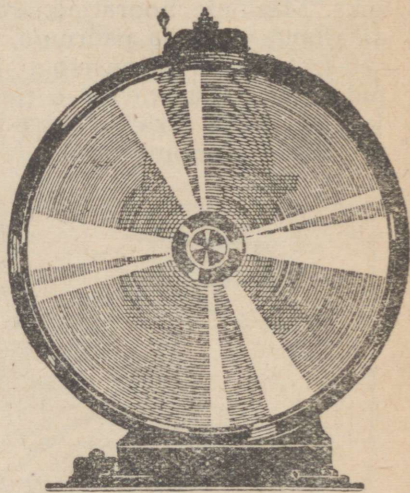
Liikumist, kus kõik keha punktid liiguvad täiesti ühtlaselt mööda ühesuguseid trajektoore, nimetatakse translatoorseks



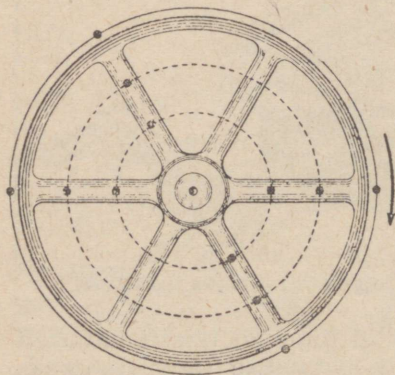
Joon. 147. Rongi liikumine käänakul on kõverjooneline liikumine.



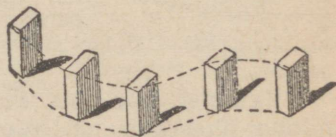
Joon. 148. Karussell-treipinkide plaan-  
seibide liikumine on ringliikumine.



Joon. 149. Masinate hoorattad  
tiirlevad.

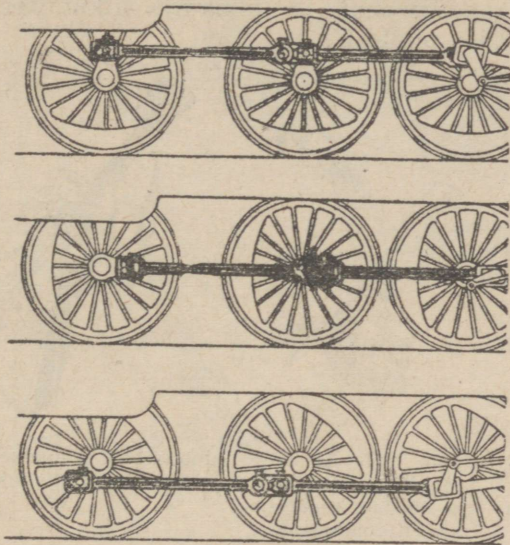


Joon. 150. Tiirleval kehal kõik punk-  
tid liiguvad mööda ringjooni.



Joon. 151. Translatorne liiku-  
mine.

liikumiseks (joon. 151). Translatoorse liikumise näitena võib tuua veduri sidetiisli liikumist (joon. 152). Veduri sidetiisliks nimetatakse kangki, mis ühendab veduri veorattad omavahel. Translatoorsel liikumisel mõnikord keha liigub mööda kõverjoont, kuid ta ei tiirle; selles on translatoorse liikumise iseära-



Joon. 152. Veduri sidetiisli liikumine on translatoorne liikumine.

sus. Sirgjooneline liikumine on translatoorse liikumise erijuhuks.

Sageli tuleb tegemist teha ka võnkliikumisega. Võnkliikumise näitena võib nimetada kellapendli liikumist (joon. 153), samuti elastse plaadikese liikumist, mille üks ots on liikumatu (joon. 154), või mõne muusikariista keelte liikumist (joon. 155).

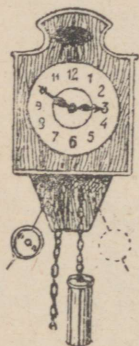
Keha sooritab sageli samaaegselt mitu erinevat liikumist. Näiteks autoratas tiirleb ja samaaegselt liigub translatoorselt ühes autoga.

§ 81. **Käidud tee. Kiirus.** Teed, mida läbib keha, nimetatakse käidud teeks. Käidud teed mõõdetakse mõnes pikkusühikus: kilomeetrites, meetrites või sentimeetrites.

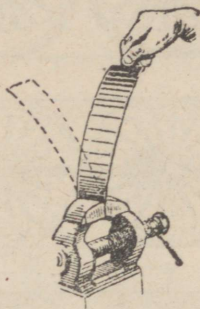
Uhte ja sedasama teed võib ära käia erineva ajaga. Jala-käija võib näiteks vahemaa Moskva ja Leningradi vahel (üle

600 kilomeetri) ära käia umbes 20 päevaga. Hobuveok võib sõita selle maa kümne päevaga. Raudteerong „Nool“ läbib sama vahemaa 10 tunniga. Kiire lennuk vajab selleks ainult poolteist tundi, kuna raadioteate levimine Moskvast Leningradi toimub 0,002 sekundi vältel (joon. 156).

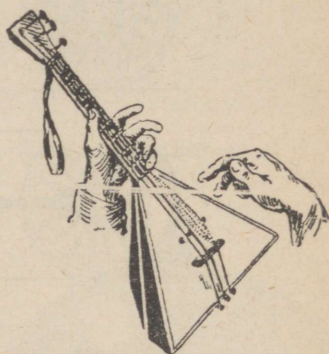
Lennuki, raudteerongi ja jalakäija liikumised erinevad üksteisest kiiruse poolest.



Joon. 153. Kel-lapendli liikumine on võnkliikumine.



Joon. 154. Kruus-tangide vahel oleva elastse plaadikese liikumine on võnkliikumine.



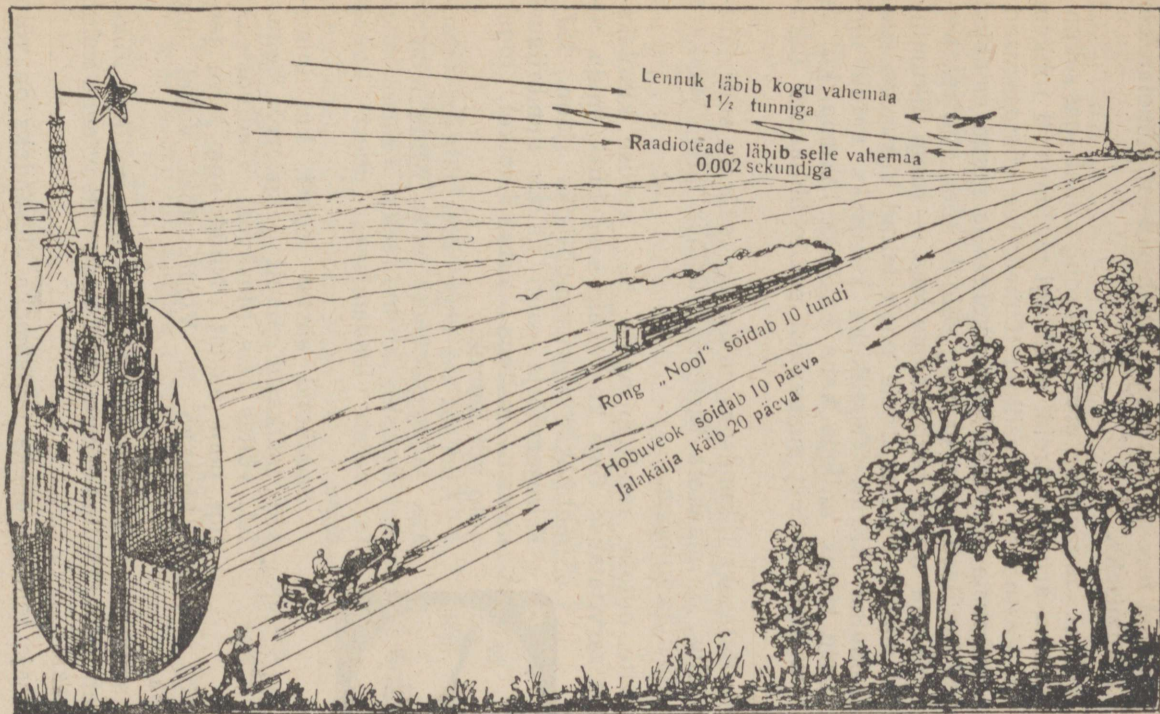
Joon. 155. Muusikariista keele liikumine on võnkliikumine.

**Kiiruseks nimetatakse tee pikkust, mis liikuv keha käib ära ühe ajaühiku jooksul.**

Vaatleme järgmist näidet: rong sõidab 720 kilomeetrit 10 tunniga. Kui palju ta sõidab ühe tunniga? Me leiame kerge vaevaga, et ühe tunniga rong sõidab  $720 : 10 = 72$  kilomeetrit. Võib öelda, et rongi kiirus on 72 kilomeetrit tunnis.

Uhes tunnis on 3600 sekundit. Me leiame hõlpsasti, et sama rong läbib sekundis  $\frac{72 \cdot 1000}{3600} = 20$  meetrit. Järelikult selle rongi kiirus on 20 meetrit sekundis.

Ulaltoodud ülesandes oletasime, et rong sõidab ära 20-meetrise vahemaa esimeses, teises, kolmandas ja ükskõik millises sekundis kümnetunnisest ajavahemikust. Me oletasime, et rongi kiirus on ühtlane, muutumatu.



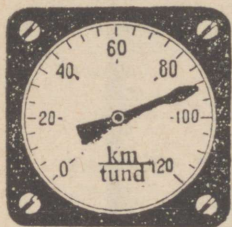
Joon. 156.

Liikumist, kus keha kiirus on muutumatu (see on, kus keha käib ära võrdsed teosad võrdseis ajavahemikes), nimetatakse ühtlaseks liikumiseks.

Tegelikult ei saa muidugi arvata, et rong sõidab igas sekundis täpselt sama arvu meetreid, ei ühtegi millimeetrit rohkem ega vähem. Vastuoks: juhuslikud tõuked, tee ebatasasused, põletise ebaühtlane põlemine vedurikoldes ja muud asjaolud põhjustavad kindlasti seda, et rong sõidab ühes võrdses teosas veidi pikema, teises veidi lühema maa, — rongi liikumine ei ole täiel määral ühtlane. Meie poolt leitud kiirus on seepärast keskmine kiirus. Tegelikuks kiiruseks antud momendil on see kiirus, millega keha hakkaks liikuma, kui ta liikumine muutuks sellest momendist peale ühtlaseks liikumiseks.

Täiesti ühtlaseks liikumiseks, millel on määratu suur tähtsus meie elus, on maakera tiirlemine ümber telje. Maakera teeb ühe tiiru 24 tunniga.

Lennukite, autode, raudteerongide jne. kiiruse kindlakstegemiseks tarvitatakse õige keerukaid seadeldisi, mida nimetatakse kiirusemõõtjaks (joon. 157). Kiirusemõõtja osuti näitab numbrilaual kiirust, millega antud hetkel liigub auto või lennuk.



Joon. 157. Kiirusemõõtja.

Kiirusel on väga suur tähtsus tehnikas ja igapäevases elus. Mida suurem on lennuki kiirus, seda vähem aega ta vajab lendamiseks ühest kohast teise.

Sadakond aastat tagasi, kui inimesed matkasid ainult jalgsi või hobustel, vältas reis Moskvast Vladivostokki ligi pool aastat. Nüüd aga kiire lennuk katab vahemaa Moskva ja Vladivostoki vahel ühe ööpäevaga.

Mida suurem on lõikekiirus, see on kiirus, millega lõike-tera lõikab laastu töötlus-eseme pealt, seda vähem aega kulub töötlemiseks.

Nüüdisaja tehnika üheks tähtsamaks ülesandeks on võitlus kiiruse suurendamie eest.

Järgmises tabelis on toodud mõningaid kiirusi.

Maksimaalsete kiiruste tabel.

	Kiirus		Kiirus
Tigu . . . . .	0,0036 km tunnis	Auto . . . . .	602 km tunnis
Jalakäija . . . . .	7 " "	Lennuk . . . . .	756 " "
		Kaugelaske- suurtüki	
Rekordjooksja . . . . .	36 " "	mürsk . . . . .	3 " sekun- dis
Ratsahobune . . . . .	61 " "	Maakera liiku- mine ümber	
Jänes . . . . .	65 " "	Päikese . . . . .	30 " "
Hurdakoer . . . . .	90 " "	Valgus . . . . .	300 000 " "
Vedur . . . . .	200 " "		

§ 82. Seos käidud tee, aja ja kiiruse vahel. Keha keskmist kiirust on väga kerge välja arvutada: jagatakse käidud tee pikkus ajaga, mille jooksul antud tee on ära käidud:

$$\text{kiirus} = \frac{\text{käidud tee pikkus}}{\text{aeg}}$$

Keha kiirust väljendatakse liit-ühikuis: kiiruse ühikuks on käidud tee ühik jagatud ajaühikuga.

Kiirust väljendatakse kõige sagedamini meetrites sekundi

kohta (tähis:  $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ) ja kilomeetrites tunni kohta (tähis:  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ).

Meie näites veduriga on kiirus  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  ehk  $20 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ .

Kuna kiiruseks on käidud tee jagatud ajaga, siis käidud tee pikkus võrdub kiiruse ja aja korrutisega (jagatav võrdub jagaja ning jagatise korrutisega):

$$\text{käidud tee pikkus} = \text{kiirus} \times \text{aeg}$$

Aeg võrdub käidud tee pikkuse ja kiiruse jagatisega (üks teguritest võrdub korrutise ja teise teguri jagatiselega):

$$\text{aeg} = \frac{\text{käidud tee pikkus}}{\text{kiirus}}$$

Uhikud, milles avaldatakse käidud tee pikkust, aega ja kiirust, peavad olema kooskõlastatud. Näiteks, kui kiirus on kilomeeter-tundides (km/h), siis käidud teed tuleb väljendada kilomeetrites ja aega tundides. Kui kiirus on kilomeeter-sekundites (km/sek), siis tuleb käidud teed väljendada kilomeetrites ja aega sekundites. Kui kiirus on meeter-sekundites (m/sek), siis käidud teed tuleb väljendada meetrites ja aega sekundites.

Allpool toome mõned näited.

Näide 1. Lennul ühest linnast teise on hävitajalennuk arendanud keskmist kiirust 666 km/h. Väljendame selle kiiruse meetrites sekundi kohta. Vahemaa on meetrites: 666 km = 666 000 meetrit. Üks tund sisaldab 3600 sekundit, järelikult

$$\text{kiirus võrdub } \frac{666\,000}{3600} = 185 \text{ m/sek.}$$

Et teisendada kiirust „kilomeeter tunnis“ kiiruseks „meeter sekundis“, korrutame antud arvu 1000-ga ja jagame 3600-ga; sama tulemuse saame jagades antud arvu otsekohe 3,6-ga:

$$666 \text{ km/h} = \frac{666}{3,6} = 185 \text{ m/sek}$$

Näide 2. Heli levimiskiirus on ligikaudu 333 m/sek. Teisendame selle kiiruse kilomeeter-tundideks. Vahemaa kilomeetrites on 333 m = 0,333 km. Ühes tunnis heli läbib 3600 korda pikema tee kui ühes sekundis: järelikult heli kiirus on 0,333 km/sek = 0,333 · 3600 ehk umbes 1200 km tunnis. Sama tulemuse saame korrutades antud kiirust otsekohe 3,6-ga:

$$333 \text{ m/sek} = 333 \cdot 3,6 \text{ ehk umbes } 1200 \text{ km/h.}$$

Näide 3. Rekordjooksja katab 100 meetrit 10,6 sekundiga; leida tema keskmine kiirus.

Käidud tee pikkus on 100 meetrit, aeg on 10,6 sek. Kui

jooksja katab 100 meetrit 10,6 sekundiga, siis ühe sekundiga ta katab 10,6 korda lühema maa:

$$\text{kiirus} = \frac{\text{käidud tee}}{\text{aeg}} = \frac{100}{10,6} = \text{umbes } 9,43 \text{ m/sek.}$$

Näide 4. Nõukogude kiirveduri kiirus (joon. 158) on 155 km/h. Leida vahemaa, mille ta katab 3 tunniga.

Kiirus on 155 km/h, aeg on 3 tundi.

Kui vedur katab ühes tunnis 155 km, siis kolme tunniga ta sõidab kolm korda pikema maa:

$$\text{Käidud tee} = \text{kiirus} \cdot \text{aeg} = 155 \cdot 3 = 465 \text{ km.}$$

Näide 5. Nõukogude lendur Šebanov läbis 1-tonnise koormatusega 5000-km vahemaa; arendades keskmist kiirust 400 km/h, püstitas ta seega maailmarekordi. Leida lennu kestvus.

Lennutee pikkus on 5000 km, kiirus 400 km/h. Aeg võrdub käidud tee pikkuse ja kiiruse jagatisega:

$$\text{aeg} = \frac{\text{käidud tee}}{\text{kiirus}} = \frac{5000}{400} = 12,5 \text{ tundi ehk}$$

12 tundi 30 min.

**Ulesanne 1.** Vintpüssikuuli kiirus torust väljumisel on 820 m/sek. Avaldada see kiirus km/h-des.

Vastus: 2952 km/h.

**Ulesanne 2.** Ameerikas saavutas võidusõiduauto (joon. 159) 1931. aastal kiiruse 504 km/h. Avaldada see kiirus meetrites sekundi kohta.

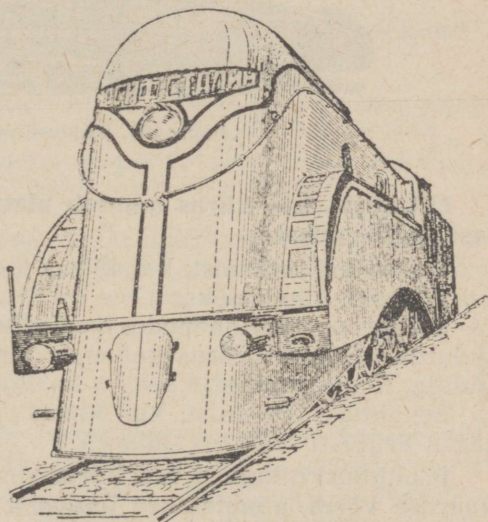
Vastus: 140 m/sek.

**Ulesanne 3.** Jalakäija liigub kiirusega 1,2 m/sek. Kui suure vahemaa ta läbib 4 tunniga?

Vastus: 17,28 km.

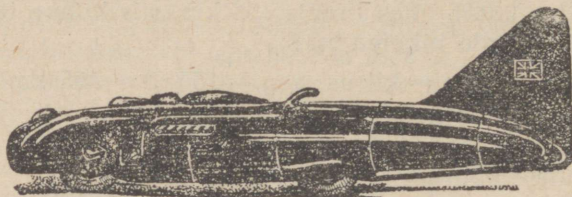
**Ulesanne 4.** Maakera kaugus Päikesest on 150 miljonit kilomeetrit; valguse levimiskiirus on 300 000 km/sek. Mitme minutiga jõuab valguskiir Päikeselt Maakerale?

Vastus: 8 min. 20 sek.



Joon. 158. Nõukogude kiirvedur.

§ 83. **Ebaühtlane liikumine. Kiirendus.** Vaatleme jaamast väljuva rongi liikumist. Oletame, et veduril (või ühes vagunis) asetseb kiirusemõõtja. Rongi paigal olles on kiirus null ja kiirusemõõtja osuti on nulli peal. Kuid kõlab vile ja rong hakkab liikuma, kiirusemõõtja osuti kaldub nullist kõrvale ning näitab kiirust, millega rong sõidab antud hetkel. Rongi kiiruse kasvades näitab kiirusemõõtja üha suuremat kiirust.



Joon. 159. Võidusõiduauto.

**Liikumist, kus kiirus muutub alata, nimetatakse ebaühtlaseks liikumiseks.**

Ebaühtlast liikumist, kus kiirus järjest kasvab, nimetatakse kiirenevaks liikumiseks.

Rongi jaamale lähenedes vedurijuht suleb auru ja hakkab pidurdama, rongi kiirus kahaneb järjest ja langeb viimaks nullile. Rong peatub.

Ebaühtlast liikumist, kus kiirus järjest kahaneb, nimetatakse aeglustuvaks liikumiseks.

**Ebaühtlast liikumist, kus kiirus kasvab igas sekundis võrdse suuruse võrra, nimetatakse ühtlaselt kiirenevaks liikumiseks.**

**Kiiruse juurdekasvu ühes sekundis nimetatakse kiirenduseks.**

Et leida kiirendust, tuleb jagada kiiruse juurdekasv selle ajavahemikuga, mille jooksul kiiruse juurdekasv on tekkinud:

$$\text{kiirendus} = \frac{\text{kiiruse juurdekasv}}{\text{aeg}}$$

Näide 1. Leida raudteerongi kiirendus, kui viie minuti jooksul kiirus kasvas 6 meetri võrra sekundis.

Kiiruse juurdekasv on 6 m/sek; ajavahemik on 5 min. ehk 300 sek.

Kiirendus võrdub kiiruse juurdekasvu ja aja jagatisega:  
 $\frac{6}{300} = 0,02$ . Järelikult rongi kiirus kasvas 0,02 m/sek võrra sekundis.

Näide 2. Leida lennuki kiirendus startimisel, kui hoo- võtu aeg on  $\frac{1}{2}$  minutit ja kiirus õhikutõusmisel 108 km/h.

Lennuki algkiirus on null, järelikult kiiruse juurdekasv on 108 km/h ehk 30 m/sek. Ajavahemik on  $\frac{1}{2}$  minutit ehk 30 sek. Kiirendus võrdub kiiruse juurdekasvu ja aja jagatisega:  
 $\frac{30}{30} = 1$ . Niisiis kasvab lennuki kiirus startimisel igas sekundis 1 m/sek võrra.

Ulesanne 1. Leida auto kiirendus, kui 8 sekundit pärast sõidu algust auto kiirus on 36 km/h.

Vastus: 1,25 m/sek sekundis.

Ulesanne 2. Trammi sõidukiirus kasvab 0,1 m/sek võrra igas sekundis. Kui suur on trammi kiirus 1 minut pärast sõidu algust?

Vastus: 6 m/sek.

§ 84. **Keha vaba langemine. Õhutakistuse mõju.** Ühtlaselt kiireneva liikumise kõige sagedamini ettetulevaks juhuks on keha vaba langemine. Katselisel teel on kindlaks tehtud:

### Kõik kehad langevad võrdse kiirendusega.

Kõik õhus liikuvad kehad (sealhulgas ka langevad kehad) alluvad õhu pidurdavale mõjule. Seda õhutakistust võib tunda, kui sirutada käsi välja kiiresti sõitva raudteevaguni aknast. Sama õhutakistust tunne ka tuule käes seistes. Tuul ei ole ju muud kui liikuv õhk. Igaühel on teada, et tugev tuul „tõstab maast“.

#### Õhutakistus kahandab langevate kehade kiirust.

Õhu takistava mõju kõrvaldamiseks asetame kehad pikka klaastorusse ja pumpame sealt õhu välja. Kui õhk on välja pumbatud ja toru on küllalt lai, siis udusulg, korgitükk ja teraskuulike langevad torus võrdse kiirusega.

Teadlased on arvukate katsete teel leidnud, et langeva keha kiirus kasvab igas sekundis 9,8 m/sek võrra (kui õhu takistav mõju on kõrvaldatud). „Raskete“ kehade (näiteks õhupommid, kivid, vihid) langemisel mitte väga suurest kõrgusest pääseb

õhutakistus vähe mõjule. Kõik sellised kehad langevad võrdse kiirendusega.

Kergeste kehade langemisel on õhu takistav mõju väga tunduv. Näiteks udusuled või tolmukübemed langevad väga aeglaselt ja ühtlase kiirusega. Nende kiirendus võrdub nulliga.



Joon. 160. Õhu takistav mõju pidurdab liikumist. „Kestvushüp“ sooritav langevarjur ei saa sel põhjusel langeda kiiremini kui 65 m/sek.



Joon. 161. Langevarjuri langemisel lahtise langevarjuga on õhu takistav mõju niivõrd suur, et langevarjur liugleb allapoole ühtlase kiirusega, mis ei ületa 5–6 m/sek.

Raskete kehade langemisel suurest kõrgusest, kui keha kiirus on muutunud suureks, on takistav mõju väga tunduv. Näiteks langevarjur, kes sooritab „kestvushüp“ (langevarju avamata), ei saavuta kiirust üle 65 m/sek (joon. 160). Edasi ta langeb ühtlase kiirusega, kuna kiirendus võrdub nulliga. Kestvushüppaja ei saavuta suuremat kiirust sellepärast, et seda takistab õhu mõju. Avatud langevarjuga

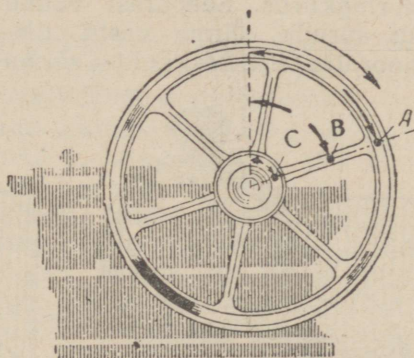
allatulekul on õhutakistus nii suur, et langevarjur langeb ühtlase kiirusega, mis ei ületa 5—6 m/sek (joon. 161).

§ 85. **Ringliikumine. Tiirlemiskiirus.** Mitmesuguste masinate ja mehhanismide ehitamisel rakendatakse laialt ringliikumist: hammasrattad, hoorattad, kinnituspadrunid ja võllid tiirlevad. Nagu me teame, liiguvad kõik tiirleva keha punktid mööda ringjooni.

Tiirlemiskiirust avaldatakse tavaliselt tiirude arvuga minutis või sekundis. Nii öeldakse: hooratas teeb 200 tiiru minutis, või: treipingi kinnituspadrun teeb 10 tiiru sekundis. Minutis on 60 sekundit, seepärast kui kinnituspadrun teeb 10 tiiru sekundis, teeb ta minutis  $10 \cdot 60 = 600$  tiiru.



Joon. 162. Tahhomeeter. Sellega mõõdetakse tiirude arvu.



Joon. 163. Hooratta mitmesuguste punktide ringkiirus on mitmesugune. Punkt A liigub kiiremini kui punkt B; punkt B liigub kiiremini kui punkt C. Mida kaugemal tiirlemisteljest asetseb antud punkt, seda kiiremini see punkt liigub.

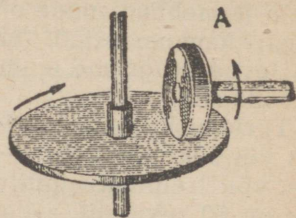
Mõned mehhanismiosad tiirlevad väga aeglaselt: näiteks kella tunniosuti teeb ühe ringi 12 tunniga. Teised mehhanismiosad tiirlevad kiiresti: näiteks ketramismasinate värtnad, automootorid või elektrimootorid teevad mitu tuhat tiiru minutis. Kõige kiiremini tiirlevad auruturbiinid. Kiirekäiguline auruturbiin teeb üle 20 000 tiiru minutis. Suurim senisaavutatud tiirlemiskiirus ulatub 60 000 tiiruni minutis.

Tiirude arvu saab mõõta seadeldise abil, mida nimetatakse tahhomeetriks (joon. 162). Tiirude arvu mõõtmiseks surutakse

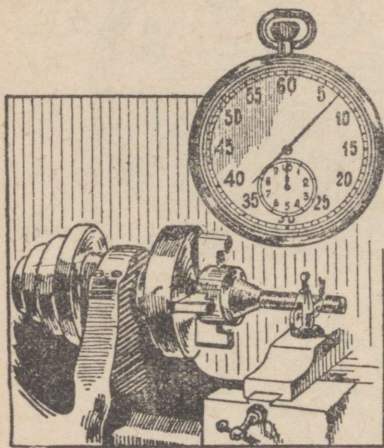
tahhomeetri teravik tiirleva telje või võlli keskkoha vastu. Et seda oleks hõlpsam teha, on võlli keskpaias väike süvis.

### § 86. Ringkiirus.

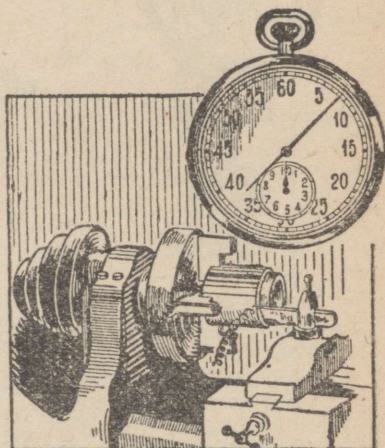
**Kiirust, millega liigub mingisugune tiirleva keha punkt, nimetatakse ringkiiruseks.** Tiirleval kehal on mitmesugustes punktides mitmesugune ringkiirus (joon. 163). Tiirleval kehal on aga ka niisuguseid punkte, mis ei evi mingisugust kiirust; need punktid asetsevad tiirlemisteljel. Mida kaugemal mõni punkt on tiirlemisteljest, seda suurem on selle punkti ringkiirus. Seepärast võime julgesti suruda sõrme vastu tiirleva hooratta telje keskkoha: sõrme



Joon. 164. Rattakese A nihutamisel paremale või vasakule võlli B tiirude arv muutub sujuvalt.



Joon. 165. Kui töötlus-eseme läbimõõt on väike, lõikab treitera laastu aeglaselt.



Joon. 166. Kui töötlus-eseme läbimõõt on suur, siis võrdse tiirude arvu juures lõikab treitera laastu kiiresti.

all olevate punktide kiirus ei ole suur. Kuid me ei või asetada sõrme hooratta pöiale: see liigub nii kiiresti, et võib sõrmelt naha ära kiskuda.

## Kõige kiiremini liiguvad põial asetsevad rattaosad.

Et oleks võimalik sujuvalt muuta võlli tiirude arvu, tarvitatakse järgmist mehhanismi: võllil, mis peab tiirlema, asetseb väike rattake, see rattake võib liikuda paremale ja vasakule (joon. 164). Rattake surutakse vastu tiirlevat ketast. Kui nihutame rattakest nii, et ta on surutud vastu ketta keskk kohta, siis võll ei tiirle üldse. Mida kaugemale nihutame rattakest ketta keskkohast, seda kiiremini tiirleb võll.

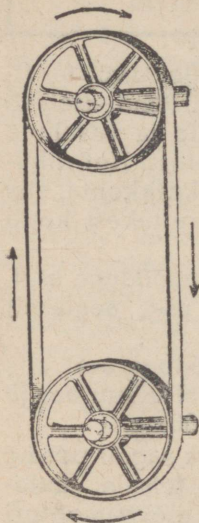
Kui treipingil töödeldakse mingit väikese läbimõõduga eset, siis ringkiirus ei ole suur ja treitera lõikab eset aeglaselt (joon. 165).

Kui aga treipingil töödeldakse suure läbimõõduga eset, siis sama tiirude arvu juures on eseme ringkiirus palju suurem ja lõiketera lõikab laastu palju kiiremini (joon. 166).

§ 87. **Ajamid ja liikumise muundamine.** Väga sageli peame liikumist üle kandma ühelt mehhanismiosalt teisele: automootori liikumine kantakse üle tagaratastele; elektrimootori liikumine kantakse üle treipingi võllile ja supordile; kolvi liikumine kantakse veduri veoratastele. Mõnel juhul ei muudeta ülekantava liikumise iseloomu: näiteks kui on vaja, et sirgjooneline liikumine jääks sirgjooneliseks liikumiseks või ringliikumise ringliikumiseks. Teistel juhtudel on aga vaja sirgjoonelist liikumist muuta ringliikumiseks või vastupidi — muuta ringliikumist sirgjooneliseks liikumiseks. Näiteks elektrimootori ringliikumine muudetakse treipingi supordi sirgjooneliseks liikumiseks; kolvi sirgjooneline liikumine muudetakse aurumasina hooratta ringliikumiseks. Ringliikumise muundamise otstarbel sirgjooneliseks liikumiseks (või vastupidi) tarvitatakse vāntmehhanisme, ekstsentrikuid, nokke, kulisse, kruvisid ja muid seadeldisi. Kõigist neist mehhanismidest on juttu allpool.

Liikumise ülekandmisel võib tiirude arv jääda muutmatuks, kuid mõnel juhul seda muudetakse. Näiteks treipingi võll tiirleb tavaliselt väiksema kiirusega kui elektrimootor, aga ketramisemasina värten või lihvimispingi ketas tiirlevad elektrimootorist palju kiiremini. Järgnevates paragrahvides selgitatakse, kuidas liikumine kandub ühelt mehhanismilt teisele ja kuidas toimub liikumise iseloomu muutmine.

§ 88. **Rihm-ajam.** Väga laialdaselt levinud on rihm-ülekanne ehk rihm-ajam (joon. 167 ja 168). Ajami rihm jookseb kahel rihmaseibil, või hoorattal ja ühel rihmaseibil. Kui ajam töötab korralikult, siis rihm ei libise rihmaseibil (ei puksi). Rihmaseibid, millel jookseb rihm, omavad võrdset ringkiirust. Rihmaseibide tiirude arv võib aga olla erinev: mida suurem on rihmaseibi läbimõõt, seda väiksem on ta tiirude arv.



Joon. 167. Rihm-ajam. Kui rihmad ei ristuvad, tiirlevad mõlemad rihmaseibid samas suunas.

Joon. 168. Rihm-ajam. Kui rihmad ristuvad, tiirlevad rihmaseibid vastassuunas.

Üks rihmaseibidest (näiteks mootori oma) on vedav, teine (näiteks treipingi oma) on veetav. Kui jagame veetava rihmaseibi tiirude arvu vedava rihmaseibi tiirude arvuga, siis jagatist nimetatakse ülekandesuhteks. Sama ülekandesuhte saame, kui jagame vedava rihmaseibi läbimõõdu veetava rihmaseibi läbimõõduga.

Näiteks kui mootori rihmaseibi läbimõõt on 12 sentimeetrit ja treipingi rihmaseibi läbimõõt 36 sentimeetrit, siis on ülekandesuhe mootorilt treipingile  $12 : 36$  ehk  $1 : 3$ .

**Masina tiirude arv võrdub mootori tiirude arvu ja ülekandesuhte korrutisega.**

Kui mootor teeb 1500 tiiru minutis, siis masin teeb  $1500 \cdot \frac{1}{3}$  ehk 500 tiiru minutis.

Mõnikord on vaja saada mitmesuguseid tiirude arvusid sama mootoriga, mis tiirleb püsiva kiirusega; sel puhul kasutatakse astmelisi või koonusekujulisi rihmaseibe (joon. 169 ja 170). Nihutades joonistel näidatud ajami rihmasid paremale või vasakule, saame mitmesugused masina tiirude arvud. Rihmasid nihutatakse eriliste rihmalükkajate abil.

Mida suurem on mootori rihmaseibi läbimõõt ja mida väiksem on masina rihmaseibi läbimõõt, seda kiiremalt tiirleb masina rihmaseib.

Näide. Mootori rihmaseibi läbimõõt on 13 cm ja mootor teeb 1800 tiiru minutis. Masina rihmaseibi läbimõõt on 26 sentimeetrit. Leida ülekandesuhe ja masina tiirude arv minutis.

Ülekandesuhe on mootori rihmaseibi läbimõõdu jagatis masina rihmaseibi läbimõõdu

$$\text{ga } \frac{13}{26} = \frac{1}{2} \text{ (lääbimõõdu)}$$

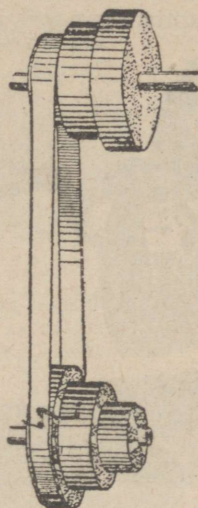
dud peavad olema väljendatud samades ühikutes). Masina rihmaseibi tiirude arv minutis võrdub mootori tiirude arvu ja üle-

kandesuhte korrutisega:  $1800 \cdot \frac{1}{2} = 900$  tiiru minutis.

**Ülesanne 1.** Mootori rihmaseibi läbimõõt on 10 cm, tiirude arv minutis on 2400. Käivitatud masina rihmaseibi läbimõõt on 15 cm. Leida masina tiirude arv minutis ja ülekandesuhe. Vastus: 1600 tiiru minutis; 2 : 3.

**Ülesanne 2.** Mootori rihmaseibi läbimõõt on 18 cm ja ta teeb 2100 tiiru minutis; ülekandesuhe on 2 : 1. Leida käivitatava masina rihmaseibi tiirude arv minutis ja läbimõõt. Vastus: 4200 tiiru minutis; 9 cm.

§ 89. **Hõõrd-ajam.** Hõõrd-ajam koosneb ühest või mitmest kokkupuutuvast rattast (joon. 171). Rattapöiad kaetakse mõnikord sitke, kareda materjaliga, mille nimetuseks on „ferado“. Seda tehakse parema haardumise saavutamiseks rataste vahel. Hõõrd-ajamil (nagu rihm-ajamilgi) tiirleb suur ratas aeglaselt, väike ratas aga kiirelt. Kui mõlema ratta läbimõõt on võrdne, tiirlevad nad võrdse kiirusega. Hõõrd-ajami puudumiks on asjaolu, et rattad võivad libiseda (puksida); seetõttu on hõõrd-



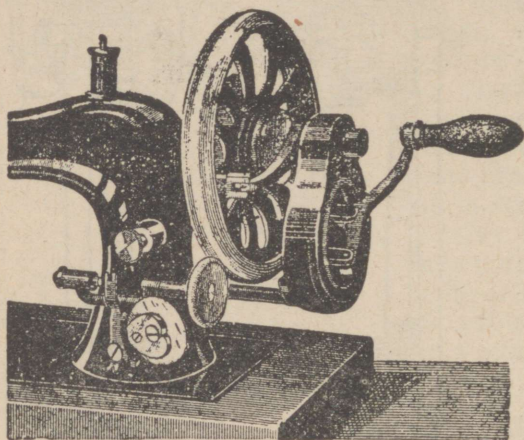
Joon. 169. Astme-seibid.



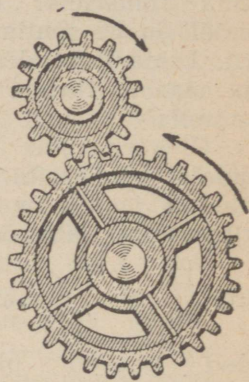
Joon. 170. Koonus-seibid.

ajami ülekandesuhe muutlik. Kui vajatakse jäävat ülekandesuhet, siis tuleb kasutada hammas-ajamit, millest on juttu järgmises paragrahvis.

Hõõrd-ajamit kasutatakse õmblusmasinatel (ülekanne hoo- rattalt poolile), ketramismasinatel jne.



Joon. 171. Hõõrd-ajam.



Joon. 172. Hammas-ajam.

**Ulesanne.** Õmblusmasina hooratta läbimõõt on 14 sentimeetrit; pooli- rattakese läbimõõt on 4 sentimeetrit. Leida ülekandesuhe.

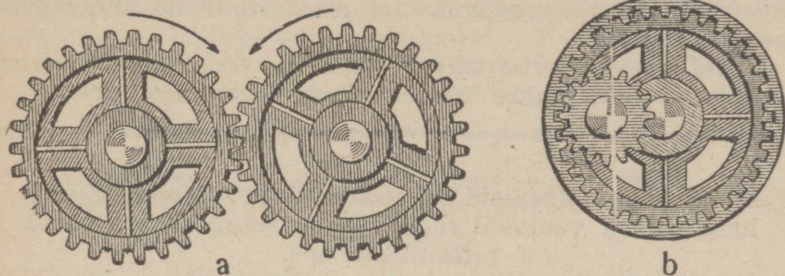
Vastus: 7 : 2 ehk  $3\frac{1}{2} : 1$ .

§ 90. **Hammas-ajam. Seos tiirude arvu ja hammaste arvu vahel.** Hammas-ajam koosneb kahest või mitmest hammasrat- tast, mille hambad hambuvad üksteisesse (joon. 172). Kaks tei- neteisesse hambuvat hammasratat tiirlevad kumbki eri suunas (joon. 172). Seetõttu võib hammas-ajamit tarvitada tiirlemis- suuna muutmiseks.

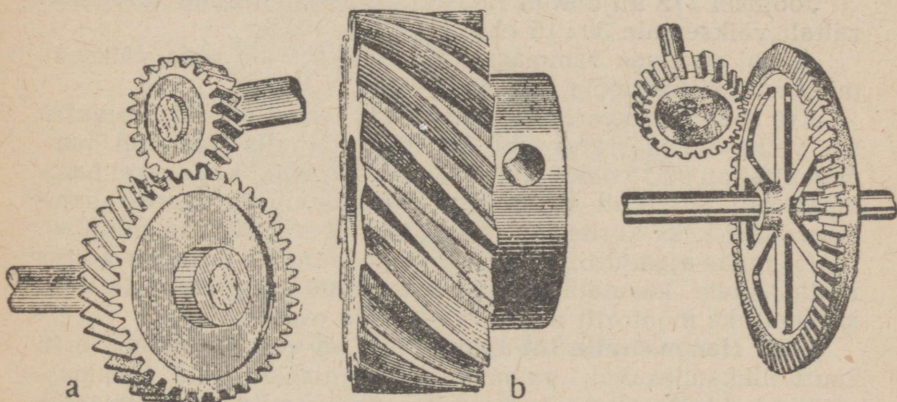
Hammas-ajamit võib tarvitada ringliikumise ülekandmiseks ühelt võllilt teisele. Hammasratastega võib ühendada paral- leelseid võlle kui ka võlle, mis asuvad nurgi, ja isegi võlle, mis ei asetse ühes tasapinnas (joon. 174 ja 175).

Vaatame joonisel 172 kujutatud kahte hammasratat. Kui suur hammasratas pöörduv ühe hambavahe võrra, siis väike hammasratas pöörduv samuti ühe hambavahe võrra. Kui suur ratas teeb ühe tiiru, siis väike ratas teeb nii mitu korda roh- kem tiire, kui mitu korda suure ratta hammaste arv ületab väikese ratta hammaste arvu. Joonisel 172 kujutatud suurel

hammasrattal on hammaste arv 30, väikesel aga 15. Suure ratta ühe tiiru puhul teeb väike ratas 30 : 15 ehk 2 tiiru.



Joon. 173. Hammasrattad võivad ühendada paralleelseid võlle. Harilikud ehk silinderhammasrattad: a — välise hambumisega, b — seesmise hambumisega.



Joon. 174. a — hammasrattad võivad ühendada võlle, mis ei asetse ühes tasapinnas; b — kaldhammastega hammasratas.

Joon. 175. Hammasrattad võivad ühendada võlle, mis asuvad nurgi. Koosrattad.

Koostöötavate hammasrataste väikese hammasratta tiirude arv on suure hammasratta tiirude arvust nii mitu korda suurem, kui mitu korda suure ratta hammaste arv on väikese ratta hammaste arvust suurem.

Joonisel 172 kujutatud väike hammasratas tiirleb kaks korda kiiremini kui suur hammasratas.

Uhte hammasrattastest (mootoriga ühendatud hammasrattast) nimetatakse vedavaks rattaks, teist rattast nimetatakse veetavaks rattaks.

**Suhet veetava ratta tiirude arvu ja vedava ratta tiirude arvu vahel nimetatakse hammas-ajami ülekandesuhteks.**

**Mida rohkem hambaid on vedaval rattal ja mida vähem hambaid on veetaval rattal, seda suurem on veetava ratta tiirude arv.**

Ülekandesuhe võrdub vedava hammasratta ja veetava hammasratta hammaste arvu jagatisega.

Joonisel 172 kujutatud rattastel on ülekandesuhe suuremalt rattalt väiksemale 30 : 15 ehk 2 : 1.

Ajami suurema hammasratta tiirude arv on seda väiksem, mida suurem on tema hammaste arv.

Kui suur hammasratas joonisel 172 teeb 1000 tiiru minutis, siis väike hammasratas teeb 2000 tiiru minutis (väikesel hammasrattal on 30:15 ehk 2 korda vähem hambaid kui suurel hammasrattal; järelikult väike hammasratas tiirleb suurest hammasrattast kaks korda kiiremini:  $1000 \cdot 2 = 2000$  tiiru minutis).

Hammas-ajamid on tehnikas väga levinud. Peaaegu kõigis riistmasinains kasutatakse hammasrattaid ringliikumise ülekandmiseks mootorilt masina tiirlevaile osadele.

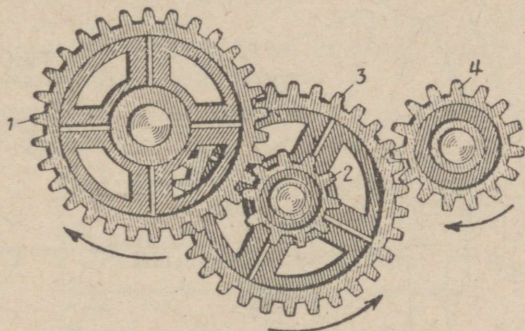
§ 91. **Hammasratta liit-ajamid.** Kui on vaja saavutada eriti suurt ülekandesuhet, valmistatakse mitmekordseid hammasajameid ehk liit-ajameid. Need koosnevad mitmest üksteisesse hambuvast hammasrattast. Üks selline hammasratta liit-ajam on kujutatud joonisel 176. Hammasratas 1 hambub hammasrattasse 2; see hammasratas 2 tiirleb kiiremini kui hammasratas 1. Suur hammasratas 3 on kinnitatud samale võllile kui ratas 2 ja tiirleb seetõttu sama kiirusega. Ratas 3 hambub omakorda rattasse 4, mis tiirleb veelgi kiiremini.

Määrame joonisel 176 kujutatud liit-ajami ülekandesuhte. Arvutame, mitu korda kiiremini tiirleb ratas 4 rattast 1. Loeme hammaste arvud: rattal 1 on 30 hammast, rattal 2 on 10 hammast, rattal 3 on 30 hammast ja rattal 4 on 15 hammast. Mida

väiksem on ratta hammaste arv, seda kiiremini ta tiirleb. Hammasratas 2 tiirleb 30 : 10 ehk 3 korda kiiremini kui ratas 1. Ülekandesuhe rattalt 1 rattale 2 võrdub 3 : 1. Ratas 3 evib sama tiirude arvu kui ratas 2, see tähendab kolm korda suurema tiirude arvu kui ratas 1. Ratas 4 tiirleb 30 : 15 ehk 2 korda kiiremini kui ratas 3, või 3 · 2 ehk 6 korda kiiremini kui ratas 1. Niisiis on ülekandesuhe hammasrattalt 1 hammasrattale 4 6:1.

**Hammasratta liit-ajami ülekandesuhe võrdub üksteisesse hambuvate hammasrattapaaride ülekandesuhete korrutisega.**

Kui ratas 1 teeb 400 tiiru minutis, siis ratas 2 teeb  $400 \cdot 3 = 1200$  tiiru minutis, ratas 3 teeb samuti 1200 tiiru minutis,



Joon. 176. Hammasratta liit-ajam.

kuid ratas 4 teeb  $1200 \cdot 2 = 2400$  tiiru minutis. Ratta 4 tiirude arvu võime leida, korrutades ratta 1 tiirude arvu liit-ajami ülekandesuhetega, see on kuuega:  $400 \cdot 6 = 2400$  tiiru minutis.

**Ulesanne 1.** Hammasratta pööra käepide (joonis 312) on ühendatud hammasrattaga, millel on 16 hammast. See hammasratas hambub teise rattasse, mille hammaste arv on 96. Tööline väntab pööra käepidet kiirusega 50 tiiru minutis. Kui suur on ülekandesuhe? Kui suur on suurema hammasratta tiirlemiskiirus?

Vastus: 1 : 6;  $8\frac{1}{3}$  tiiru minutis.

**Ulesanne 2.** Automootori nokkvõll tiirleb kaks korda aeglasemalt kui väntvõll. Nokkvõllil on hammasratas 18 hambaga; väntvõll teeb 3200 tiiru

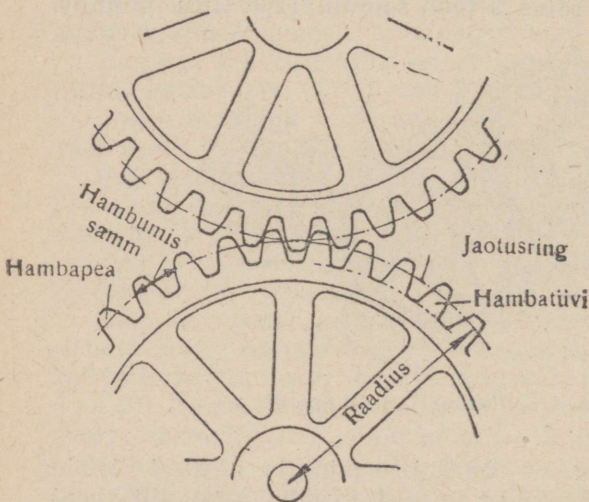
minutis. Mitu hammast peab olema väntvõlli hammasrattal? Kui suure kiirusega tiirleb nokkvõll?

Vastus: 9 hammast; 1600 tiiru minutis.

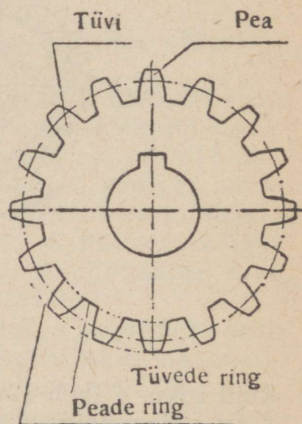
**Ülesanne 3.** Käigukastis on neli hammasrattast. Esimene hammasrattas, millel on 31 hammast, teeb 250 tiiru minutis, teine hammasrattas (mis hambub esimesse) on 9 hambaga, kolmas hammasrattas asetseb teise hammasrattaga ühisel teljel ja tal on 63 hammast, neljas, kolmandasse hamburattas omab 7 hammast. Leida ülekandesuhe ja neljanda hammasratta tiirude arv minutis.

Vastus: 31 : 1; 7750 tiiru minutis.

§ 92. **Hambumise elemendid. Jaotusring. Hammasrattaste samm ja moodul.** Hammasrattaste hambad peavad olema tehtud nii, et nad hambuksid üksteisesse kindlalt ja sujuvalt; hambad ei tohi üksteist kriimustada ega vigastada. Sel põhjusel antakse hammastele eriline kuju.



Joon. 177. Hammasratta jaotusring, hambumissamm ja raadius.



Joon. 178. Hammasratta tüvede ring, peade ring, hambatüvi ja hambapea.

Igal hambal on punkt, kus hammas puutub kokku vedava hammasratta hambaga (joon. 177). Joont, mis ühendab kõik hammaste kokkupuutepunktid, nimetatakse hammasratta jaotusringiks (joon. 177). Kaugust jaotusringist ratta keskkohani

nimetatakse hammasratta raadiuseks (joon. 177). Kahe kõrvuti-oleva hamba üksteisele vastavate punktide kaugust nimetatakse hammasratta hambumissammuks (joon. 177). Hambumissammu mõõdetakse jaotusringi kohal. Hammasratta jaotusringi pikkus võrdub hambumissammu ja hammaste arvu korrutisega.

Kaugus kahe üksteisesse haarduva hammasratta keskkohatade vahel peab võrduma raadiuste summaga.

Jaotusring jaotab hamba kahte ossa (joon. 178). Jaotusringi sees olevat osa nimetatakse hambatüveks; väljaspool jaotusringi olevat osa nimetatakse hambapeaks.

Ringjoont, mis ühendab hammaste tipud, nimetatakse peade ringiks (joon. 178).

Ringjoont, mis ühendab hammaste alused, nimetatakse tüvede ringiks (joon. 178).

Hammasrattaste valmistamisel treitakse kõigepealt välja toorratas ning siis freesitakse hambad sisse freespingi abil.

Nõndanimetatud hammasratta moodul omab väga suurt tähtsust hammasratta valmistamisel.

Hammasratta moodul võrdub jaotusringi läbimõõdu ja hammaste arvu jagatisega:

$$\text{moodul} = \frac{\text{läbimõõt}}{\text{hammaste arv}}$$

Jaotusringi läbimõõt võrdub mooduli ja hammaste arvu korrutisega:

$$\text{läbimõõt} = \text{moodul} \times \text{hammaste arv.}$$

Hammasratta moodul avaldatakse alati millimeetrites.

Moodulit väljendatakse alati ümardatud arvuga, näiteks: 0,5; 1; 2; 10; 20; 50.

Hambapea kõrgus millimeetrites võrdub mooduliga. Selle tõttu on peade ringi läbimõõt võrdne jaotusringi läbimõõduga pluss kaks moodulit.

Hammasratta hambumissamm võrdub mooduli ja  $\pi$  (kreeka täht „pii“), s. o. 3,14 korrutisega:

$$\text{hammasratta hambumissamm} = 3,14 \times \text{moodul.}$$

Hambatüve kõrgus on moodulist veidi suurem. Tavaliselt:

$$\text{hamba tüve kõrgus} = 1,2 \times \text{moodul.}$$

Kui on teada hammaste arv ja moodul, siis ei ole raske määrata kõik teised mõõdud. Seejuures väljendatakse kõik mõõdud ümardatud arvudega, nii et freesijal on kerge valmistatavat hammasrattast üle mõõta.

N ä i d e. Tuleb valmistada ratas hammaste arvuga 24, mille moodul on 2 millimeetrit. Leida peaderingi läbimõõt, jaotusringi läbimõõt, pea kõrgus, tüve kõrgus, hamba kõrgus ja hammasratta hambumissamm.

Jaotusringi läbimõõt võrdub mooduli ja hammaste arvu korrutisega:  $2 \cdot 24 = 48$  mm ehk 4,8 cm. Hambapea kõrgus võrdub mooduliga  $= 2$  mm. Hambatüve kõrgus võrdub mooduli ja 1,2 korrutisega; me saame  $2 \cdot 1,2 = 2,4$  mm. Terve hamba kõrgus võrdub pea ja tüve kõrguste summaga:  $2 + 2,4 = 4,4$  mm. Peade ringi läbimõõt võrdub jaotusringi läbimõõduga pluss kaks pea kõrgust:  $48 + 4 = 52$  mm. Järelikult treial peab valmistama selle hammasratta tegemiseks 52-mm läbimõõduga ketta. Hammasratta hambumissamm võrdub mooduli ja 3,14 korrutisega; saame  $3,14 \cdot 2 = 6,28$  millimeetrit.

**Ulesanne.** Hammasrattal on 32 hammast. Moodul on 4 mm. Leida jaotusringi läbimõõt, peade ringi läbimõõt, pea kõrgus, tüve kõrgus ja hamba kõrgus.

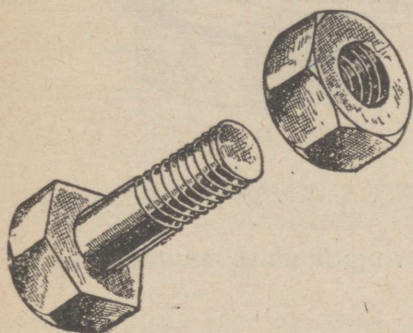
Vastus: Jaotusringi läbimõõt on 128 mm. Peade ringi läbimõõt on 136 mm. Pea kõrgus  $= 4$  mm; tüve kõrgus  $= 4,8$  mm; hamba kõrgus  $= 8,8$  mm.

§ 93. **Kruvis-ajam.** Kruvi ja mutter moodustavad tehnikas väga levinud mehhanismi (joon. 179).

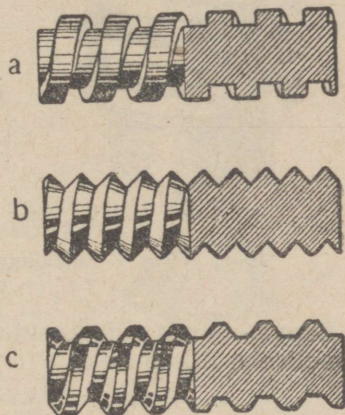
Joon. 180 kujutab keermeid. See joonis näitab mitmesuguseid keermeid pealtvaates ja läbilõikes. Me näeme, et keerme profiil võib olla mitmesugune: keermed võivad olla täisnurksed (joon. 180-a), teravnurksed (joon. 180-b) või muukujulised (joon. 180-c).

Valmistatakse ühekäigu-, kahekäigu-, kolmekäigu- jne. keermeid (joon. 181). Ühekäigu-keere sarnleb ümmarguse vardaga, mille ümber on mähitud niit (joon. 181-a). Kahe- või kolmekäigu-keere on sarnane ümmarguse vardaga, mille ümber on mähitud kaks või kolm kõrvuti asetsevat niiti (joon. 181-b). Tavaliselt ei valmistata keermeid käikude arvuga üle nelja.

Mutri keere peab täpselt vastama kruvipoldi keermele (joon. 182).



Joon. 179. Kruvi ja mutter.



Joon. 180. Keere pealtvaates ja läbilõikes: a — täisnurkne keere; b — teravnurkne keere; c — trapetskeere.

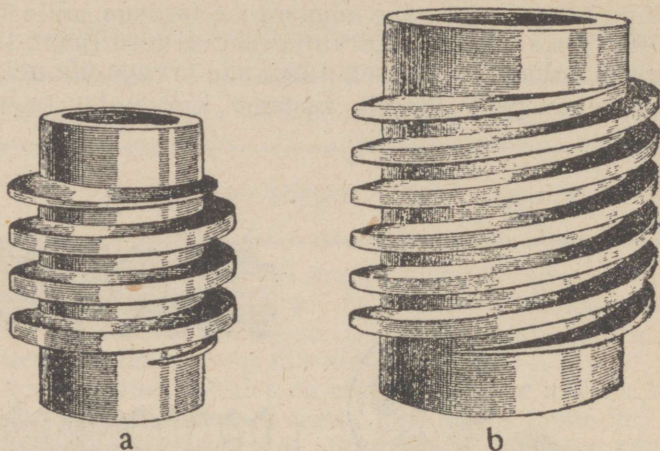
**Kaugust, mida kruvi ületab ühel pöördel, nimetatakse keermetõusuks. Keermetõus on võrdne kaugusega kahe kõrvuti oleva keerme üksteisele vastavate punktide vahel.**

Joonisest nähtub, et keerme võrdse laiuse juures kolmekäigu-keerme tõus on suurem kahekäigu-keerme tõusust ja kahekäigu-keerme tõus on suurem ühekäigu-keerme tõusust (joon. 183). Joonisel on näidatud ka kruvi läbimõõt.

Kruvi ja mutriga võib üle kanda liikumist.

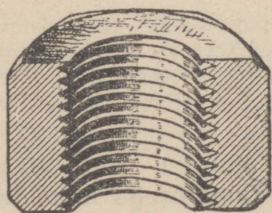
Kui keerame mutrit, siis mutter liigub piki kruvi. Kui aga mutri liikumine on tõkestatud, siis liigub kruvi.

Kui keerame kruvi, siis ta liigub mutris; kui aga kruvi liikumine on tõkestatud, siis liigub mutter.

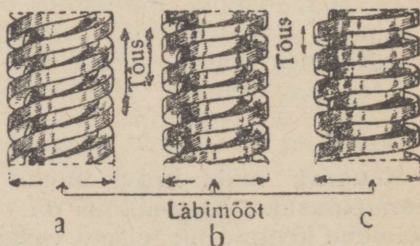


Joon. 181. a — ühekäigu-keere; b — kahekäigu-keere.

Kruvis-ajamit võib kasutada ringliikumise muutmiseks sirgjooneliseks liikumiseks.



Joon. 182. Mutrikeere.



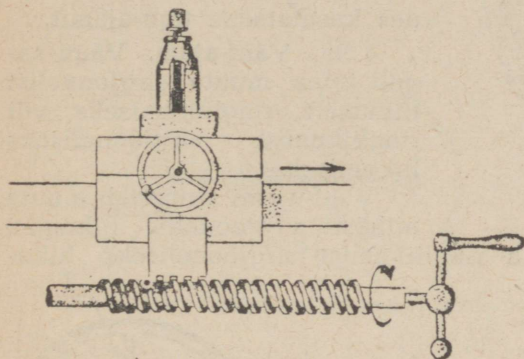
Joon. 183. Keermetõus ja kruvi läbimõõt. Kolmekäigu-keerme tõus (a) on suurem kui kahekäigu-keerme tõus (b); kahekäigu-keerme tõus on suurem kui ühekäigu-keerme tõus (c).

Näiteks käepidemega või mootoriga ühendatud kruvi keeramisel liigub treipingi suport sirgjooneliselt (joon. 184). Käe-

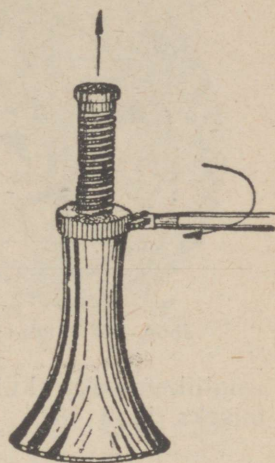
pideme ühel täispöördel liigub suport ühe kruvitõusu võrra edasi või tagasi. Tungraua kruvi liigub käepideme pööramisel (joon. 185).

Keermetõusu suurus on tavaliselt mõni millimeeter. Seejärest nihutab kruvis-ajam suporti väga pikkamööda. Võib valmistada sääraseid keermeid, et ühel kruvi täispöördel mutter liigub ainult ühe kümnendiku millimeetri võrra.

Kruvis-ajamit kasutatakse seal, kus on vaja aeglast sirgjoonelist liikumist.



Joon. 184. Suport liigub käepideme keeramisel.



Joon. 185. Tungraua kruvi liigub käepideme pööramisel.

**Ulesanne 1.** Supordi kruvi keermetõus on 3 mm. Mitu korda on vaja keerata käepidet, et suport liiguks 15 cm võrra? Vastus: 50 korda.

**Ulesanne 2.** Käepideme viiel täispöördel tõuseb tungraua kruvi 2,5 sentimeetri võrra. Leida keermetõus. Vastus: 5 mm.

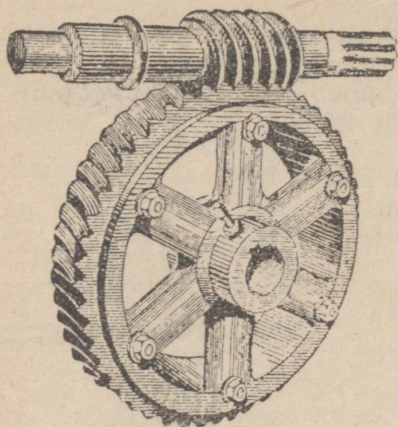
**Ulesanne 3.** Treipingi juhtspindel, mille tõus on 4 mm, teeb 120 tiiru minutis. Kui suure kiirusega liigub suport? Vastus: 8 mm/sek.

§ 94. **Tigu-ajam.** Tigu-ajamit kasutatakse, kui on vaja suurt ülekandesuhet.

Tigu-ajam ühendab endas tigu (kruvi) ja tiguratta (hammasratta) (joon. 186). Tigu keere hambub tiguratta hambas-tesse. Tigu tõus peab võrduma tiguratta hambumissammuga.

Tigu ühel täispöördel tiguratas pöördub ühe hambavahe võrra. Et tiguratas teeks ühe täispöörde, peab tigu tegema nii

mitu tiiru, kui mitu hammast on tigurattal. Seepärast ülekandesuhe tigtult tigurattale on: üks jagatud hammaste arvuga.



Joon. 186. Tigu-ajam.

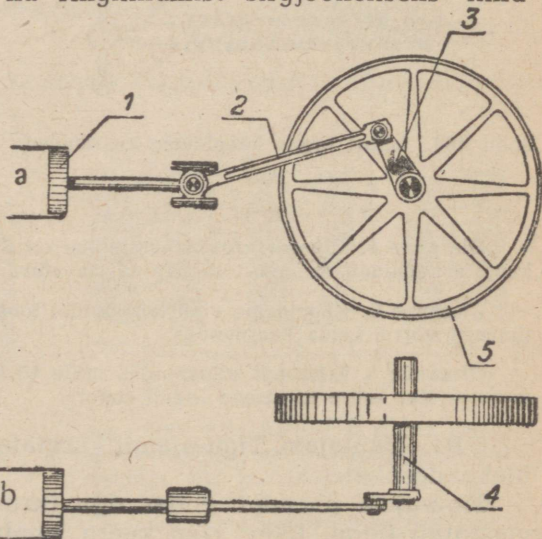
Tehnikas tuleb sageli tege- mist teha tigu-ajamitega. Auto rooliseadeldis on ühendatud esiratastega tigu-ajami kaudu.

Tigu-ajamitega pööratakse ka tõstekraanasid, suurtükke, raudtee pöörsildu ja palju muud. Ka paljude metallitöötlemismasinade konstruktsioonis kasutatakse tigu-ajamit.

§ 95. **Vänt-ajam.** Väga sageli tuleb muuta sirgjoonelist liikumist ringliikumiseks või ringliikumist sirgjooneliseks liikumiseks.

Vänt-ajami abil saab muuta ringliikumiseks kui ka ringliikumist sirgjooneliseks liikumiseks (joon. 187).

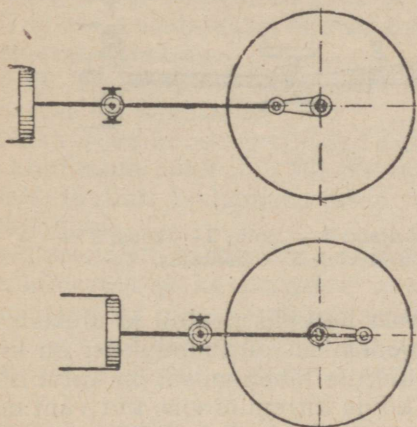
Vänt-ajami abil saab muuta



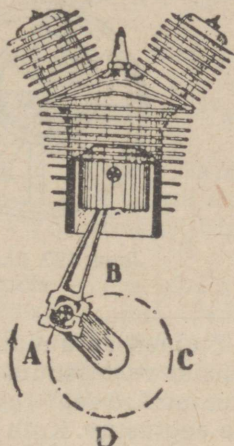
Joon. 187. Vänt-ajam:  
a — külgsaade; b —  
pealtsaade; 1 — kolb;  
2 — keps; 3 — vänt;  
4 — võll; 5 — hoo-  
ratas.

Vänt-ajamit kasutatakse aurumasinates, sisepõlemootorites, auto- ja lennukimootorites, peitelmasinates, kompressorites, õmblusmasinates jne.

Vaatleme joon. 187 kujutatud vânt-ajamit. Kolb 1 on liigendiga ühendatud kepsuga 2; kepsu teine ots on liigendiga ühendatud vântvõlli vändaga (3 ja 4). Võllil asetseb hooratas 5.



Joon. 188. Vânt-ajami surnudpunktid.



Joon. 189. Kolb liigub kõige kiiremini momendil, kus vânt ja keps moodustavad täisnurga, s. o. punktide A ja C läbimisel.

Kui kolb liigub silindris edasi-tagasi, siis vânt tiirleb ja annab ringliikumise edasi võllile ning hoorattale.

Kui ajami vedavaks osaks on kolb (nagu aurumasinas ja sisepõlemootoris), siis on vânt-ajamil kaks asendit, kus kolb ei saa panna vânta liikuma (joon. 188).

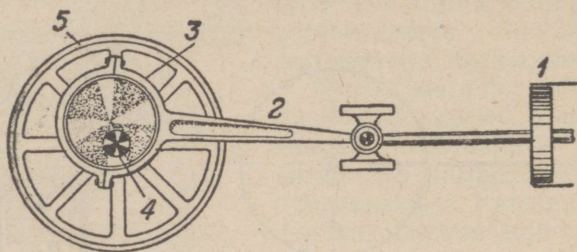
Asendit, kus kolb ei saa hakata liikuma ega vânta tiirlema panna, nimetatakse surnudpunktiks.

Surnudpunkt on siis, kui keps ja vânt asetsevad ühel sirgjoonel (joon. 188).

Kui aga ajami vedavaks osaks on hooratas vändaga (nagu kompressoritel), siis surnudpunkte ei ole.

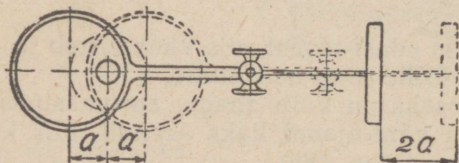
Et vedur või mõni muu aurumasin ei jääks seisma surnudpunktis, tehakse alati kaks vânt-ajamit, kusjuures vändad asetatakse nii, et nad ei saaks mõlemad samaaegselt sattuda surnudpunkti asendisse.

Kaugust, mida kolb läbib kahe surnudpunkti vahel, nimetatakse kolvikäiguks. Joonisest 188 nähtub, et kolvikäik võrdub vända kahekordse pikkusega.

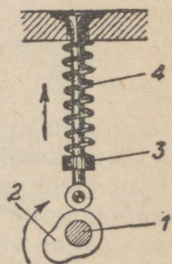


Joon. 190. Ekstsentrisk-ajam: 1 — kolb; 2 — keps; 3 — ekstsentrisk; 4 — völli; 5 — hooratas.

Jõudnud surnudpunkti, kolb hetkeks peatub ja alustab siis liikumist vastassuunas. Kaugenemisel surnudpunktist on kolvi liikumine kiirenev; surnudpunktile lähenemisel on kolvi liikumine aeglustuv. Kolb liigub kõige kiiremini siis, kui vânt moodustab kepsuga täisnurga, s. o. punktide A ja C läbimisel (ligikaudu silindri keskkohas, joon. 189).



Joon. 191. Kolvikäik võrdub kahekordse kaugusega völli keskkohast ekstsentrisk keskkohani.



Joon. 192. Nokkmehhanism: 1 — völli; 2 — nokk; 3 — tõukur rulliga; 4 — vedru.

Kui pöörame hooratast, siis kolb liigub sirgjooneliselt. Vânt-ajami teisendiks on ekstsentrisk-ajam.

Ekstsentrisk-ajam erineb vânt-ajamist sellega, et völli aseatakse vända asemel ketas — niinimetatud „ekstsentrisk“.

mille keskkohat ei ühti võlli keskkohaga (joon. 190). Kepsu üks ots on ühendatud kolviga, teine ots haarab ekstsentrikut. Kolvikäik on võrdne kahekordse kaugusega 2 a võlli keskkoha ja ekstsentriku keskkoha vahel (joon. 191).

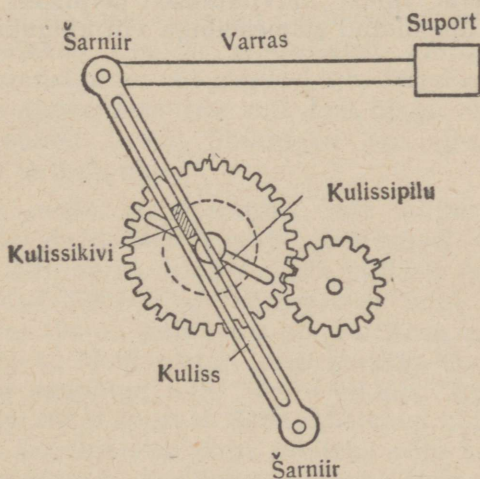
Ekstsentrikuid kasutatakse näiteks aurumasina aurujaotus-seadiste juures (sellest on juttu X peatükis § 160).

Üldiselt kasutatakse ekstsentrikuid seal, kus vajatakse lühemat kolvikäiku.

§ 96. **Nokk-ajam.** Nokk-ajam muudab ringliikumise sirgjooneliseks liikumiseks.

Nokk-ajam koosneb võllist 1 (joon. 192), millele on liikumalt kinnitatud nokk 2. Võlli pöördudes nokk lükkab rulli, mis asetseb tõukuri 3 alumises otsas. Vedru 4 viib tõukuri tagasi algasendisse.

Nokk-ajamit kasutatakse näiteks klappide avamiseks sise-põlemootoris ja ka paljudes automaat-riistmasinasis. Nokk-ajami erinevus vänt-ajamist on selles, et väntvõlli tiireldes kolb liigub pidevalt, nokkvõlli tiirlemine aga paneb tõukuri liikuma ainult sel momendil, kui nokk surub tõukuri rullile; ülejäänud



Joon. 193. Kulissmehhanism.

aja püsib tõukur paigal. Sisepõlemootori klapp avaneb ainult noka survele ja on suletud kogu ülejäänud aja. Klapi avanemise kestvust ja kiirust võib muuta, andes nokale vastava kuju.

§ 97. **Kulissmehhanism.** Joonis 193 kujutab kulissmehhanismi. See koosneb kulissist, kepsust ja vedavast rattast. Vedava ratta ketta sees on pilu, kuhu võib liikumatult kinnitada sõrmtapi igas kauguses keskkohast. Sõrmtapi otsa on liigendiliselt kinnitatud nõndanimetatud kulissikivi, mis libiseb vabalt kulissipilus üles-alla. Kulissi alumine ots on samuti liigendiliselt kinnitatud.

Ratta tiireldes libiseb kullissikivi kulissipilus ja kuliss õõtsub edasi-tagasi. Joonisel näidatud kulissi ülemine ots liigub paremale ja vasakule, nihutades ühtlasi supordi juhtvarrast.

Kulissmehhanismi kasutatakse põikhöövelpinkide juures hõövlitera liikumapanemiseks.

Mida kaugemale ratta keskkohast sõrmtapp on kinnitatud, seda suurem on kulissi võnkeulatus. Kui hõöveldatav töötlusese on pikk, siis tööline kinnitab sõrmtapi kaugemal ratta keskkohast: hõövlitera lõikab siis pika laastu igal ratta pöördel. Sõrmtapp peab olema keskkohale seda lähemal, mida lühem on töökäigu pikkus.

Kulissi vedavat ratast käivitatakse tavaliselt hammasrattaga, mis on ühendatud astmeseibiga või käigukastiga.

## Seitsmes peatükk.

### TUNGID.

§ 98. **Tungide tähtsus tehnikas. Tungide kujutamine.** Mitmesugused tungid mõjuvad kõigisse masinaosadesse ja töötlus-esemeisse: rihm mõjub teatava jõuga rihmaseibile, hammasrattad mõjuvad teatava jõuga üksteisesse, lõiketera mõjub teatava jõuga treitavasse esemesse, vasar taob teatava jõuga sepi. Et aru saada ühe või teise masina tööst, ühe või teise masinaosa ülesandest, peab tundma neid mõjutavaid tunge ja nende tungide omadusi. Selle peatüki eesmärgiks ongi seletada tungide omadusi.

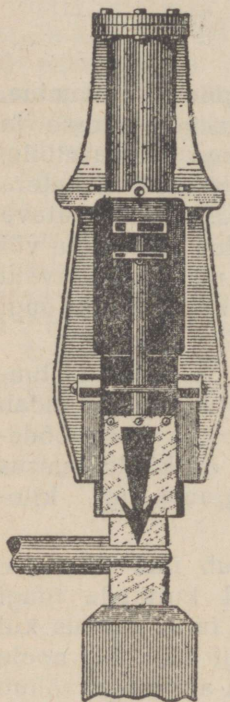
Käesoleva õpiku esimestest peatükkidest on teada, et tungiks nimetatakse kehade vastastikust mõju, mis muudab kehade liikumiskiirust või nende kuju. Tegelikus elus mõõdetakse tunge dünamomeetrite abil. Igal tungil on kindel suurus ja kindel suund. Tungi ühikuteks on: gramm (g), kilogramm (kg) ja tonn (t).

Et teada saada tungi suurust, mis mõjub ühe või teise detaili peale, on harilikult vaja joonestisel kujutada tungi graafiliselt. Seejuures tuleb näidata niihästi tungi suurus kui ka selle suund. Selleks on kõige parem tungi kujutada noole abil. Joonisel 194 on kujutatud tung, millega auruvasar rõhub töötlus-esemele. Nool näitab tungi suunda. Joonisel on auruvasara tung suunatud alla. Noole pikkus kindla mõõtkava järgi kujutab tungi suurust. Seda mõõtkava võib valida täiesti vabalt oma äranägemise järgi. Näiteks võib võtta tarvitusele järgmise mõõtkava: 1 kilogrammi suurusele tungile vastab noole pikkus 1 mm. Võib võtta ka mõne teise mõõtkava, näiteks tungile 1 tonn võib vastata 1 sentimeetri pikkune nool. Mõõdu suurus tuleb valida nii, et tunge graafiliselt kujutavad nooled oleksid küllalt pikad, et olla hästi nähtavad, kuid ka küllalt lühikesed, et joonestisele vabalt ära mahtuda. Joonis

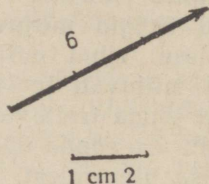
195 kujutab tungi järgmiselt: ühele tonnile vastab 0,5 cm pikkune nool. Noole pikkus joonisel on 3 sentimeetrit; järelikult tung võrdub 6 tonniga.

Mida suurem on tung, seda pikem on nool antud mõõtkava juures (joon. 196).

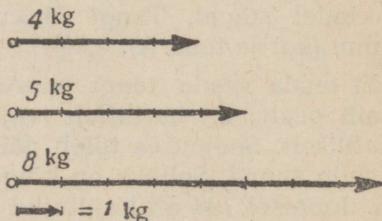
Metalli töötlev lõiketera mõjub metallisse teatavas punktis. Keha punkti, milles tung otseselt mõjub, nimetatakse tungi rakenduspunkti. Joonisel 197 punkt A, kust algab nool, näitab tungi rakenduspunkti.



Joon. 194. Auruvasar rõhub detaili peale. Nool kujutab selle tungi suunda ja suurst.



Joon. 195. Kuue tonni suurune tung on graafiliselt kujutatud 3 cm pikkuse noolega.



Joon. 196. Mida suurem on tung, seda pikem on seda tungi kujutav nool.

**Ulesanne 1.** Kujutada graafiliselt 20 g suurust tungi mõõtkavas: 1 g vastab 0,5 sentimeetrile. Kujutada 2 tonni suurust tungi mõõtkavas: 1 tonn vastab 2 sentimeetrile. Kujutada 100 kg suurust tungi mõõtkavas: 1 kilogramm vastab 0,5 millimeetrile.

**Ulesanne 2.** Teatavat tungi kujutava noole pikkus on 4 cm. Mõõtkava: 1 cm vastab 1 kg. Leida tung.

**Ülesanne 3.** Kujutada 120 kg suurust tungi 60-kraadilise nurga all rõhtsale pinnale. Mõõtkava: 20 kg vastab 1 sentimeetrile. Nurga joonestamiseks tarvitada malli.

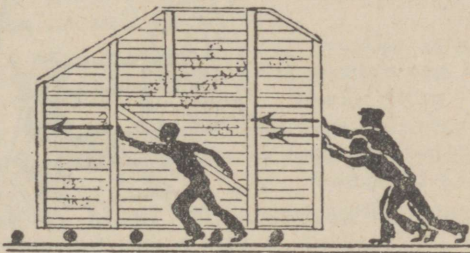
§ 99. **Tungide liitmine. Resultanttung.** Samasse kehase mõjub sageli mitu tungi korruga: näiteks mitu töölist lükkavad korruga rasket kasti (joon. 198). Joonis 199 kujutab nelja mootorilist lennukit; sellele lennukile mõjuvad korruga nelja mootori tõmbetungid.



Joon. 197. A on tungi rakenduspunkt.

Muidugi mõista ei saa lennuk ega kast samaaegselt liikuda mitmes erinevas suunas: mitme tungi mõjul keha kas liigub ühes suunas edasi (nagu liiguvad meie joonistel toodud lennuk ja kast) või hakkab pöörlema (nagu tiirleb joonisel 200 kujutatud pööra võll, millesse mõjuvad kahe tööliste jõud ja trossi tung).

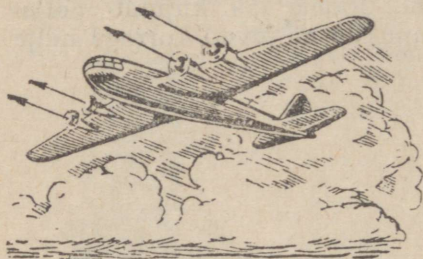
On ka juhtumeid, kus keha püsib paigal kahe või mitme tungi mõjul. Näiteks trossi otsas ripuv raskus püüab maha langeda, sellele mõjub vastu trossi tõmbetung ning raskus püsib liikumatu.



Joon. 198. Kolm töölist lükkavad rasket kasti. Kastisse mõjuvad korruga kolm tungi.

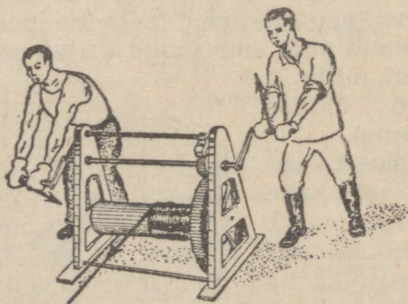
Mõnel juhul võib keha tungide mõjul samaaegselt edasi liikuda ja tiirelda. Selliselt liigub mitme tungi mõjul puur või poldile keeratav mutter.

Juhul, kui keha mitme tungi mõjul liigub ühes suunas (edasi), võib asendada kõik temasse mõjuvad tungid üheainsa tungiga, mis üksinda avaldaks sama mõju kui kõik antud tungid kokku.



Joon. 199. Neljamootoriline lennuk. Lennukisse mõjuvad korraga neli tungi: neli mootori tõmbetungi.

Kolm töolist lükkavad kasti (joon. 198); üks tööline mõjub kastisse 40 kg suuruse tungiga, teine 35-kg tungiga ja kolmas



Joon. 200. Pööra völl tiirleb mitme tungi mõjul.

38-kg tungiga. Kõigi kolme töölise jõupingutused mõjuvad samas suunas. Kast liigub nii, nagu oleks seda vedanud näiteks hobune tungiga  $40 + 35 + 38 = 113$  kg.

Peame meeles järgmise juhise:

**Mitme samasuunalise tungi resultanttung võrdub nende tungide summaga ja on samasuunaline.**

Seda kujutab joon. 201.

Mõnesse kehasse mõjuvad korraka kaks või mitu vastassuunalist tungi. Näiteks klapi tõukurisse mõjuvad noka ja kokkusurutud vedru tungid (joon. 202), mis on vastassuunalised. Kui nokk mõjutab tõukurit 30 kg, aga vedru 28 kg suuruse tungiga, siis klapp liigub nii, nagu mõjuks temasse üksainus tung  $30 - 28 = 2$  kg.

Peame meeles järgmise juhise:

**Kahe vastassuunalise tungi resultanttung võrdub nende tungide vahega ja mõjub suurema tungi suunas.**

Seda näitab joon. 203.

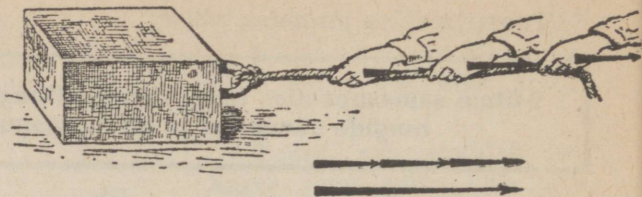
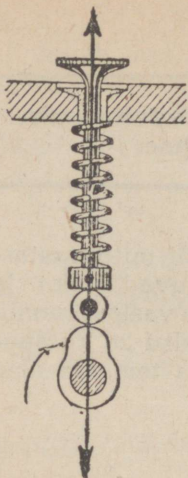
Kui mõnesse kehasse mõjub samal sirgjoonel rakendatud kaks võrdset, kuid vastassuunalist tungi, siis nende resultanttung võrdub nulliga. Sarnasel juhul keha võib ainult deformeeruda, kuid keha liikumiskiirus ei muutu. Kruustangide vahele pigistatud ese ainult deformeerub; mõlema kruustangi-polee tungide resultanttung on null (joon. 204).

**Ülesanne 1.** Kolm töolist veavad köie otsas palki. Esimene tööline tõmbab 25-kg, teine 18-kg ja kolmas 21-kg tungiga. Leida resultanttung, kui tööliste tõmbetungid on samasuunalised. Vastus: 64 kg.

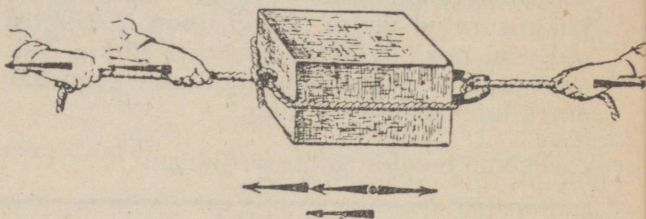
**Ülesanne 2.** Kaks vedurit veavad rongi samasuunaliselt. Uhe veduri veojõud on 3,2 t, teise veojõud on 2,9 t. Kui suur on rongi liikumapanev tung? Vastus: 6,1 t.

§ 101. **Tungide rööpkülik.** Masti pingutustrosside tungid (joon. 205) moodustavad teineteisega nurga.

Joonis 206 kujutab kahe trossi otsas rippuvat tänavalater-  
nat; ka nende trosside tõmbetungid moodustavad teineteisega  
nurga. Kaks töolist kannavad koormat (joon. 207); nende jõud  
rakenduvad teatud nurga all teineteise suhtes. Kujutleme, et  
kaks töolist tõmbavad köitpidi mingit koormat. Kui nad tõmba-  
vad samas suunas, hakkab koorem kiiresti liikuma: tööliste jõu-

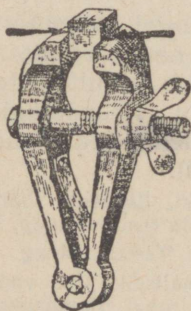


Joon. 201. Mitme samasuunalise tungi resultanttung võrdub nende tungide summaga ja on samasuunaline.

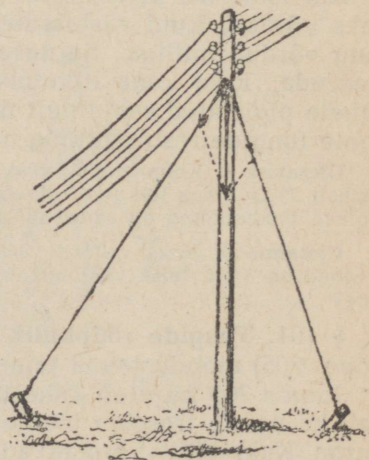


Joon. 203. Kahe vastassuunalise tungi resultanttung võrdub nende tungide vahega ja mõjub suurema tungi suunas.

Joon. 202. Nokkajamisse mõjuvad tungid on vastassuunalised.



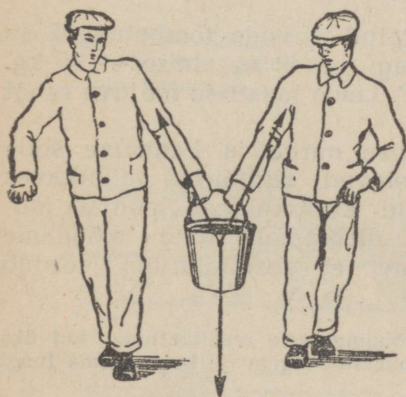
Joon. 204. Ese on surutud kruustangide vahele. Kahe võrdse, kuid vastassuunalise tungi resultanttung on võrdne nulliga. Ese püsib paigal; ta ainult deformeerub.



Joon. 205. Kahe pingutustrossi tungid moodustavad teineteisega nurga.

pingutused liituvad nagu arvud aritmeetikas. Aga kui töölisel hakkavad tõmbama vastassuunaliselt, siis nende pingutused võivad vastastikku tühistuda ja koorem võib paigale jääda (joon. 208). Kui aga tööliste poolt arendatud tungid moodustavad nurga, siis nad osaliselt segavad üksteist ning koorma liikumine aeglustub.

Et selgitada tungide mõju, mis moodustavad üksteisega nurga, võtame kolm dünamomeetrit (joon. 209). Kahega neist dünamomeetritest mõjume kolmandasse. Kui esimese ja teise dünamomeetri tungid on sama-suunalised, siis kolmandasse dünamomeetrisse mõjuv tung võrdub esimese ja teise dünamomeetri tungide summaga



Joon. 207. Koormakandjate jõupingutused rakenduvad teatud nurga all üksteise suhtes.

Siis joonestatakse rööpkülilik, mille kaheks küljeks on antud tungid, ja leitakse selle rööpküliliku diagonaal. (Punktist A

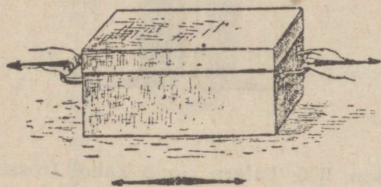


Joon. 206. Latern ripub kahel trossil. Trosside tõmbetungid moodustavad nurga.

dünamomeetrisse mõjuv tung (joon. 209). Kui esimese ja teise dünamomeetrisse mõjuvad tungid moodustavad teineteisega nurga, siis kolmandasse dünamomeetrisse mõjuv tung on väiksem kui esimese ja teise dünamomeetri tungide summa, kuid suurem kui nende vahe. Kahe teineteisega nurga moodustava tungi resultanttungi leidmiseks tuleb kasutada nn. tungide rööpküliliku seadust. Malli abil joonestatakse mõlema tungi vaheline nurk, mille haaradele tungid kantakse kindlaksmääratud mõõtkavas (joon. 210; mõõtkava: 1 kg vastab 1 cm).

tõmbame sirge AC, mis on rööpne sirglõiguga OB; punktist B tõmbame sirge BC, mis on rööpne sirglõiguga OA. Sirglõik OC ongi rööpküliku diagonaaliks).

**Kahe, nurgi mõjuva tungi resultanttungiks on rööpküliku diagonaal, mille külgedeks on antud tungid.**



Joon. 208. Võrdsete vastassuunaliste tungide mõju võrdub nulliga.

Olles joonestanud diagonaali, tuleb see mõõta samas mõõtkavas, millega mõõtsime tungid. Joonisest 210 on näha, et kui 4 ja 3 kilogrammi suurused tungid moodustavad täisnurga, võrdub nende resultanttung 5 kg. Rööpküliku diagonaali võib mõõta, aga võib ka määratleda selle pikkust matemaatilise arvutuse teel.

**Näide.** Joonisel 205 kujutatud trosside tõmbetungid on järgmised: ühe trossi tõmbetung on 40 kg, teise — 35 kg. Nurk mõlema tungi vahel on  $50^\circ$ . Leida mastisse mõjuva tungi suurus.

Joonestame malli abil  $50^\circ$ -lise nurga ja kanname selle nurga haaradele tungidele vastavad sirglõigud mõõtkavas  $5\text{ kg} = 1\text{ cm}$ . Saadud sirglõikude kui külgede põhjal joonestame rööpküliku ja selle diagonaali ning mõõdame diagonaali pikkuse. Me leiame, et resultanttung võrdub  $13,5\text{ cm}$  ehk  $67,5\text{ kg}$ .

**Ulesanne 1.** Leida kahe töölise jõupingutuste resultanttung, kui üks tööline tõmbab 50 kg, teine 40 kg suuruse tungiga ja kui mõlema tungi vaheline nurk on  $45$  kraadi.

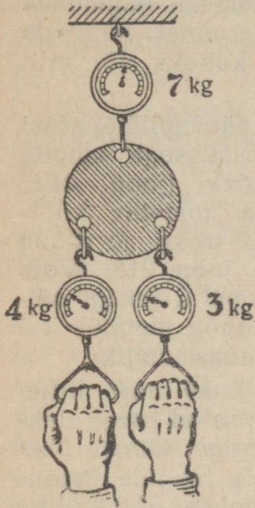
Vastus: 83 kg.

**Ulesanne 2.** Kehasse mõjub kaks tungi, üks võrdub 36 kg, teine 48 kg: a) samasuunaliselt; b) täisnurga all; c) vastassuunaliselt. Leida kõigi kolme juhu resultanttung.

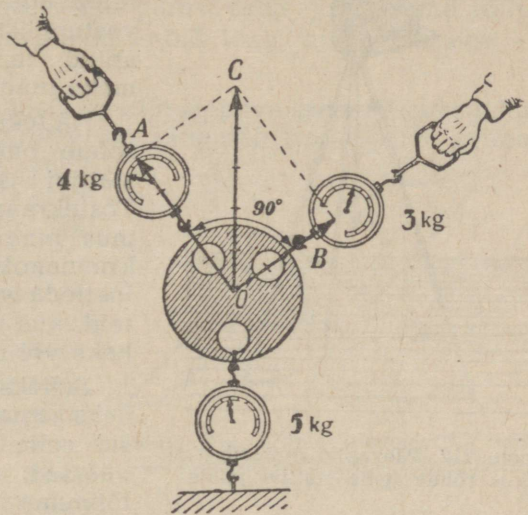
Vastus: a) 84 kg; b) 60 kg; c) 12 kg.

**Ulesanne 3.** Tõestada, et kolme võrdse tungi resultanttung on null, kui tungide omavahelised nurgad on  $120$  kraadi.

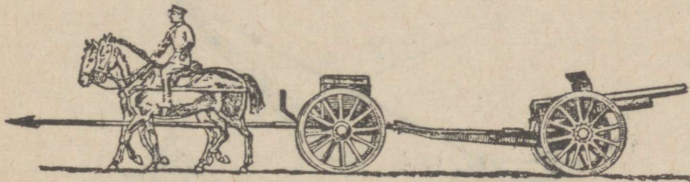
**Küsimus 1.** Missugune on kasulikum aisade kinnitusviis: kas suunaga ülespoole nagu taluvankril, või rõhtsuunas nagu suurtüki-eeliku rakendil (joon. 211)?



Joon. 209. Kahe dünamo-meetri tõmbetung võrdub nende summaga.



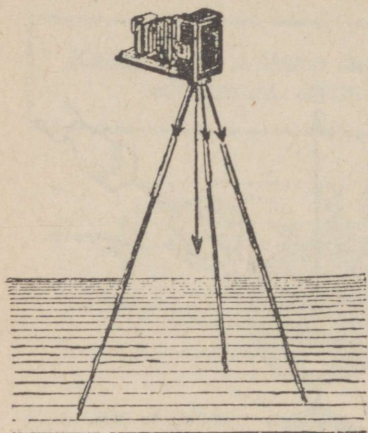
Joon. 210. Tungide rööpkülik.



Joon. 211. Taluvanker ja suurtükiväe veok.

**Küsimus 2.** Mispärast telegraafipostide toendid asetatakse alati telegraafiliini poolt moodustatud kaare siseküljele?

§ 102. **Tungide lahutamine.** Me teame nüüd, kuidas on võimalik asendada kaks nurgi mõjuvat tungi üheainsa tungiga — resultanttungiga. Tegelikus elus tuleb aga enamasti lahendada vastupidist ülesannet: lahutada antud tung kaheks või mitmeks tungiks.

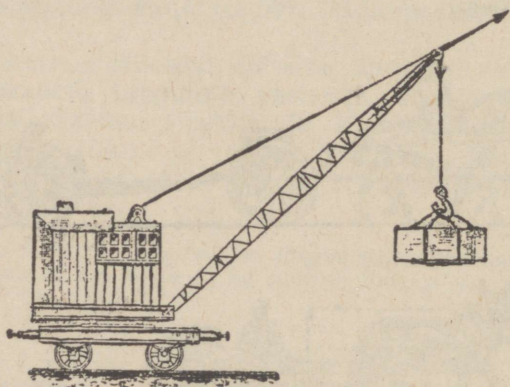


Joon. 212. Päevapildiaparaadi raskus rõhub igale statiivi jalale.

seaduse kohaselt. Antud tung peab olema diagonaaliks ja osatungid rööpküliku külgedeks. Ühe ja sama diagonaali põhjal

Näiteks päevapildiaparaat rõhub oma raskusega kõigile statiivi jalgadele (joon. 212). Tõstekraanaga tõstetav koormus pingutab trossi ja rõhub kraananokale (joon. 213). Võib loetleda veel palju teisigi näiteid, kus üks tung jaguneb kaheks või mitmeks tungiks.

Selleks, et kaks tungi, milledeks jaguneb antud tung, oleksid selle tungiga täiesti üheväärsed, peab tungide jaotus toimuma tungide rööpküliku



Joon. 213. Tõstekraanal rippuv koormus pingutab trossi ja rõhub kraananokka.

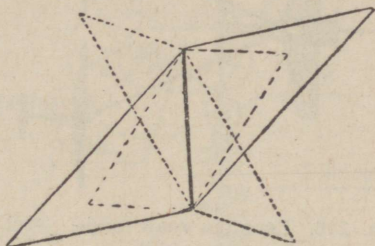
võib joonestada palju mitmesuguseid rööpkülükuid (joon. 214),

järelikult võib antud tungi kaheks lahutada lõpmata paljudel viisidel. Seetõttu tuleb igal üksikul juhul kõigepealt ära määrata, missugustesse kehadesse ja missuguses suunas otsitud tungid peavad mõjuma. Alles pärast seda joonestame rööpküliku, mille diagonaaliks on antud tung, külgedeks aga — otsitud tungid.

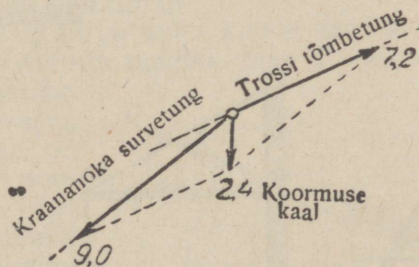
Näiteks tõstekraanal (joon. 213) rippuva eseme raskus lahutub kaheks tungiks, millest üks pingutab trossi ja on suunatud mööda trossi pikendusjoont, teine aga rõhub kraananokale ja on suunatud piki nokka.

Näide. Tõstetava eseme raskus (joon. 213) on 2,4 tonni; nurgad on näidatud joonisel 215. Leida tung, mis surub nokale, ja tung, mis pingutab trossi. Joonestame ühe tungi suuna trossi pikendusjoonele. Esialgu

saame näidata ainult tungide suunad, kuna me ei tea nende suurust.



Joon. 214. Ühele diagonaalile võib püstitada lõpmata hulga rööpkülikuid.



Joon. 215. Raskustungi lahutamine osatungideks.

Nüüd kanname allapoole suunatud püstsirgele eseme kaalu, mõõtkavas 1 t = 1 cm. Joonestame rööpküliku teadaoleva tungi põhjal (eseme kaalu suuruse põhjal). Mõõdame saadud sirglõigud samas mõõtkavas, millega joonestasime

antud tungi. Me leiame: trossi tõmbetung on 7,2 t, kraanaka survetung on 9 t.

Sarnaseid graafilisi arvutusi kasutatakse paljudes tehnilistes arvutlustes, näiteks sillakaarte arvutlustes.

**Küsimus 1.** Kuidas lahutub vankrit vedava hobuse tung (joon. 211)?

**Küsimus 2.** Joonestada kahel trossil ripuva laterna kaalu jagunemine (joon. 206).

**Küsimus 3.** Kuidas jaguneb tõmbejõud lennukil, mis veab enda järel 2 purilennukit (joon. 216)?

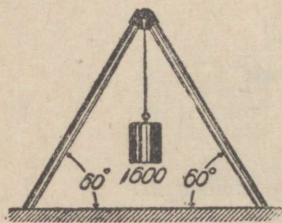
**Ulesanne 1.** Koormus ripub sarikail (joon. 217); koormuse raskus on 600 kg. Kuidas see raskus jaguneb? Leida graafiliselt sarikaisse mõjuvate tungide suurus.

Vastus: 1385 kg.

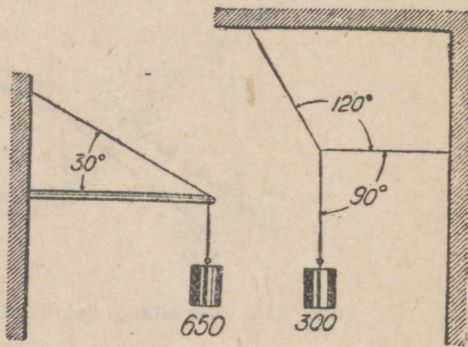
Joon. 216. Lennuk veab enda järel 2 purilennukit.

**Ulesanne 2.** Trossiga kinnitatud konsoolil ripub 650 kg raskune koormus (joon. 218). Joonestada, kuidas see raskus jaguneb. Leida: a) palgi survetung ja b) trossi tõmbetung.

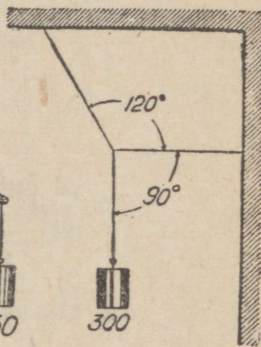
Vastus: Umbes 1100 kg ja 1300 kg.



Joon. 217. Sarikatel ripuv koormus.



Joon. 218. Konsoolil ripuv koormus.



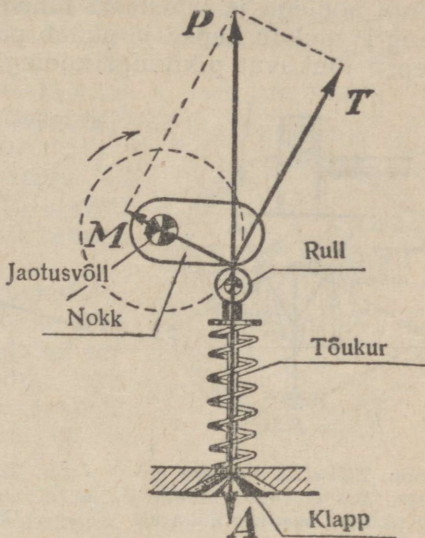
Joon. 219. Kahel trossil ripuv koormus.

**Ulesanne 3.** 300 kg suurune koormus ripub kahel trossil (joon. 219). Leida mõlemasse trossi mõjuvad tungid.

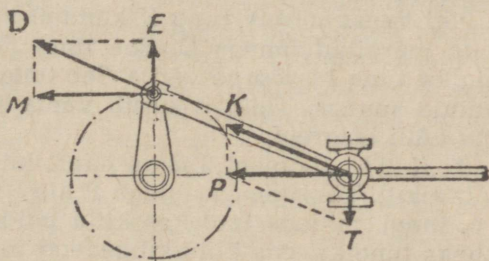
Vastus: 346 kg ja 173 kg.

§ 103. **Tungide lahutamine mehaanilistes konstruktsioonides.** Tõstekraanal rippuva koorma kaal pingutab trossi ja mõjub kraananokale kokkusuruvalt. Sarikatel rippuva raskuse kaal jaguneb kahte ossa, mis mõjuvad mõlemasse palki. Vaatleme nüüd teisi näiteid tungide lahutamisest konstruktsioones.

1. **Tungide lahutamine nokk-ajamis.** Tiirlev nokk surub tõukuriulli (joon. 220). Survetung on suunatud allapoole, piki tõukurit (klapivart). Kujutame seda tungi noolega, tähistades seda tähega A. Vedru tõmbub kokku; püüdes uuesti sirgeneda, surub ta tõukurit tagasi võrdse, kuid vastassuunalise tungiga. Kujutame seda tungi noolega R. Nooled A ja P on teineteisega võrdsed, aga vastassuunalised. Tung R tekitab kaks mõju: esiteks ta pidurdab nokka, teiseks ta surub noka kaudu jaotusvõllile. Järelikult tung R jaguneb kaheks tungiks: tung T, mis on suunatud piki ringjoone puutujat noka liikumise vastu, ja tung M, mis on suunatud piki ringjoone raadiust. Tung R (resultanttung) peab olema diagonaaliks ja tungid M ja T — rööpküliliku külgedeks.



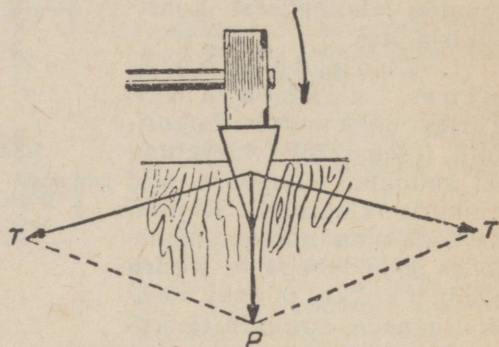
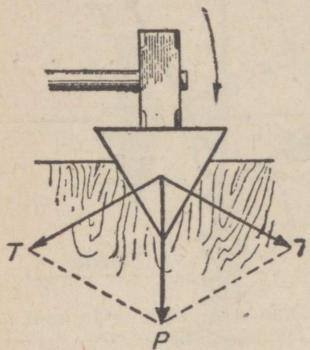
Joon. 220. Tungide lahutamine nokk-ajamis.



Joon. 221. Tungide lahutamine vānt-ajamis.

Nokka ringiajav mootor peab olema küllalt võimas, et ületada tungi T. Jaotusvõll, millele nokk on kinnitatud, peab olema küllalt tugev, et vastu panna tungile M.

2. Tungide lahutamine vänt-ajamis. Silindri kolvisse mõjub gaasi või auru rõhumine. Kolvi survetung on risti kolvipinnaga, ta mõjub piki kolvivart. Kujutame seda tungi noolega ja tähistame tähega P (joon. 221). Kolvi survetung P tõukab kepsu ja püüab painutada kolvivart. Kujutame kepsu tõukavat piktungi noolega K ja kolvivart painutavat



Joon. 222. Kiil. Kiilusse mõjuva tungi saab lahutada rööpküliliku seaduse kohaselt.

Joon. 223. Mida väiksem on kiilu teritusnurk, seda suurema tungiga kiil lõhestab keha, millesse teda taotakse.

risttungi noolega T. Nooled P, K ja T peavad olema joonestatud selliselt, et nool P (resultanttung) oleks diagonaaliks ja nooled K ning T rööpküliliku külgedeks. Meie joonisest nähtub, et piki kepsu mõjuv tung K on suurem kolvivarresse mõjuvast tungist P.

Piki kepsu mõjuv tung K kandub vändale (joon. 221), seal on ta märgitud tähega D. See tung jaguneb samuti kaheks tungiks; tung M pöörab vänta. See tung on suunatud ringjoone puutuja suunas. Tung E surub vänta ja selle kaudu ka võlli ning võlli laagreid.

3. Kiil. Joonisel 222 on näidatud tavaline puuhalu sisse taotav kiil. Tähistame noolega P kiilu silmasse mõjuvat tungi, s. o. tungi, millega taotakse kiilu puidusse. See tung jaguneb kaheks tungiks, mis kiilu külgedega rõhuvad puitu. Tähistame neid tunge tähega T. Tung P peab olema rööpküliliku diagonaaliks ja tungid T — rööpküliliku külgedeks. Tungid T on suunatud risti kiilu külgedele (joon. 222).

Mida väiksem on kiilu teritusnurk, seda suurema tungiga kiil püüab lõhestada keha, millesse teda taotakse (joon. 223).

Kiilu külgrõhumine ületab mitmekordselt tungi suuruse, millega taotakse kiilule. Seetõttu kiil lõhestabki kergesti puuhalu.

Kiile tarvitatakse ka masinaehituses, kui on vaja ühendada teineteisega kaks detaili (joon. 224). Näiteks kiilude abil kinnitatakse rattaid võllide otsa (joon. 225), kinnitatakse kepsusid väntade külge, kinnitatakse riistmasinaid ja masinaid soovitud asukohta.

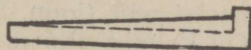
Nugade lõiketerade, meislite ja teiste sarnaste riistade terad kujutavad endast väga väikeste teritusnurkadega kiile.

§ 104. **Rööptungid.** Mitmemootorilise lennuki mootorite tõmbejõud (joon. 199), vankri ette rakendatud hobuste jõud, kahe töölise jõud, kes kannavad kepi otsas mingit raskust (joon. 226) — kõik need tungid on rööptungid.

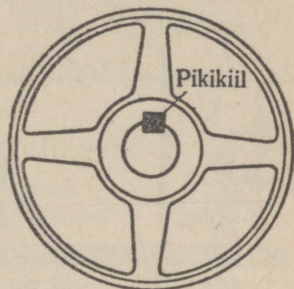
Rööptunge saab uurida kolme dünamomeetri ja sirge lati abil. Vaatame, kui suure jõuga kaks dünamomeetrit, mille tungid on teineteisega rööpsed, mõjuvad kolmandasse dünamomeetrisse.

Me näeme, et kui kahe dünamomeetri tungid on teineteisega rööpsed, siis kolmandasse dünamomeetrisse mõjuv tung võrdub nende summaga. Et seda katset lihtsustada, kinnitame esimesed kaks dünamomeetrit mingisuguse toendi külge ja tõmbame käega kolmandat dünamomeetrit; katse käik sealäbi ei muutu (joon. 227).

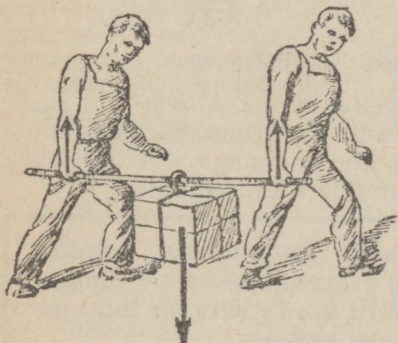
Kinnitame kolmanda dünamomeetri mitmesugustes kaugustes lati otstest. Kui kolmas dünamomeeter asetseb lati keskepaigas, siis näitavad esimene ja teine düna-



Joon. 224. Pikikiil.



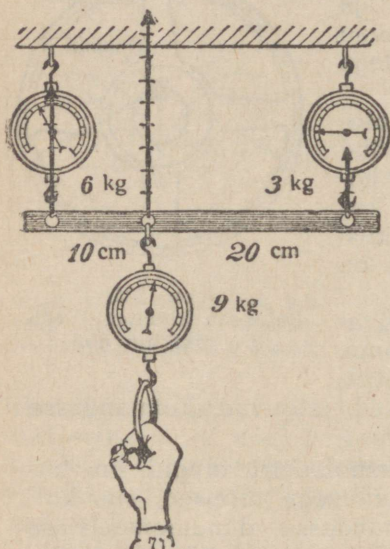
Joon. 225.  
Ratas on kinnitatud võllile pikikiilu abil.



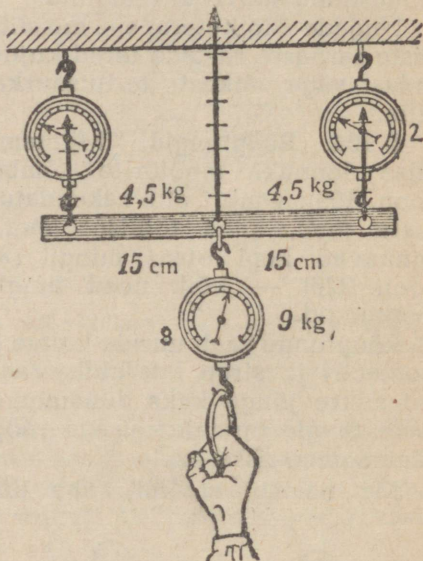
Joon. 226. Kaks töolist kannavad koormat kepi otsas; töölisesse mõjuvad tungid on rööpsed.

momeeter võrdseid tunge (joon. 228). Mida lähemale esimesele dünamomeetrile on kinnitatud kolmas dünamomeeter, seda suurem on esimese dünamomeetri ja seda väiksem teise dünamomeetri näit (joon. 227).

Kui kolmas dünamomeeter asetseb 10 cm kaugusel esimesest dünamomeetrist ja 20 cm kaugusel teisest dünamomeetrist, siis teine dünamomeeter näitab kaks korda vähem kui esimene. Kui esimene dünamomeeter mõjub latisse 6 kg suuruse



Joon. 227. Rööptungide liitmine.



Joon. 228. Rööptungide resultanttung on võrdne osatungide summaga ja asetseb suuremale tungile lähemal.

tungiga, siis teine mõjub 3 kg suuruse tungiga. Kolmanda dünamomeetri näit võrdub aga nende summaga:  $6 + 3 = 9$  kg.

Sellest katsest tuleneb rööptungide liitmise juhise:

Kahe samasuunalise rööptungi resultanttung võrdub nende summaga. Resultanttung asetseb suuremale tungile nii mitu korda lähemal, kui mitu korda suurem tung on väiksemast tungist suurem.

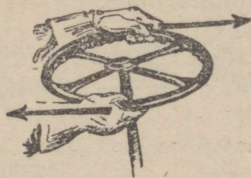
$$\frac{\text{esimene tung}}{\text{teine tung}} = \frac{\text{teise kaugus}}{\text{esimese kaugus}}$$

Kaht võrdset ja rööpset, kuid vastassuunalist tungi nime-  
tatakse tungipaariks.

**Tungipaaril ei ole resultanttungi: tungipaari mõjul keha  
hakkab pöörlema.**

Tungipaare esineb väga sageli. Autojuhi käed tekitavad tungipaari, pöörates rooliratast (joon. 229). Kruvimutrit

Joon. 229. Keerates rooli, tekitavad autojuhi käed tungipaari.



Joon. 230. Kruvimutrit kinnikeeravad sõrmed tekitavad tungipaari.



kinnikeeravad sõrmed tekitavad samuti tungipaari (joon. 230). Ka õhurõhumine lennuki propelleri pooltele tekitab tungipaari.

**Ülesanne.** Leida kahe rööptungi suurus ja rakenduspunkti kaugus suuremast tungist: a) 8 kg ja 15 kg, kui kaugus nende vahel on 46 cm; b) 60 kg ja 30 kg, kui kaugus nende vahel on 4,5 m.

Vastus: a) 23 kg; kaugus 15 kg suurusest tungist on 16 cm;  
b) 90 kg; kaugus 60 kg suurusest tungist on 1,5 m.

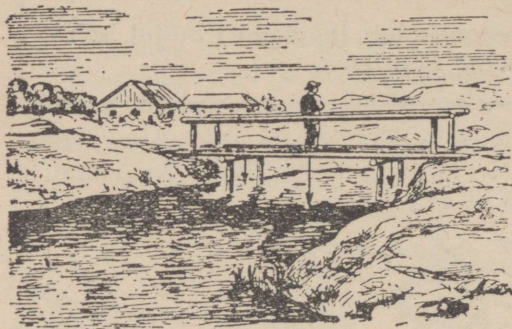
§ 105. **Tungi lahutamine rööpseiks osatungideks.** Konstruktioonides tuleb sageli ette, et üks tung lahutatakse kaheks või mitmeks rööptungiks. Näiteks purdel seisva inimese raskus jaguneb kaheks tungiks, mis rõhuvad purde tugele (joon. 231). Toolil istuva inimese raskus jaguneb neljaks tungiks, mis on suunatud piki toolijalgu (joon. 232).

Peab oskama leida rööptungide suurust, milledeks antud tung jaguneb.

Vaatame kahel toel seisvat purret (joon. 231). Kui koorem on purde keskel, siis ta raskus rõhub võrdselt mõlemat tuge: igasse toesse mõjub tung, mis võrdub poole koormaraskusega. (Koorma raskus on siin resultanttungiks ja tugesse mõjuvad tungid osatungideks ehk komponentideks. Resultanttung võrdub rööptungide summaga.)

Kui koormus asetseb vasakule toele lähemal, siis mõjub vasakusse toesse suurem tung. Mõlema tungi summa on aga ikkagi võrdne koormuse koguraskusega.

Kui kaks inimest kannavad kepi otsas mingisugust koormust (joon. 233), siis peab koormus rippuma kepi keskel, et



Joon. 231. Purdel seisva inimese raskus jaguneb kaheks rööptungiks.



Joon. 232. Inimese raskus jaguneb neljaks rööptungiks.

mõlemal oleks kanda võrdne raskus. Kui aga üks nendest on teisest tugevam ja kui ta soovib kergendada oma nõrgema kaaslase tööd, siis nihutab ta koormust endale lähemale.



Joon. 233. Mida väiksem on koormuse kaugus toest, seda suurem on toesse mõjuv tung.

**Mida lähemal asub koormus toele, seda suurem on toesse mõjuv tung.**

Seda selgitab joonis 233.

Et leida tungid, milledeks jaguneb koormuse raskus, tuleb kasutada võrdelise (proportsionaalse) jagamise juhist. Vaatame näites, kuidas seda tehakse.

Näide. 1000 kg raskune koormus asub 5 meetri pikkusel palgil, 2 meetrit selle vasakpoolsest otsast. Leida tugesse mõjuvad tungid.

Tungid on pöördvõrdelised nende kaugustega resultant-tungi rakenduspunktist. Tähendab, me peame jagama 1000 kg pöördvõrdeliselt kaugustega 2 m ja 3 m ( $5 - 2 = 3$ ). Kasutame võrdelise jagamise juhist: jagame 1000 kg viieks osaks:

$\frac{1000 \text{ kg}}{5} = 200 \text{ kg}$ ; korrutades jagatist kahega, saame parempoolse tungi:  $200 \text{ kg} \cdot 2 = 400 \text{ kg}$ . Korrutades jagatist kolmega, saame vasakpoolse tungi:  $200 \text{ kg} \cdot 3 = 600 \text{ kg}$ .

**Küsimus 1.** Kaks töelist kannavad pange lubjaga (joon. 233); kumbal on suurem raskus kanda? Kuhu tuleks pange nihutada, et mõlemal oleks kanda võrdne raskus?

**Küsimus 2.** Kangkaalul on tasakaalustatud kaks võrdset koormust. Kui suure tungiga surub kaalu kang alusele?

§ 106. **Raskuskese.** Igal kehaosakesel on teatud raskus. Kõik väikesed raskustungid, mis mõjuvad keha üksikuisse

Joon. 234. Keha kaal ja raskuskese S.



Joon. 235. Raskuskeskmes kinnitatud keha püsib tasakaalus.



osakestes, on üksteisega rööpsed. Nad on suunatud alla, Maa poole (joon. 234). Nende raskustungide resultanttung ongi keha kaaluks.

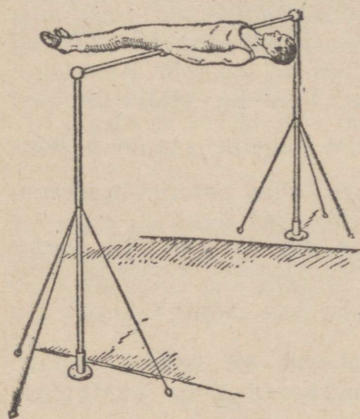
**Keha osakestesse mõjuvate raskustungide resultanttungi rakenduspunkti nimetatakse raskuskeskmeks.**

Joon. 234 on raskuskese tähistatud tähega S.

Võib öelda, et antud keha kaal on keskendatud raskuskeskmesse. Seetõttu:

**Kui asetada tugi keha alla täpselt raskuskeskmesse, siis on keha kaal tasakaalustatud toe vasturõhuga ja keha püsib tasakaalus.**

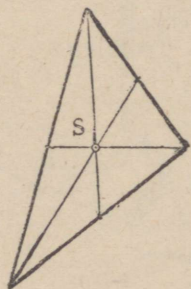
(Vt. joon. 235). Seda asjaolu kasutatakse tihtipeale ühe või teise keha raskuskeskme leidmiseks. Näiteks kangil võimlev sportlane leiab kergesti, et inimkeha raskuse asetseb vähe allpool vööd (joon. 236).



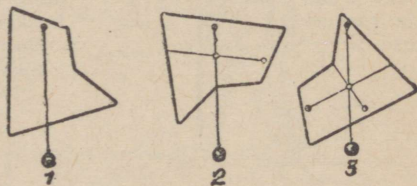
Joon. 236. Võimleja kangil.

Kui riputame mingisuguse keha niidi otsa, siis läheb niidi suund tingimata raskuskeskmest läbi. Seejuures niidi tõmbetung ja keha raskustung tasakaalustavad teineteist ning keha püsib tasakaalus.

On kasulik teada, kus asetsevad mitmesuguste kehade raskuskeskmed. Näiteks on kera raskuse kera geomeetriselises tsentrumis. Silindri raskus-



Joon. 237. Kolmnurga raskuse on mediaanide lõikepunktis.



Joon. 238. Nõnda võib määrata ebakorrapärase kujuga tasakeha raskuskeset.

kese on ta telje keskpaigas. Rööpküliku raskuskese on diagonaalide lõikepunktis. Kolmnurga raskuskese on mediaanide lõikepunktis (joon. 237; mediaaniks nimetatakse joont, mis ühendab nurka vastasoleva külje keskkohaga).

Võtame ebakorrapärase kujuga tasakeha. Selle tasakeha raskuskeskme määramiseks riputame ta niidi otsa (joon. 238) ja tõmbame joone niidi pikenduse suunas (1); järgnevalt riputame tasakeha teises punktis ja märgime jälle niidi pikendusjoone (2). Raskuskese on mõlema joone lõikepunktis (3).

Kui tõmbame niiti, mille otsas keha ripub, siis keha liigub translatoorselt ülespoole. Sellest võime teha järgmise järelduse:

**Kui liikumapaneva tungi suund läbib raskuskeset, siis liigub keha translatoorselt; vastasel korral keha ühtlasi ka veel pöörduv.**

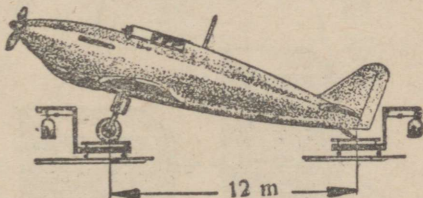
Võtame väikese lauatüki (joon. 239) ja tõmbame sellele diagonaalid. Diagonaalide lõikepunkt määrab raskuskeskme.

Seome lauatüki külge nõõri ning tõmbame nõõrist. Laud hakkab pöörduma; pöördumine kestab, kuni nõõri suund läheb raskuskeskmest läbi. Siis hakkab laud liikuma translatoorselt.



Joon. 239. Lauatükk pöörduv seni, kuni liikumapaneva tungi suund läbib raskuskeset.

Aurikud, lennukid või autod peavad enamasti liikuma translatoorselt; seepärast on oluline asetada mootorid nii, et liikumapaneva tungi suund läbiks raskuskeset. Et see oleks võimalik, peab teadma, kus asetseb raskuskese.



Joon. 240. Lennuki raskuskeskme määramine.

Näide. Raskuskeskme määramiseks asetati lennuk kahele kaalule (joon. 240); kaugus mõlema kaalu vahel on 12 m. Esimene kaal näitab 2,1 t; tagumine kaal —

0,99 t. Määrata, kui kaugel asetseb raskuskese esimesest kaalust.

Kaugus resultanttungist iga osatungini on pöördvõrdeline selle osatungiga.

Niisiis peame jagama kauguse 12 m pöördvõrdeliselt tungidega 2,1 t ja 0,9 t.

Jagame 12 m summaga  $2,1 + 0,9 = 3$ , saame  $\frac{12}{3} = 4$  m.

Korrutame 4 m väiksema tungiga:  $4 \text{ m} \cdot 0,9 = 3,6$  m. Raskuskese on 3,6 m kaugusel esimesest kaalust.

Ülesanne 1. Kui suur on lennuki kaal eelmises näites?

Vastus: 3 t.

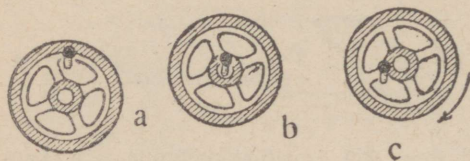
Ülesanne 2. Leida vasara raskuskese, kui vasar kaalub 0,6 kg ja vars 0,2 kg, varre pikkus on 40 cm.

Vastus: Raskuskese on 5 cm kaugusel vasarast.

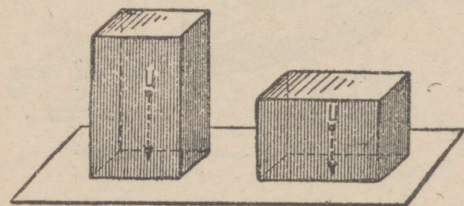
Küsimus 1. Kus asetseb propelleri raskuskese?

Küsimus 2. Kuidas muutub laeva raskuskese, kui laadung tuuakse laevaruumist tekile?

§ 107. Püsiv, ükskõikne ja mittepüsiv tasakaal. Raskustung tõmbab keha alla, Maa poole. Seetõttu püüab raskuskese alati olla kõige madalamas võimalikus seisundis.



Joon. 241. Kolm tasakaalujuhtu: a — püsiv tasakaal; b — ükskõikne tasakaal; c — mittepüsiv tasakaal.



Joon. 242. Raskuskese on tugipiiris.

paljud teised tiirlevate mehhanismide osad.

Kui aga raskuskese on pealpool toetuspunkti, siis on keha mittepüsivas tasakaalus (joon. 241-c). Kui viime keha tasakaaluasendist pisut välja, siis keha ei tule sinna enam tagasi, vaid võtab asendi, kus raskuskese oleks võimalikult madalal (keha läheb püsivasse tasakaaluasendisse).

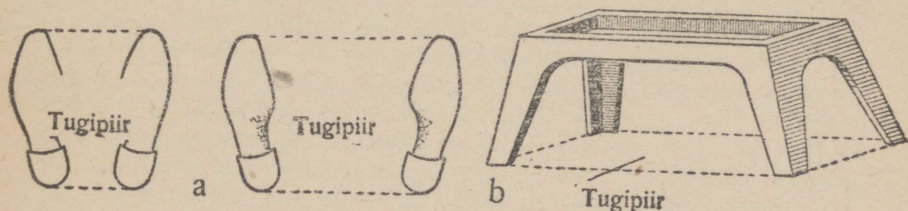
Põrandal või maas seisvad kehad on tasakaalus ainult siis, kui raskuskese asetseb seespool tugipiiri (joon. 242). Kui raskuskese on seejuures kõige madalamas punktis, siis tasakaal on püsiv.

Üldtuntud lastemänguasi „püstleja“ (joon. 243) on tehtud samal põhimõttel. Nuku alus on täidetud pliiga; kui nukk on püsti, on ta raskuskese kõige madalamal. Kui lükkame nuku küljeli, tõuseb ta raskuskese kõrgemale. Seepärast nukk ei jää lamama: niipea kui laseme ta lahti, läheb ta kohe püst-asendisse tagasi.



Joon. 243. Lastemängukann: püstleja-nukk.

Mida madalamal on keha raskuskese ja mida suurem on pindala seespool tugipiiri, seda „püsivam on tasakaal“ ehk „seda stabiilsem on keha“. Seepärast laevatekil või omnibuses inimene seisab harkisjalu, et suurendada seega oma tasakaalu. Joonis 244 selgitab, mida tuleb mõista „tugipiiri“ all.



Joon. 244. a — inimese jalgade tugipiir; b — masinriista tugipiir.

**Küsimus 1.** Nimetada mõned rippuvad kehad, mis on püsivas tasakaalus.

**Küsimus 2.** Nimetada mõned kehad, mis on ükskõikses tasakaalus.

**Küsimus 3.** Mida tuleb teha autode, vagunite või trolleibuste stabiilsuse suurendamiseks?

**Küsimus 4.** Uks veoauto on rauakoormaga, teine samaraske puidukoormaga. Kumb auto on stabiilsem?

**Küsimus 5.** Mispärast tehakse auto-istmed madalad?

**Küsimus 6.** Mispärast täidetakse malendite alused pliiga?

**Küsimus 7.** Miks kruvitakse laualambi-aluste alla malmraskus?

**Küsimus 8.** Mispärast kallutab seljas koormat kandev inimene keha ettepoole?

**Küsimus 9.** Mispärast pole võimalik tõusta toolilt ilma keha ette kallutamata või jalgu konksu tõmbamata?

## K a h e k s a s p e a t ü k k .

### LIIKUMINE JA TUNGID.

§ 108. **Mehaanika esimene seadus: inertsiseadus.** Me teame igapäevastest kogemustest, et ükski paigalolev keha ei hakka liikuma iseendast, ilma välise põhjusega. Et panna liikuma paigalolevat keha, peame temasse mõjuma teatava tungiga. Näiteks, et panna veerema paigalolevat jalgpalli, peame talle andma jalahoobi. Et sooritada hüpet, peame andma jalga-dega hoogu. Autojuht, kes tahab auto liikuma panna, käivitab mootori, ühendab mootori vastava transmisseiooni abil tagaratastega — ja mootor paneb tagarattad tiirlema. Rattad hakkavad teed mööda veerema ja auto sõidab. Kui tee on jäätanud, siis ei saa auto rattad küllaldaselt tuge ja auto puksib: rattad tiirlevad, aga masin ei liigu paigast.

Et peatada liikuvat keha, peab sellesse samuti mõjuma teatava jõuga. Jalgpalli peatamiseks paneb väravavaht pallile jala ette või haarab pallist kätega kinni. Kes on mänginud jalgpalli, see teab, et ei ole kerge peatada lendavat palli. Kui ei haarata palli küllalt jõuliselt, siis pall libiseb käte vahelt välja ja jätkab oma teekonda. Palli peatav mängija saab pallilt üsna tugeva tõuke. Seepärast mängivad kogenud väravavahid harilikult kinnastes. Kui me palli ei peata, siis ta liikumine üha aeglustub; viimaks jääb ta seisma. Aga seisma ei jää ta iseenesest, vaid õhutakistuse ja jalgpalliväljaku hõõrdetakistuse mõjul. Kui väljakul kasvab rohi, siis peatub pall õige ruttu. Siledal väljakul ta veereb kaugemale; jääpinnal või asfaldil veereb ta veel kaugemale.

Me teame väga hästi, et kiirelt jooksmisel on raske äkki seisma jääda; selleks peame paiskama mõlemad jalad ettepoole, nagu seda tehakse pärast hüpet, ja toetuma jalgadega kõvasti vastu maad. Aga ka nii ei saa kohe peatuda, vaid tuleb teha veel paar sammu. Siledal libedal jääl on aga täiesti võimatu järsku seisma jääda; tundub, et pole olemas säärast jõudu, mis suudaks meid peatada.

Kujutleme, et sõidame autoga ja et autojuht paneb mootori seisma. Ent auto jätkab edasilikumist. Kui auto sõidab porisel külavaheteel, siis jääb ta õige varsti seisma; aga kui ta sõidab siledal sillutisel, siis veereb ta kaugemale. Asfalteeritud maanteel sõidab ta seisva mootoriga ära üsna pika maa. Järelikult ka auto ei jää iseenesest seisma, vaid mitmesugused takistavad tungid peatavad ta. Selliseks takistavaks tungiks on esmajoones hõõrdumine teekonarluste vastu. Porisel külavaheteel on hõõrdumine nähtavasti suurem kui maanteel ja auto peatub kiiremini. Kui ei oleks olemas takistavaid tunge, auto sõidaks igavesti. Ent pole võimalik täielikult vältida neid tunge.

**Keha omadust püsida kas paigal või ühtlases sirgjoonelises liikumises nimetatakse inertsiks.**

**Iga keha püsib kas paigal või ühtlases sirgjoonelises liikumises, seni kui mingi tung seda olekut ei muuda.**

See on inertsiseadus.

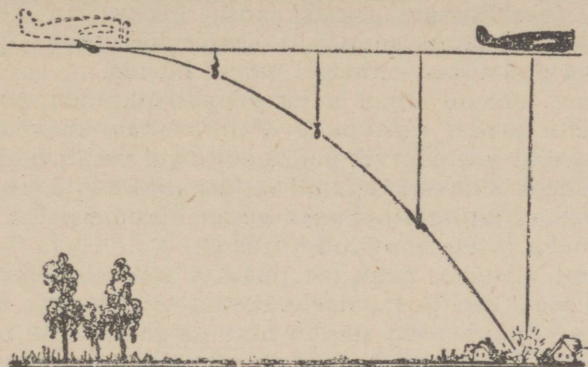
Igapäevases elus on meil järjest tegemist inertsiga. Kui me sõidame trammiga ja vaguni juht hakkab järsult pidurdama, siis inertsise mõjul me liigume edasi senise kiirusega ja langeme eespoolseisvaile sõitjaile selga. Aga kui me istume pingil, selg sõidu suunas, siis pidurdamise ajal me tahtmatult toetume kõvasti vastu seljatuge. Sõitvalt trammilt või rongilt maha hüppamisel ei saa kohe peatuda: inertsise sunnil peab ikka jooksma mitu sammu sõidu suunas.

Kuul, mille püssirohugaasid püssitorust välja paiskavad, lendab edasi inertsise mõjul, kuni õhutakistus või mõni muu takistus ta peatab. Tõsi küll, kuul ei liigu ei sirgjooneliselt ega ühtlaselt, kuna temasse mõjuvad kogu aeg raskustung (mis kallutab kuuli lendjoont Maa poole) ja õhu takistav tung (mis aeglustab ta lendu).

Lennukilt heidetud pomm liigub inertsise mõjul esialgu sama kiirusega, millega lendab lennuk. Kui ei oleks õhutakistust, siis pomm peaks langema maapinnale sinna kohta, kust lennuk parajasti üle lendab (joon. 245). Kuid õhutakistus kahandab pommi kiirust ja pomm langeb lennukist tahapoole (joon. 246).

Näide. Lennuk lendab 600 meetri kõrgusel kiirusega 450 kilomeetrit tunnis. Sellelt lennukilt heidetud pomm langeb maha 11 sekundiga. Leida kaugus langemiskoha ja selle paiga vahel, mille kohal pomm vabastati.

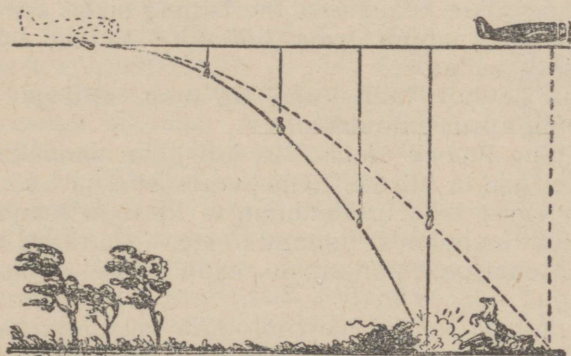
Meil on teada: pommi langemisaja 11 sekundit, lennuki kiirus 450 km tunnis ehk 125 m sekundis.



Joon. 245. Nii langeks pomm, kui ei oleks õhutakistust.

Kogu pommi langemisaja jooksul liigub pomm inertsil mõjul sama kiirusega, millega lendas lennuk. Selle aja jooksul pomm läbib tee, mis võrdub lennuki kiiruse ja langemisaja korrutisega:

$$\text{käidud tee} = \text{kiirus} \cdot \text{aeg} = 125 \cdot 11 = 1375 \text{ meetrit.}$$



See võrra on õhutakistus lühendanud pommi teekonda

Joon. 246. Õhutakistus lühendab pommi langemisteed.

Kuid õhk takistab teataval määral pommi langemist ja seetõttu pomm läbib tegelikult veidi lühema maa (joon. 246).

**Küsimus 1.** Et kinnitada kirvest varre otsa, taotakse varre otsaga tugevasti vastu kivi või vastu palki. Selgitada, milleks seda tehakse.

**Küsimus 2.** Kui tramm hakkab järsult edasi liikuma, vajuvad sõitjad tahapoole. Seletada selle põhjus.

§ 109. **Inertsitungid.** Inertsiooni mõjul liikuv iga keha püüab edasi liikuda senises suunas ja senise kiirusega; iga paigalolev keha püüab inertsiooni mõjul paigal püsida.

Kui me tahame mingi keha paigalt nihutada, avaldab see keha meile teatud vastupanu. Palli viskav korvpallimängija tunneb teatud vastusurvet palli poolt. Kui vedur nihutab rongi paigalt, siis avaldavad vagunid veduri veotungile teatud vastuseisu. Ilma vaguniteta hakkaks vedur liikuma palju kergemini ja saavutaks rutem soovitud kiiruse.

Täpselt niisama, nagu me püüame peatada liikuvat keha, avaldab see keha peatamisele teatud vastuseisu. Kui suure kiirusega kihutav rong sõidab otsa paigalseisvale rongile, on kokkupõrkejõud niivõrd suur, et vagunikered lendavad tükki-deks ja tugevast terasest vaguniraamid kõverduvad. Vasar, millega taotakse naela, püüab inertsiooni mõjul liikuda sirgjooneliselt; ta mõjub naelasse teatud jõuga ja vajutab naela seina sisse.

Tunge, millest oli juttu ülaltoodud näidetes, nimetatakse inertsitungideks.

Inertsitung on tung, millega liikumatu keha mõjub teda liikuma panevaise kehasse. Inertsitung on ka see tung, millega liikuv keha mõjub tema liikumise kiirust või suunda muutvaise kehasse.

Lühidalt öeldult: **inertsitung on tung, millega iga keha takistab oma kiiruse muutmist.**

Inertsitung ilmneb ainult siis, kui keha pannakse liikuma või muudetakse ta kiirust. Igapäevases elus ja tehnikas tuleb alatasa tegemist teha inertsitungiga. Igasugu löögid, poksija hoobid, kuuli lennuhoost tulenev tõuge, haamri või rammimisvaia löök, tennispalli pörkamine reketi vastu — need kõik on inertsitungid.

Jõud, millega voolav vesi mõjutab vesijõujaama turbiini, või jõud, millega tuul paneb liikuma õhuturbiini, on samuti inertsitungid.

Kurvil sõitev trammivagun või rong püüavad inertsiooni mõjul liikuda sirgjooneliselt ja mõjuvad rööbastesse teatud inertsitungiga.

**Ulesanne 1.** Tuua näiteid inertsitungidest igapäevases elus ja töötuses.

**Ulesanne 2.** Võtta vedrukaal ja mingisugune koormus (näiteks triikraud või viht). Asetada väike korgitükike vedrukaalu prakku noole alla, siduda

koormus konksu külge ja tõsta kaal aeglaselt üles. Kork osutab jaotist, kus nool peatub. Nüüd asetada koormus lauale ja tõsta kaal jälle üles, tehes seda nii kiiresti kui võimalik. Kork peatub nüüd palju madalamal, just nagu oleks koormuse raskus suuremaks muutunud. Millest see tuleb?

**Küsimus 1.** Seome tugeva niidi triikraua külge ja tõstame aeglaselt niidist tõmmates triikraua üles: niit ei katke. Kui aga tõmbame niiti järsult, siis ta rebeneb. Mis on selle põhjuseks?

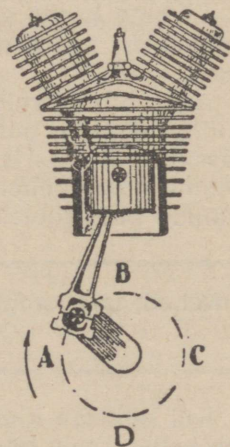
**Küsimus 2.** Millal on trammivaguni, trolleibuse või auto mootor rohkem koormatud: ühtlaselt liikudes või liikuma hakates?

§ 110. **Inertsitungid masinate.** Masinate töötamisel tekiavad möödapääsematult inertsitungid, kuna igas masinas on detaile (näiteks kolvid ja kepsud), millede kiiruse suurus ja suund tööajal muutub.

Veduri ajamis võivad kepsu, tiisli ja vända liikumise tulemusena tekkida mitme tonni suurused inertsitungid. Seoses sellega vedurirataste surve rööbastele kasvab või kahaneb, oledes sellest, kas inertsitungi suund on alla- või ülespoole.

Auto- või lennukimootori töötamisel tekib samuti inertsitunge. Kõige tunduvad on kolvi liikumisel tekkivad inertsitungid.

Vaatleme kolvi liikumist väntvõlli ühtlasel tiirlemisel (joon. 247). Kolvi kiirus on kõige suurem siis, kui kolvi ja vända liikumine on ühesuunaline, s. o. siis, kui vänt läheb läbi punktist A või C. Jõudnud ülemise surnudpunktini B, jääb kolb momendiks seisma ja alustab siis suureneva kiirusega liikumist allapoole. Kui vänt läbib teosa AB, siis on kolvi liikumine kiirenev. Ülemisele surnudpunktile lähenedes püüab kolb inertsiooni mõjul liikuda ühtlaselt ja veab kepsu endaga kaasa teatava inertsitungiga, mille suund on ülespoole. Surnudpunktist B kolb kaugeneb kiirenevalt ja takistab kepsu liikumist. Lähenedes alumisele surnudpunktile D, püüab kolb inertsiooni mõjul liikuda ühtlaselt; ta lükkab kepsu teatava inertsitungiga, mille suund on allapoole. Kaugenedes sellest surnudpunktist, hakkab kolb jälle pidurdama kepsu.



Joon. 247. Kolvi liikumisel tekib inertsitunge.

Moodsad mootorid teevad 1500 kuni 4000 tiiru minutis. Neis tekkivad inertsitungid on seetõttu sageli väga suured. Et

vähendada inertsituningide suurust, tehakse õõnsaid kolbe ja valatakse nad kergest sulamist — duralumiiniumist.

Uute masinate projekteerimisel peab välja arvestatama neis tekkivad inertsitunigid ja asetatama üksikud masinaosad selliselt, et need end vastastikku tasakaalustaksid. Kui aga inertsitunigid on puudulikult tasakaalustatud, siis suureneb üksikute detailide koormatus tööajal tunduvalt (eriti aga väntvõlli ja laagrite koormatus), mille tagajärjeks on masina rappumine. Rappuv masin võib purustada oma aluse või koguni ohustada hoonet, kuhu ta on paigutatud.

Masinate käivitamisel tuleb ületada liikuvate osade inerts. Seetõttu peab mootor käivitamise momendil arendama õige suurt tungi.

§ 111. **Mass.** Nüüd tutvume mõistega, millel on määratu suur tähtsus kõigis teaduse ja tehnika harudes ja ka igapäevases elus. See on massi mõiste.

**Aine hulka, millest keha koosneb, nimetatakse keha massiks.**

On arusaadav, et kümne vaskkopikalise mass (aine hulk) on kümme korda suurem kui ühe vaskkopikalise mass. Ühe kuupmeetri vee mass on tuhat korda suurem kui ühe liitri vee mass.

Aga võib võrrelda omavahel ka erinevaist ainetest koosnevaid kehi. Ühe pangetäie vee massi võib võrrelda vasetüki massiga või toas leiduva õhu massiga. Et võrrelda omavahel mitmesuguste kehade massi, peame asetama need kehad kangkaalude kaussidele.

**Kehad, mis kangkaalul üksteist tasakaalustavad, omavad võrdset massi.**

Kui paneme kaalu ühe kausi peale näiteks pronksist ühekopikalise raha, teise kausi peale aga ühegrammilise vihi, siis kaal püsib tasakaalus. Järelikult võrdub ühekopikalise raha mass vihi massiga.

Kui me kaalume mõnd keha kangkaalul, ei mõõda me õigupoolest keha kaalu, vaid ta massi.

Keha mass on jääv suurus. Võime kuumutada keha, tõsta ta kõrge mäe otsa või viia ta sügavasse maa alla, võime kehast läbi lasta elektrivoolu või purustada keha üksikuteks tükki-

deks; kõigil neil juhtudel jääb keha mass (või ta üksikosade kogumass) muutumatuks.

Täpsete katsetega tehti kindlaks:

**Mitmesugustel keemilistel reaktsioonidel on algainete mass täpselt võrdne saadud ainete massiga.**

Kui mõõdame põletatava puidu massi ja hapniku massi, millega ühineb põlev puit, ja kui pärast seda mõõdame põlemisest saadud ainete (suitsu, tahma, süsihappegaasi, veeauru, tuha jne.) massi, siis ilmneb, et puidu ja hapniku mass on täpselt võrdne saadud ainete kogumassiga. See on ainete säilimise seadus, millest meil oli juttu viiendas peatükis.

#### § 112. Massi ühikud. Mass ja kaal.

Massi ühikuks on platinavihi mass, mis hoitakse alal Sèvres'is Pariisi lähedal. Selle vihi mass võrdub ligikaudu ühe kuupdetsimeetri puhta vee massiga 4° temperatuuri juures. Seda ühikut nimetatakse kilogramm-massiks (tähis: kgr).

$$1 \text{ kgr} = 1000 \text{ gr.}$$

Teatavasti nimetatakse selle platinavihi kaalu merepinnal 45-ndal geograafilisel laiuskraadil kilogramm-tungiks. Tuleb kahetseda, et ühikud nii erinevate suuruste mõõtmiseks, nagu seda on mass ja kaal, omavad samu nimetusi: kilogramm, gramm ja tonn. See võib tekitada segadust.

Tuleb kindlalt meeles pidada, et kaal on tung, millega keha rõhub oma alust või pingutab nõõri, mille otsas ta ripub. Kaal on tung. On olemas hulk mitmesuguseid tungide liike. Kõiki tunge, nende hulgas kaalu, väljendatakse tung-kilogrammides (tähis: kg).

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g.}$$

Tungide mõõtmiseks tarvitatakse vedru-dünamomeetreid. Riputame dünamomeetri külge 10 kg raskuse vihi ja märgime seejuures osuti asukoha; siis võtame vihi ära ja tõmbame käega dünamomeetri pidemest, kuni osuti kaldub sama asukohani. Sel juhul võime öelda, et meie käe poolt arendatud tungi suurus on 10 kg.

Nagu on selgitatud esimese peatüki § 14-ndas, keha kaal muutub, kui tõuseme kõrge mäe tippu või sõidame maakera nabalt ekvaatorile. Ent keha mass seejuures ei muutu.

Tõsi küll, igasuguseid raskusi kaalutakse alati vihtidega kaaludel. Seetõttu ei märka reisijad mingit kaalukadu reisisel nabal ekvaatorile ega ka lisakaalu tekkimist sõidul ekvaatorilt nabale, sest koorma ja vihtide kaal muutub võrdsete suuruste võrra.

Harilikus elus huvitab meid keha mass palju sagedamini kui keha kaal. Kui näiteks öeldakse, et laeva kandejõud on 20 000 tonni, siis tahetakse sellega väljendada laadungi massi, mida laev suudab vastu võtta. Kui me läheme poodi leiba ostma, siis ei huvita meid leiva kaal ehk tung, millega see leib võiks venitada kaalu vedru, vaid toitva aine hulk, millest leib koosneb — leiva mass.

Nii siis peame hästi meeles:

**Mass on aine hulk.**

**Kaal on tung.**

**Keha mass on jääv.**

**Kaal ei ole jääv** (kaalu suurus oleneb sellest, missugusel geograafilisel laiuskraadil ja kui kõrgel merepinnast keha asetseb).

Keha massi mõõdetakse vihtidega kaaludel. Keha kaalu mõõdetakse ilma vihtideta kaaludel (skaalaga vedrukaalu abil).

**Harjutus.** Teha kindlaks, missugustes järgnevais näidetes on juttu massist, missugustes kaalust.

Rong veab 600 tonni suurust laadungit. Sild suudab kanda kaks 900-tonnist rongi.

Masina valmistamiseks kulutati 3 tonni terast. Kolmetonnine masinriist purustas töökoja põrand.

Lennuki kandejõud on 11 tonni. Raskepommitaja võib kaasa võtta 11 tonni lõhkeainet.

9 grammi vee lagumisel saame 8 grammi hapnikku ja 1 gramm vesinikku. Laadija kannab 80-kilost raskust. Kolhoos ostis 80 kilogrammi seemet. Et sõita autoga Moskvast Leningradi, on vaja 150 kilogrammi bensiini. Veoautole saab laadida 3000 kilogrammi bensiini.

§ 113. **Mehaanika teine seadus.** Me teame, et kui kehasse ei mõju mingisugust tungi, siis keha liigub inertsil mõjul sirgjooneliselt ja ühtlaselt või püsib paigal.

**Kui kehasse mõjub mingisugune tung, siis keha liigub kiirenevalt.**

**Kui keha on sirgjoonelises ja ühtlases liikumises ja kui kehasse hakkab mõjuma kiiruse vastu suunatud tung (pidurdav tung), siis liikumine muutub aeglustuvaks liikumiseks.**

Uurides kehade kiirust mitmesuguste tungide mõjul, leidis kuulus õpetlane Newton seaduse, mida ta nimetas mehaanika teiseks seaduseks:

**Kiirendus, mida tung annab kehale, on seda suurem, mida suurem on kehasse mõjuv tung, ja seda väiksem, mida suurem on keha mass. Kiirenduse suund ühtib mõjuva tungi suunaga.**

Selgitame mehaanika teist seadust näidete varal.

Jaama juures seisab rong. Vedurijuht annab auru; veduri veorattad pöörlevad ja rong hakkab liikuma. Veduri veojõud paneb rongi liikuma; rong alustab kiirenevat liikumist.

Mida suurem on veduri veojõud ja mida vähem koormatud on rongi vagunid, seda suurem on rongi kiirendus ja seda kiiremini ta saavutab soovitud kiiruse.

Tegelikus elus on olukord keerukam, kuna igasse kehasse mõjub harilikult mitu tungi. Ülaltoodud näites mõjub rongi koosseisusse veduri veotung, aga peale selle veel takistavad tungid: hõõrdumine ja õhutakistus.

Seni kui liikumahakanud rongi kiirus ei ole suur, on takistavad tungid veduri veotungist väiksemad. Seetõttu on rongi liikumine esialgu kiirenev. Kiiruse kasvades suurenevad ka takistavad tungid. Rong liigub kiirenevalt, kuni takistav tung võrdub veduri tungiga. Mõlemad tungid tasakaalustavad nüüd teineteist ja rong liigub inertsil mõjul sirgjooneliselt ja ühtlaselt, nagu poleks ta ühegi tungi mõju all. Rongi kiiruse tõstmiseks tuleb suurendada veduri poolt arendatud tungi, tuleb „lisada auru“.

Agas kui regulaator on juba täiesti avatud ega saa enam „lisada auru“, siis ei saa tõsta ka rongi kiirust. Seda saab siis teha ainult võimsama veduri abil.

Veel üks näide: nööriidel ripub liivakott (poksijad treenivad sellise kotiga). Lööme kotti käega: mida suurem on löögi jõud, seda suurem on kiirendus, millega kott eemale pörkab. Mida suurem on koti mass, seda väiksem on kiirendus.

Mida massiivsema ehitusega on masinriist, seda võimsam peab olema masinriista liikuma panev mootor. Blumingut (määratu suur valtsmasin teraseplokkide valtsimiseks) paneb

liikuma suur ja võimas mootor. Aga väikese treipingi mehhanismi võib liikuma panna käega.

Väikesele kivile võib käega anda tunduva kiirenduse. Aga suurele kivile, millel on suur mass, saab käega anda ainult väikese kiirenduse.

§ 114. Kolmas mehaanika seadus: mõju ja vastumõju võrdsuse seadus. Meil oli palju juttu sellest, et tungid tekivad kehade vastastikuste mõjutuste läbi. Trossil rippuv koormus mõjutab trossi: see pingutub ja omakorda avaldab koormusse teatavat tungi. Kui seda tungi ei oleks, langeks koormus maha.

Treipingi lõiketera mõjub teatava tungiga töötlus-esemesse, lõigates sellelt laastu. Töötlus-ese omakorda mõjub lõiketerasse. Lõiketerasse mõjuvad tungid teevad ta aja jooksul nüriks. Lõiketera võib koguni murduda, kui tööline vajutab ta ettevaatamatult liiga sügavale töötlus-esemesse.

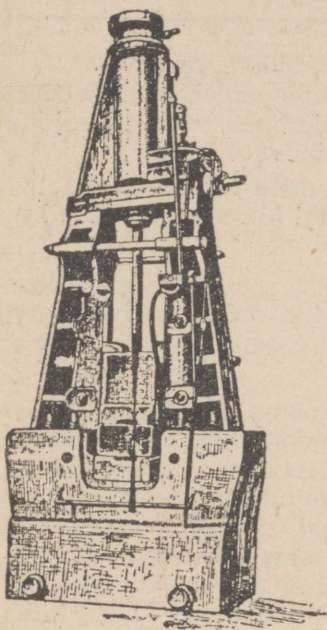
Vastu alasit taguv vasar saab alasilt vastulöögi. See vastulöök peatab vasara ja paneb ta tagasi pörkama. Kauemat aega tarvitusel olnud vasarate otsad on laiemaks muljutud. Need on vastulöökidete jäljed, mida vasar on saanud taotud kehadel.

Inimese poolt visatav kivi mõjub teatava jõuga käele, millega kivi visatakse.

Tööline, kes saab või hõõveldab, tunneb sae või hõõvli survet oma käele.

Vasar (joon. 248) rõhub töödeldavat eset teatava allapoole suunatud tungiga, töödeldav ese avaldab vasarasse samasuurt vastutungi, mis aga on vastasuunaline, see on — ülespoole sihitud.

**Tunge tekib ainult kehade vastastikuse mõju tagajärjel.** Tungid esinevad alati paariviisi, nagu ülaltoodud näideteski: üks tung mõjutab ühte keha, teine — teist.



Joon. 248. Vasar rõhub töötlus-eset teatava tungiga. Töötlus-ese avaldab vasarasse võrdset, kuid vastasuunalist tungi.

Uurides kehade vastastikust mõju, püstitas Newton seaduse, mida nimetatakse mehaanika kolmandaks seaduseks:

**Iga mõju (aktsioon) põhjustab võrdset ja vastassuunalist vastumõju (reaktsiooni); tungid, millega kehad mõjuvad üksteisesse, on võrdsed ja vastassuunalised.**

Nagu nägime toodud näidetes, on mõju ja vastumõju tungid alati rakendatud erinevaise kehasse. Veduri tung rakendub vagunitesse, pannes need liikuma; vagunite vastumõju tung rakendub vedurisse, pidurdades selle liikumist (sõites ilma vaguniteta arendaks vedur palju kiiremini vajalikku kiirust).

**Näide.** Kaks inimest tahavad võrrelda oma tugevust ja veavad köit; kumbki tõmbab ise suunas. Mõju ja vastumõju seaduse kohaselt tung, millega kumbki võistleja veab köit, võrdub tungiga, millega köis tõmbab teda ennast. Aga mispärast üks nendest võidab ja tõmbab köie oma poole? Asi on selles, et mõlema võistleja jalad toetuvad maha erineva jõuga: ühe võistleja jalad on kas tugevamad või ta on osavam ja oskab jalgu paremini asetada, ära kasutades pinna konarlusi. See võistleja võidabki, kusjuures köis on muidugi mõlemas otsas ühevõrra pingul.

**Ulesanne 1.** Järvel sõidab aerupaat. Selgitada, kuhu rakenduvad mõju ja vastumõju tungid. Missugune tung paneb paadi liikuma?

**Ulesanne 2.** Kaalu ühel kausil asetseb klaas veega, mis on tasakaalustatud vihtidega. Paneme sõrme vette. Mis sünnib ja mis on selle põhjus? Paneme korgitüki klaasi sisse ujuma. Mis sünnib ja mispärast?

**Ulesanne 3.** Seletada, miks lennukid, purilennukid, õhulaevad ja õhupallid ei saa lennata õhutühjas ruumis.

**Ulesanne 4.** Kuhu rakenduvad mõju ja vastumõju tungid, kui kuul põrkab vastu takistust?

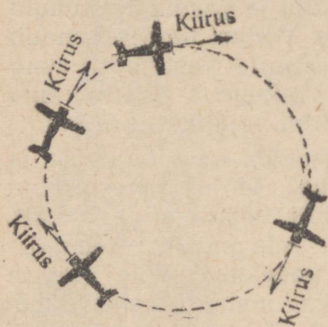
**Ulesanne 5.** Käial teritatakse lõiketera. Seletada, kuhu rakenduvad mõju ja vastumõju tungid.

**Ulesanne 6.** Treipingi lõiketera lõikab laastu eseme pinnalt. Kuhu rakenduvad mõju ja vastumõju tungid?

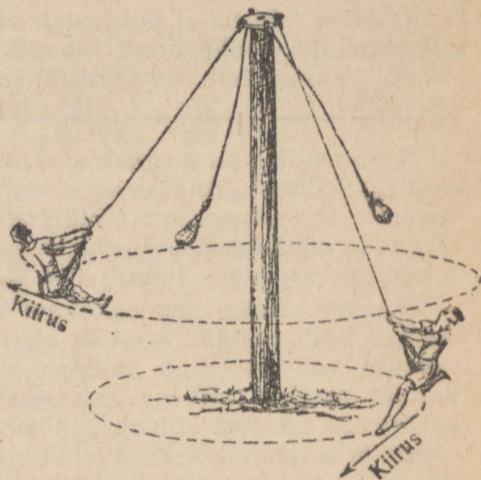
§ 115. **Kesktouke- ja kesktõmbetung.** Nüüd, olles tutvunud mõju ja vastumõju seadusega, vaatleme veel kord kehade ringliikumist.

Joonised 249 ja 250 kujutavad ringjoonel liikuvaid kehi. Keha kiirust antud momendil tähistatakse noolekesega, mis on suunatud puutuja sihis.

Me näeme, et ringliikumises oleva keha kiirusel on erinevail momentidel erinev suund. Teame, et keha püüab inertsimõjul liikuda sirgjooneliselt ja ühtlaselt (inertsiseadus). Kui aga keha ei liigu sirgjooneliselt ja kui kiiruse suund muutub, siis tähendab see, et ke-



Joon. 249. Ringliikumises oleva keha kiiruse suund muutub alatasa.



Joon. 250. Ringliikumises oleva keha kiiruse suund muutub alatasa.

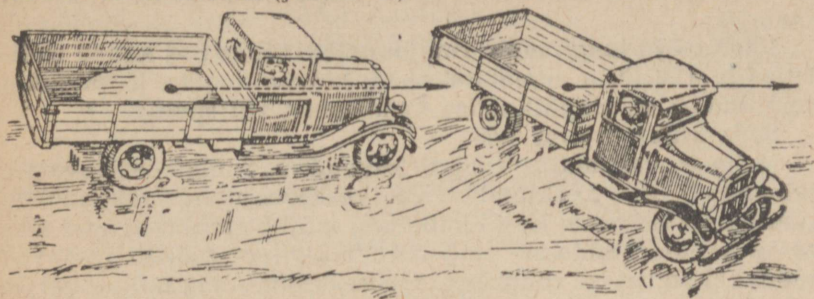
hasse mõjub mingi tung. Keha liigub ringjoonel ainult siis, kui kehasse mõjub pidevalt mingi tung, mis on suunatud ringi keskkoha poole.

**Tungi, mis paneb keha liikuma ringjoonel ja mis on pidevalt suunatud ringi keskkoha poole, nimetatakse kesktõmbetungiks.**

Rong liigub rööbastel; inertsimõjul püüab ta liikuda sirgjooneliselt ja ühtlaselt. Kui aga rong läheneb teekäänakule, surutakse veduri ja vagunite rataste siseääred vastu rööpaid, mis mõjuvad rongisse teatud jõuga ja sunnivad rongi kõrvale kalduma otsesuunast ning alustama ringliikumist. Kui aga rong jookseb rööbastest välja, hakkab ta inertsimõjul liikuma sirgjooneliselt, kuni rattad jäävad maasse kinni.

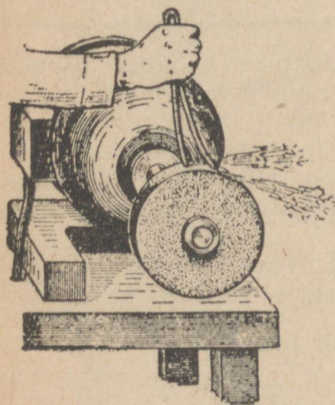
Auto liigub sirgjooneliselt mööda teed, kuni autojuht pöörab esirattaid rooli abil. Auto pöörduv siis hõõrdumistungi mõjul, mida avaldab tee pind auto ratastesse. Jäätanud teel ei saa teha järske pöördeid, kuna hõõrdumine on seal väike.

Seetõttu ei ole kesktõmbetung küllaldane ja auto libiseb põiki teed endises suunas (joon. 251).

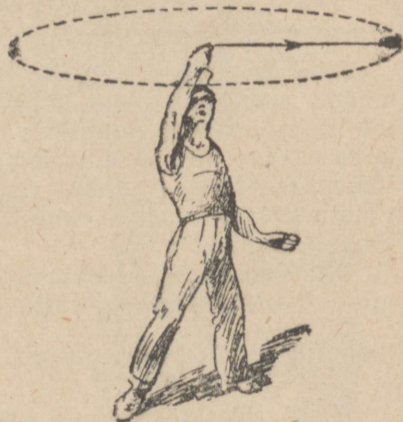


Joon. 251. Jäänud teel ei saa järsku keerata.

Paneme tähele, mis suunas lendavad sädemed töötava käia kettalt. Sädemed (hõõguva kivi pisikesed tükikesed) lendavad ketta puutuja suunas (joon. 252).



Joon. 252. Sädemed lendavad käiakivi puutuja suunas.



Joon. 253. Kesktõuketungi suund on ringliikumise tsentrumist väljapoole.

Keha püüeb liikuda inertsil mõõda sirgjoont avaldub selles, et ringjoneliselt liikuv keha mõjub teatava tungiga neisse kehasse, mis takistavad liikumist mööda sirgjoont. Näiteks rõhub teekäänakul sõitev rong külgsuunas rõõbas-tele (seetõttu on raudteerööpad teekäänakutel kinnitatud liip-

ritele suurema arvu konksudega kui sirgteel); lingukivi pingutab lingunööri (käsi tunneb seda lingukeerutamisel tekkivat tõmmet).

**Vastumõju tungi, mida ringjooneliselt liikuvad kehad avaldavad inertsitõttu, nimetatakse kesktõuketungiks. Kesktõuketungi suund on ringliikumise tsentrumist väljapoole.**

Seda kujutab joon. 253.

Mõju ja vastumõju tungid rakenduvad alati erinevaise kehasse. Ka kesktõmbe- ja kesktõuketung rakenduvad kumbki eri kehasse: kesktõmbe- ja kesktõuketung mõjub ringliikumises olevasse kehasse endasse (ling mõjub kivisse, rõõpad mõjuvad käänakul sõitvasse rongisse), aga kesktõuketung mõjub neisse kehasse, mis põhjustavad ringliikumist (kivi pingutab lingunööri, rong rõhub rõõbastele).

**Kesktõuketung on seda suurem, mida suurem on ringliikumises oleva keha mass ja kiirus. Mida suurem on keha ringliikumise raadius, seda väiksem on kesktõuketung.**

Ringleva hooratta iga osake püüab inertsitõttu mõjul liikuda mööda sirgjoont. Ainult hooratta materjali tugevus takistab ratta osakesi puutujate suunas laiali lendamast. Tahke keha osakesi liitvad elastsed tungid on tiirlevas rattas kesktõmbe- ja kesktõuketungideks. Aga kui ringliikumise kiirus on liiga suur, võib materjali tugevus osutada ebaküllaldaseks ja tiirlev ratta lõhkeb nagu pomm.

Mida tugevam on materjal, seda kiirem võib olla ringliikumine. Näiteks malmhooratta tiirlemisel ei tohi ringikiirus ületada  $100 \frac{m}{sek}$ , terashooratta tiirlemisel  $400 \frac{m}{sek}$ .

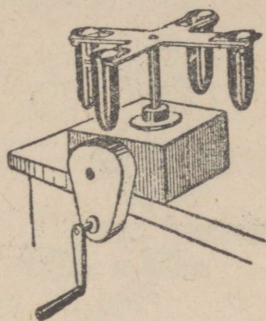
### § 116. Kesktõuketungi kasutamine tehnikas.

Kesktõuketung leiab tehnikas laialdast kasutamist.

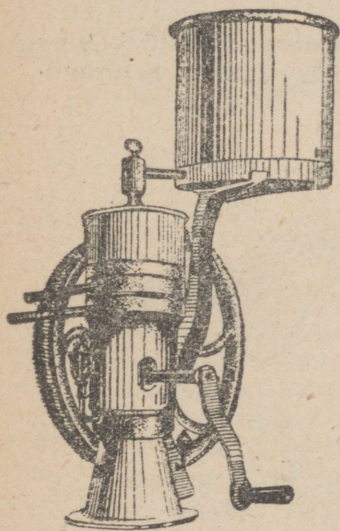
Tsentrifuugi (joon. 254) tarvitatakse siis, kui on vaja kiiresti eraldada vedelikust osakesi, mis leiduvad seal suspensioonis. Vedelik ühes suspensioonis olevate osakestega valatakse tsentrifuugi klaasidesse. Siis pannakse tsentrifuug mootori abil kiiresti pöörlema (tsentrifuugi tiirude arv minutis võib ületada 20 000). Kui suspensioonis olevad osakesed on vedelikust raskemad, laskuvad nad inertsitõttu mõjul klaasi põhja;

kui aga suspensioonis olevad osakesed on vedelikust kergemad, tõusevad nad vedeliku pinnale. Tsentrifuuge kasutatakse arstlikes ja teistes laboratooriumides, aga ka tööstuses (näiteks mäeasjanduses selleks, et eraldada maagiosakesi, mis heljuvad vees).

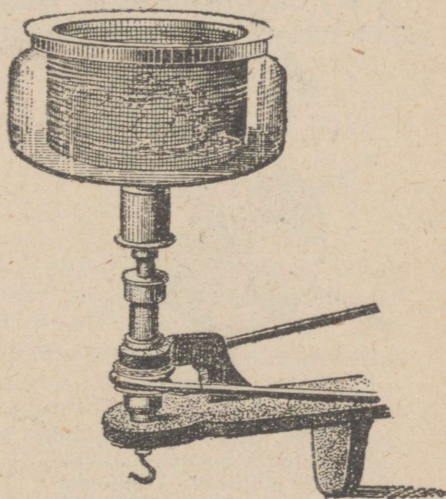
Koorelahutaja (separaator) on seadeldis, mida tarvitatakse piimanduses koore lahutamiseks piimast (joonis 255). Koorelahutaja anum täidetakse täispiimaga. Siis pannakse koorelahutaja kiiresti tiirlema; kuna koor on piimast kergem, siis koguneb ta tiirlemistelje lähedusse ja voolab sealt torude kaudu plekknõudesse.



Joon. 254. Tsentrifuug.



Joon. 255. Koorelahutaja.

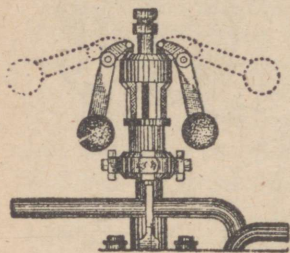


Joon. 256. Kuivatusmasin.

Kuivatusmasinate tähtsamaks osaks on traatvõrgust trummel, kuhu asetatakse kuivatatav aine. Trumlile antakse kiire ringliikumine; veeosakesed püüavad inertsil liikuda mööda sirgjoont ja lendavad võrgust välja.

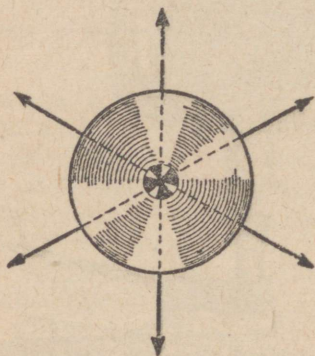
Kuivatusmasinaid tarvitatakse pesu, lõnga või villa kuivatamisel ja ka maakide kuivatamisel mäekaevandustes.

Tsentrifugaalregulaatori (joon. 257) ülesandeks on aurumasinatate tiirlemiskiiruse reguleerimine. Selle regulaatori tähtsamaks osaks on rasked kuulid, mis tiirlevad koos aurumasinaga võlliga. Kui tiirlemiskiirus on liiga suur, tõusevad kuulid kesktõuketungi mõjul; seejuures nad panevad tööle erilise seadeldise, mis vähendab auru juurdevoolu aurumasinasse. Selle tagajärjel aurumasinaga võlli tiirude arv kahaneb. Kui aga võlli tiirlemiskiirus on väike, laskuvad kuulid madalamasse asendisse, kusjuures auru juurdevool suureneb ja tiirlemiskiirus kasvab.

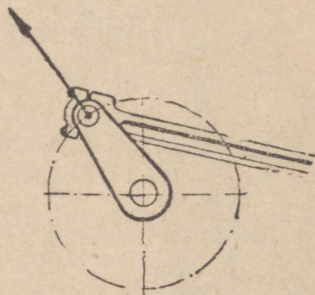


Joon. 257.  
Tsentrifugaalregulaator.

§ 117. **Kesktõuketungi tasakaalustamine.** Kesktõuketung mõjub tiirleva keha igasse osakesse. Tiirleva ratta või propel-



Joon. 258. Hästi tsentreeritud ratta vastamisi asetsevaise osakesesse mõjuvad kesktõuketungid tasakaalustavad üksteist.



Joon. 259.  
Vändasse mõjuv kesktõuketung ei ole millegagi tasakaalustatud.

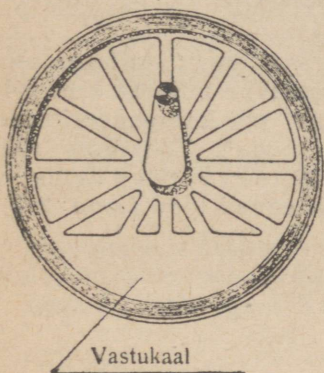
leri osakesesse mõjuvad kesktõuketungid tasakaalustuvad vastastikku (joon. 258) ega tekita mingit telje lisakoormatust (selle eeltingimuseks on muidugi, et ratas peab olema heas tasakaalus).

Kesktõuketung tekib ka kepsu ja vända liikumisel, ent siin see tung ei ole tasakaalustatud (joon. 259). Seejuures mõjub

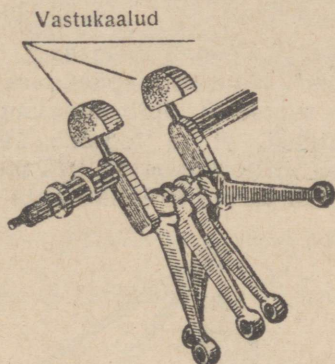
kesktõuketung masina teljesse. Kui kepsukäik on väga kiire, võib masina võll murduda.

Vänt-ajami tiirlemisel tekkiva kesktõuketungi tasakaalustamiseks tarvitatakse vastukaalusid.

Joon. 260 kujutab veduriratta vastukaalu, joonis 261 — tähekujulise lennukimootori vastukaalu. Vastukaalu peab valima nii, et tiirlevasse vastukaalu mõjuv kesktõuketung tasakaalustaks tiirlevasse vänt-ajamisse mõjuva tungi.



Joon. 260.  
Veduriratta vastukaal.



Joon. 261. Tähekujulise lennukimootori vastukaal.

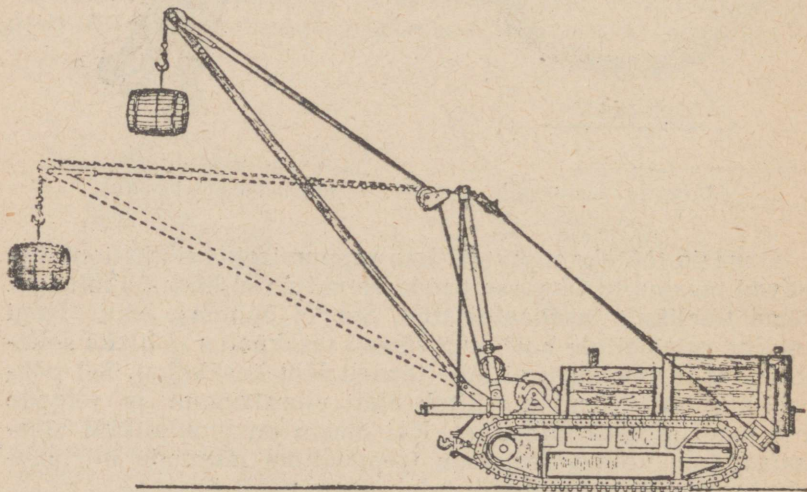
Et masin töötaks sujuvalt, ilma rappumiseta (vibratsioonita), peavad masina tiirlevaisse osadesse mõjuvad kesktõuketungid olema täielikult tasakaalustatud. See ei õnnestu alati. Isegi tavaline ratas ei ole harilikult täiesti tasakaalus (näiteks sellepärast, et tiirlemistelg ei lähe täpselt läbi keskkoha). Sel põhjusel masina tiirlemine tekitab alati vibratsioone ja telgede ning laagrite lisakoormatust. Kui masin on puudulikult tasakaalustatud, võib vibratsioon (rappumine) muutuda nii tugevaks, et masin puruneb või tuleb aluse pealt ära.

Kiirelt tiirlevad masinad, näiteks auruturbiinid, peavad olema eriti hoolikalt tasakaalustatud. Ent väga raske on täielikult tasakaalu viia suure auruturbiini ratas, mille küljes on hulk kühvlikesi. Turbiiniratas asetatakse seetõttu harilikult painduva terasvõlli otsa. Kiirel tiirlemisel turbiin painutab oma võlli ja hakkab tiirlema nii, et kesktõuketungid tasakaalustavad end ise.

## Uheksas peatükk.

### TÖÖ JA ENERGIA.

§ 118. **Töö.** Tööstuses ja igapäevases elus räägitakse sageli „tööst“. Näiteks igapäevases elus öeldakse inimese kohta, kes loeb raamatut, õpib mingisugust ainet või komponeerib muusikateost, et ta tegeleb „vaimse tööga“. Tööstuses räägitakse tiirleva mootori või masina, koormat kandva töölise või raskusi tõstva kraana kohta, et nad teevad tööd (joon. 262).

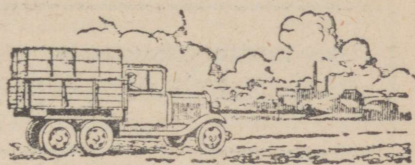
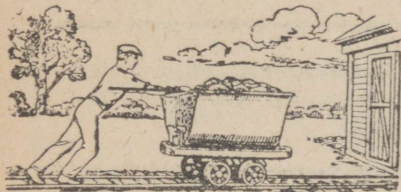


Joon. 262. Raskust tõstev kraana teeb tööd.

Füüsikas mõistetakse „töö“ all sedasama mis tööstuses.

Oletame, et tööline lükkab vagonetti, mõjudes sellesse teatava jõuga (joon. 263). Mida suurem on töölise jõud ja mida kaugemale ta lükkab vagonetti, seda suurem on töölise poolt sooritatud töö. Niisamuti, mida suurem on automootori veo-

jõud ja mida pikema maa auto ära sõidab, seda suurem on mootori poolt tehtud töö (joon. 264). Mida tugevam on treitava detaili valmistusmaterjal ja mida suurem on mahatreitud materjali hulk, seda suurem on treipingi töö.



Joon. 263. Mida suurem on tööliste jõud või mida pikema maa sõidab vagonett, seda suurem on töö.

Joon. 264. Mida suurem on automootori veojõud ja mida kaugemale auto sõidab, seda suurem on töö.

Tööline, kes lükkab vagonetti, kuid ei suuda seda paigast nihutada, ei tee mingit tööd.

Inertsil liikuv keha, mis ei ületa mingisugust takistust, ei tee samuti tööd.

Nii siis:

**Töö seisneb keha ümberpaigutuses tungide mõjul. Töö hulka mõõdetakse tungi suuruse ja käidud tee korrutisega:**

$$\text{töö} = \text{tungi} \times \text{tee.}$$

**Küsimus 1.** Kas inimene, kes vajutab käega seinale, teeb tööd?

**Küsimus 2.** Kas liikuv aurik teeb tööd?

**Küsimus 3.** Kas sillal seisev koorem teeb tööd?

**Küsimus 4.** Kas lendav kuul teeb tööd?

**Küsimus 5.** Kas elektrimootor, mis tiirleb, aga ei pane liikuma mingit mehhanismi, teeb tööd?

§ 119. **Tööühik.** Tööhulka väljendatakse tungi ja käidud tee korrutisega. Tööd mõõdetakse seetõttu liit-ühikutega: tööühik võrdub tungiühiku ja käidud tee ühiku korrutisega.

$$\text{Tööühik} = \text{tungiühik} \times \text{käidud tee ühik.}$$

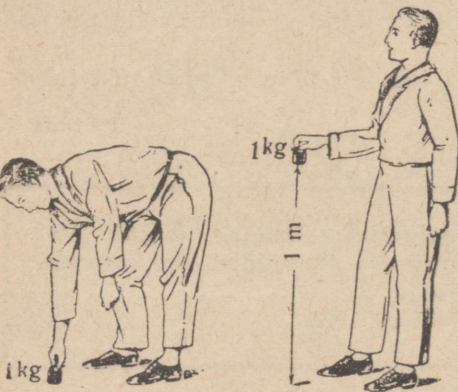
Tungiühikuks on kilogramm-tung (kg). Käidud tee ühikuks võetakse meeter (m). Tööühikuks on meeter-kilogramm (tähis: mkg):

$$1 \text{ mkg} = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ kg}$$

**Üks meeter-kilogramm võrdub tööhulgaga, mida tuleb teha, et tõsta ühe kilogrammi raskune koormus ühe meetri kõrgusele.**

(Vt. joon. 265.)

Näide 1. Leida tööhulk, mida teeb tööline, kui ta lükab vagonetti 1,5 km kaugusele, mõjudes vagonetisse 12 kilogrammi suuruse tungiga.



Meil on teada: tung 12 kg; käidud tee pikkus 1,5 km = 1500 m. Tööhulk võrdub tungi ja käidud tee korrutisega:  $12 \text{ kg} \cdot 1500 \text{ m} = 18000 \text{ mkg}$

Näide 2. Tõstekraana, mis tõstab raskust 1,9 t, sooritab 57 000 mkg suuruse töö. Leida, kui kõrgusele vinnati raskus.

Meil on teada: tung 1,9 t = 1900 kg (raskuse kaal); tööhulk 57 000 mkg.

Käidud tee (antud juhul tõstekõrgus) võrdub tööhulga ja tungi jagatisega:

$$\text{käidud tee} = \frac{\text{töö}}{\text{tung}} = \frac{57\,000 \text{ mkg}}{1900 \text{ kg}} = 30 \text{ m}.$$

**Ulesanne 1.** Kui suure töö sooritab tõstuk, mis tõstab 6 inimest maja viiendale korrale? Kõrgus on 20 m; iga inimese kaal on 70 kg.

Vastus: 8400 mkg.

**Ulesanne 2.** Sõites 13,5 km teeb auto 540 000 mkg suuruse töö. Leida auto veojõud.

Vastus: 40 kg.

**Ulesanne 3.** Tööline lükkab mööda põrandat rasket kasti, mõjudes sellesse 32 kg suuruse jõuga. Kui suure töö sooritab tööline 20 m pikkusel maal?

Vastus: 640 mkg.

**Ulesanne 4.** Treipingi löiketera lõikab 0,5 cm laiust laastu. Lõiketera arendab 300 kg suurust tungi. Kui palju kasulikku tööd teeb treipink, töödeldes 120 cm · 230 cm suurust plaati?

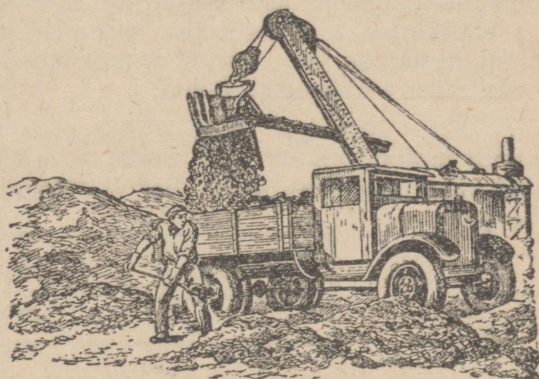
Vastus: 165 600 mkg.

§ 120. **Võimsus.** Ühte ja sama tööd võib teha erineva ajaga. Võimas bagermasin võib kaevata süvendi ühe päevaga. Hea mullatöeline vajaks aga sama süvendi kaevamiseks umbes viissada päeva (joonis 266).

Veoauto veab 1000 telliskivi 30 kilomeetri kaugusele ühe tunniga. Hobuveok vajaks selleks umbes kakssada tundi.

Milles seisneb bagermasina ja mullatöelise või hobuse ja veoauto töövõimete erinevus?

Erinevus on nende võimsuses.



Joon. 266. Võimsa bagermasina töövõime erineb mullatöelise töövõimest. Mullatöeline vajab 500 päeva, et sooritada töö, mille bagermasin teeb üheainsa päevaga.

**Võimsuseks nimetatakse ühe sekundi jooksul tehtud töö hulka.**

Võimsuse arvutamiseks jagame tööhulga kulutatud ajaga:

$$\text{võimsus} = \frac{\text{töö}}{\text{aeg}}$$

Bagermasin sooritab antud aja jooksul rohkem tööd kui mullatööline sama aja jooksul, järelikult on bagermasina võimsus suurem mullatöölise omast. Võimsuse kindlaksmääramisel pannakse masin töötama pikemat aega. Näiteks lennukimootori võimsuse määramiseks pannakse ta töötama sada tundi ning mõõdetakse kogu selle aja kestel arendatud keskmine võimsus. Lennuki õhkutõusmisel arendab mootor võimsust, mis ületab poolteise- või kahekordselt võimsuse, millega mootor võib töötada pikemat aega. „Startimisvõimsusega“ ei saa töötada üle 5—10 minuti; kauema töötamise juures võib mootor katki minna.

Töölise võimsuse määramiseks tuleb mõõta töölise poolt terve tööpäeva jooksul tehtud töö ning jagada see tööajaga.

Lühikestes ajavahemikes (näiteks hüppeajal) suudab inimene arendada palju suuremat võimsust, kui ta suudaks arendada pideva töötamise puhul.

§ 121. **Võimsuse ühik.** Võimsuseks nimetatakse ühe sekundi jooksul tehtud tööd. Seetõttu mõõdetakse võimsust liitühikutes: võimsuse ühik võrdub tööühiku ja ajaühiku jagatisega:

$$\text{võimsuse ühik} = \frac{\text{tööühik}}{\text{ajaühik}}$$

Tööühikuks on meeter-kilogramm (mkg). Ajaühikuks on sekund (sek). Järelikult on võimsuse ühikuks üks meeter-

kilogramm sekundis:  $\frac{\text{mkg}}{\text{sek}}$ .

Meeter-kilogramm sekundis osutub liiga väikeseks ühikuks masinate võimsuse mõõtmisel. Seepärast kasutatakse suuremat ühikut, mida nimetatakse hobujõuks:

$$\text{üks hobujõud} = 75 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}}$$

Hobujõu tähis on hj. Ühe hobujõu võimsust arendab näiteks mootor, mis tõstab 75 kilogrammi raskuse koorma 1 sekundi jooksul 1 meetri kõrgusele.

Töötava inimese keskmine võimsus on 0,1—0,3 hj. Töötava hobuse keskmine võimsus on aga 0,5 hj. Niisiis on üks hobujõud tavalise hobuse võimsusest suurem.

Nimetus „hobujõud“ on õigupoolest ebatäpne: peaks olema „hobuse võimsus“.

Kui masina võimsus on teada, siis võib leida tööhulga, mida masin teeb antud aja jooksul. Tööhulk võrdub võimsuse ja tööaja korru-tisega:

$$\text{töö} = \text{võimsus} \times \text{aeg}$$

Et mõõta tööd mee-ter-kilogrammides, tu-leb avaldada võimsust  $\frac{\text{mkg}}{\text{sek}}$ -tes ja aega sekun-dites.

Näide 1. Tõste-seadeldis tõstab 1,5 tonni 15 meetri kõrgu-selē 0,5 minuti jooksul. Leida tõsteseadeldise võimsus.

Meil on teada: tung (koorma kaal) 1,5 t = 1500 kg; käidud tee (tõstekõrgus) 15 m; aeg 0,5 min. = 30 sek.

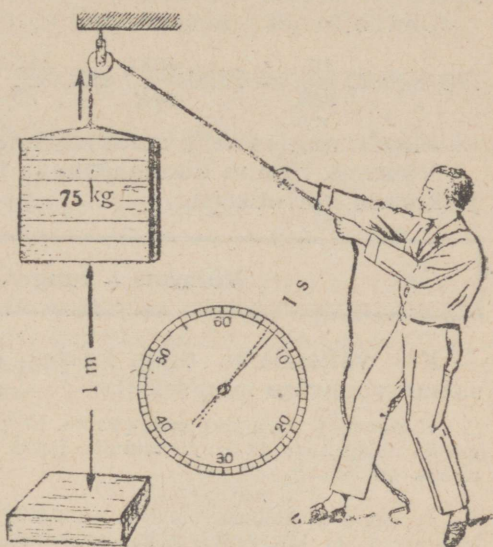
Tõsteseadeldise poolt tehtud tööhulk on järgmine:

$$\text{töö} = \text{tung} \cdot \text{käidud tee ehk } 1500 \cdot 15 = 22\,500 \text{ mkg.}$$

Võimsus on töö, jagatud ajaga:

$$\text{võimsus} = \frac{\text{töö}}{\text{aeg}} \text{ ehk } \frac{22\,500}{30} = 750 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} \text{ ehk } \frac{750}{75} = 10 \text{ hj.}$$

Näide 2. Auto liigub kiirusega 72 km tunnis; veojõud on 120 kg. Leida auto poolt arendatud võimsus.



Joon. 267. Uhe hobujõu suuruse võimsuse arendamiseks peab inimene tõstma 75 kg 1 sek jooksul 1 m kõrgusele.

Meil on teada: kiirus 72 km tunnis = 20 m sekundis; veotung 120 kg.

Võimsus on ühe sekundi jooksul tehtud töö. Auto sõidab kiirusega 20 m/sek; see tähendab, et ta sõidab ühe sekundi jooksul 20 meetrit.

Ühe sekundi jooksul tehtud töö ehk võimsus võrdub  $120 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{sek}} = 2400 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}}$  ehk  $\frac{2400}{75} \text{ hj.} = 32 \text{ hj.}$

Pidada meeles selle näite lahendamisel leitud võrrand:

**Võimsus võrdub liikumapaneva tungi (või takistava tungi) ja kiiruse korrutisega.**

$$\text{Võimsus} = \text{tung} \times \text{kiirus.}$$

Kui väljendame tungi kg-des ja kiirust m/sek-tes, siis saame võimsuse mkg/sek-tes.

**Ülesanne 1.** Aurujõul töötav ramm tõstab vaiade ramminuia 0,8 m kõrgusele, tehes seda 12 korda minutis. Leida rammi võimsus, kui ramminuia raskus on 340 kg.

Vastus: Ligikaudu 0,7 hj.

**Ülesanne 2.** Hobuse võimsus on 0,5 hj. Kui pika aja jooksul hobune käib ära 1 km, kui vankri hõõrdumistakistus on 15 kg?

Vastus: 6 min. 40 sek.

**Ülesanne 3.** Auto sõidab maanteel kiirusega 54 km tunnis; hõõrdumistakistus on 180 kg. Leida võimsus.

Vastus: 36 hj.

**Ülesanne 4.** Treipingil töödeldakse valgevasest detaili; treimise kiirus on 0,6 m/sek; treitera lõiketung on 80 kg. Leida treipingi kasulik võimsus

Vastus: 64 hj.

§ 122. **Kahjulikud takistused.** Maapinda mööda liikuvad kehad kohtavad alati teatud takistust. Õhk takistab lennukite ja kiiresti sõitvate autode liikumist. Vesi takistab aurikute, allveelaevade ja teiste veesõidukite liikumist. Igaüks teab, kui raske on joosta vees. Ka üksteise peal liikuvad tahked kehad takistavad üksteise liikumist. Takistavaid tunge peavad ületama laagrites tiirlevad teljed, rööbastel veerevad rattad, treipinkide supordid ja paljud teised kehad. Et keha liiguks ühtlaselt, tuleb ületada liikumist takistavat tungi. Takistav tung võrdub ühtlaselt liikuva masina võimsuse ja liikumiskiiruse jagatiseaga:

$$\text{takistav tung} = \frac{\text{võimsus}}{\text{kiirus}}$$

Näide. Kahemootoriline kiirpommitaja lendab kiirusega 540 kilomeetrit tunnis; ta mootorite koguvõimsus on 2000 hobujõudu. Leida takistav tung.

Meil on teada: kiirus 540 km tunnis = 150 m sekundis.

Võimsus on 2000 hj. =  $2000 \cdot 75 = 150\,000 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}}$ . Takistav

tung võrdub võimsuse ja kiiruse jagatisega:  $\frac{150\,000}{150} = 1000$  kilogrammi.

Kahemootorilise pommitaja lendu takistav tung on 1000 kg. Pommitaja mootorid peavad arendama 1000 kilogrammi suurust veotungi. Järelikult peab kumbki mootor arendama 500 kg suurust tungi, et lennuk liiguks ühtlaselt.

**Ülesanne 1.** Hõõvelpingi võimsus on 6 hj. Leida takistav tung, kui hõõveldamise kiirus on 20 sentimeetrit sekundis.

Vastus 2250 kg.

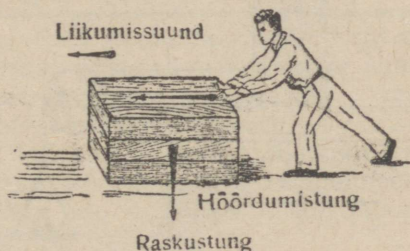
**Ülesanne 2.** Jalgrattur arendab 0,1 hj. suurust võimsust. Leida takistav tung, kui kiirus on 18 kilomeetrit tunnis.

Vastus: 1,5 kg.

### § 123. Hõõrdumine.

**Takistavat tungi, mis tekib tahke keha liikumisel mööda teise tahke keha pinda, nimetatakse hõõrdumistungiks.**

Hõõrdumine tekib võlli liikumisel laagrites, ratta veeremisel mööda teed, kolvi liikumisel silindris jne.



Joon. 268. Hõõrdumistung on suunatud liikumise vastu.

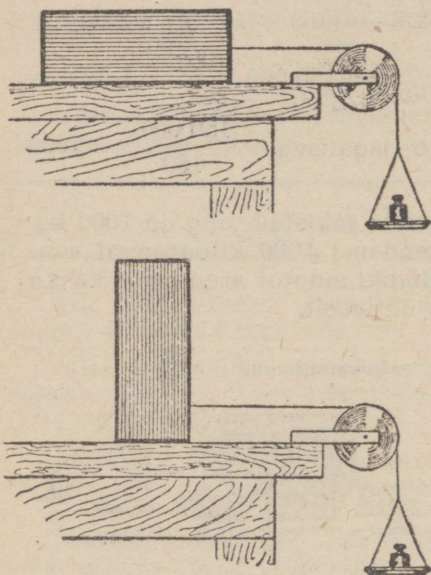
**Hõõrdumistung on alati suunatud liikumise vastu.**

Seda selgitab joonis 268. Et keha liiguks ühtlase kiirusega, näiteks et vagun veereks rööbastel ühtlase kiirusega, tuleb ületada hõõrdumistung.

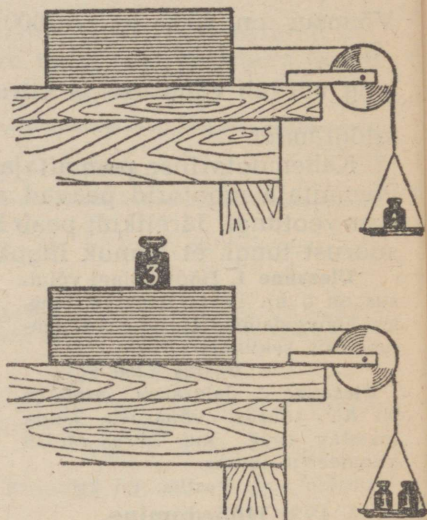
Hõõrdumine on allutatud kindlaile seadustele.

Hõõrdumine kuivade määrimata pindade vahel allub teistele seadustele kui hõõrdumine määritud pindade vahel.

Määrimata pindade hõõrdumise uurimiseks võib kasutada joonisel 269 kujutatud seadeldist. Rõhtsale lauale võib asetada mitmesugustest ainetest valmistatud risttahukaid. Iga risttahuka külge kinnitatakse nõor, mis jookseb ploki peal ja mille



Joon. 269. Hõõrdumistung ei olene hõõrduvate pindade suurusest.



Joon. 270. Hõõrdumistung on seda suurem, mida suurem on raskus.

teises otsas on kauss vihtide jaoks. Kausile pannakse nii palju vihte, et risttahukas hakkaks ühtlaselt liuguma mööda aluspinda, kui koputame tasakesi sõrmega vastu lauda. Vihtide kaal võrdub seejuures hõõrdumistungiga.

Risttahuka võib asetada ükskõik millisele küljele: kas laiemale või kitsamale (joon. 269). Risttahuka liugumiseks vajaliku tungi suurus on ikka sama, vaatamata sellele, missuguse küljega risttahukas lebab laual.

Võime anda risttahukale mitmesuguse algkiiruse (tõugates risttahukat sõrmega). Risttahuka ühtlaseks liikumiseks on ikka vaja sama suurt tungi, olenemata kiiruse suurusest.

Võime asetada risttahuka peale ka koormuse. Sel juhul peame panema kausile nii mitu korda rohkem vihte, kui mitu korda suureneb risttahuka kaal koos pealeasetatud koormusega (joon. 270).

Hõõrdumistungi ja koormatud risttahuka kaalu suhe on jääv.

Hõõrdumistungi ja kaalu suhet nimetatakse **hõõrdumisteguriks**:

$$\text{hõõrdumistegur} = \frac{\text{hõõrdumistung}}{\text{kaal}}$$

Seega on määrimata pindade hõõrdumiseseadused järgmised:

1. Hõõrdumistung ei olene hõõrduvate kokkupuutepindade suurusest.
2. Hõõrdumistung ei olene liikumise kiirusest.
3. Kahe antud pinna hõõrdumistegur on jääv suurus.

Hõõrdumistegur näitab, kui mitu korda hõõrdumistung on väiksem kui hõõrduvaid pindasid üksteise vastu suruv tung.

Hõõrdumistungi suurus oleneb kokkupuutepindade materjalist. Erinevaist materjalidest pindade vahel on hõõrdumistung harilikult väiksem kui samast materjalist pindade vahel. Seetõttu tehakse laagrite hõõrdumise vähendamiseks telg ja laagrikauss eri ainest: telg — terasest, aga laagrikauss — pronksist, messingist või babiidist.

Toome järgmises tabelis mõne aine hõõrdumisteguri.

### Hõõrdumistegurid.

	Hõõrdumistegur
Raudteevagunid . . . . .	0,005
Tramm . . . . .	0,008
Auto asfaldil . . . . .	0,01
Taluvanker maanteel . . . . .	0,12
Regi lumel . . . . .	0,02
Raud raual (määrimatult) . . . . .	0,3
Raud pronksil (määrimatult) . . . . .	0,18
Raud tammepuidul (määrimatult) . . . . .	0,5
Nahkrihm rihmaseibil . . . . .	0,56

**Näide 1.** Leida veduri veojõud täislaaditud kaheteljelise raudteevaguni vedamisel. Vaguni enda kaal on 6 t; laadungi kaal on 16 t.

Tabelist leiame, et hõõrdumistegur on 0,005. Antud juhul on vaguni kaal (ühes laadungiga 22 t) rõhumistungiks, mis surub hõõrduvad kehad üksteise vastu. See tung surub vagunit rööbaste vastu. Hõõrdumistung võrdub rõhumistungi ja hõõrdumisteguri korrutisega:  $0,005 \cdot 22 = 0,11$  t ehk 110 kg. Võiks arvata, et kahe inimese pingutustest peaks piisama vaguni lükkamiseks; see on õige, kuid kaks inimest ei suuda vagunit paigalt nihutada, kuna selleks on vaja ületada hõõrdumist rataste veeremisel ja peale selle veel vaguni inertsi.

**Ulesanne 1.** Kui suurt tungi ületab hobune, kes veab 460 kg raskust vankrit mööda maanteed?

Vastus: 55,2 kg.

**Ulesanne 2.** Kui suur on hõõrdumine raudvõlli ja pronksist laagrikausi vahel, kui rõhumine teljele on 800 kg ja telg on määrimata?

Vastus: 144 kg.

**§ 124. Hõõrdumine määritud pindade vahel.** Hõõrdumine määritud pindade vahel on palju väiksem kui hõõrdumine määrimata pindade vahel.

Seetõttu määratakse hõõrduvaid pindasid, kui on vaja vähendada hõõrdumistungi.

Määre peab olema küllalt vedel, et määritud pinnad libiseksid kergelt üksteise peal. Aga määre peab olema ka küllalt sitke (viskoosne), et ta ei voolaks määritud pindade vahelt välja.

Määrdeõlidena tarvitatakse nõndanimetatud mineraalõlisisid (mida saab naftast), riitsinusõli, seedriõli ja kondiõli.

Kõige paksemaks mineraalõliks on tavott; sellele järgnevad raske- ja kergeõlid.

Mida jämedamalt on töödeldud masina määritav detail, seda paksemat määret tuleb tarvitada selle määrimiseks.

Lennukimootoreid määratakse tavaliselt riitsinusõliga. Täpsete mõõduriistade (näiteks tahhomeetrite ja kellade) õlitamiseks võetakse seedriõli või kondiõli.

Määre ei tohi sööbida määritud pindadesse.

Hõõrdumise kohta määritud pindade vahel on järgmised seadused:

1. Hõõrdumine määritud pindade vahel on seda suurem, mida suurem on kokkupuutepind.
2. Hõõrdumine määritud pindade vahel suureneb kiiruse kasvamisega.

See tähendab: mida suurem on laagrite ja telje kokkupuutepind, seda suurem on hõõrdumistung.

Mida kiiremini telg tiirleb (näiteks, mida suurem on raudteerongi kiirus), seda suurem on hõõrdumistung.

§ 125. **Hõõrdumine veeremisel.** Hõõrdumistung tekib ka juhul, kui üks keha veereb mööda teist keha, näiteks kui ratas veereb rööbastel.

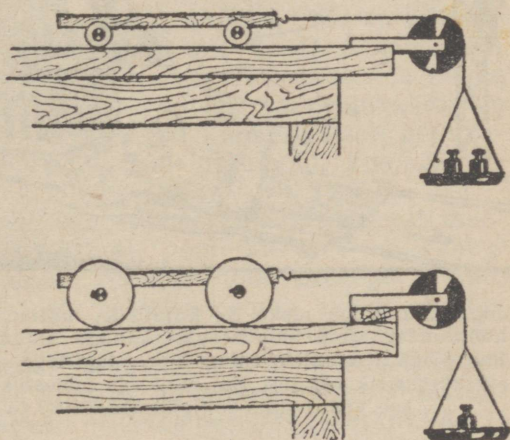
**Hõõrdumine veeremisel on palju väiksem kui hõõrdumine liugamisel.**

Et uurida hõõrdumistungi veeremisel, tarvitatakse joon. 271 kujutatud seadeldist.

Mida suurem on veereva keha raadius, seda väiksem on hõõrdumistung. Mida suurem on vankri või vangun ratsas, seda väiksem on hõõrdumistung. Just sellepärast varustataksegi suurtükid hästi suurte ratastega.

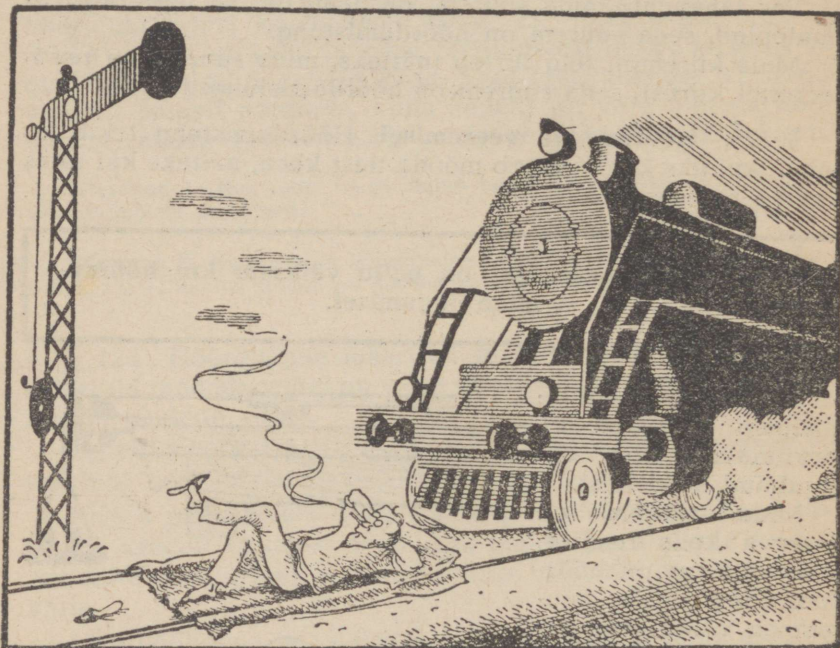
§ 126. **Kasulik ja kahjulik hõõrdumine.** Paljudel juhtudel on hõõrdumistung väga kasulik. Tänu hõõrdumisele oleme suutelised

hoidma käes mitmesuguseid esemeid: klaase, keppe, pliiatseid, tange jne. Me ju teame, kui raske on kinni hoida vastpüütud



Joon. 271. Hõõrdumistung veeremisel on seda väiksem, mida suurem on veereva keha raadius.

kala, mis on alles märg, sest et hõõrdumine on sel juhul väike. Hõõrdumine jalataldade ja maapinna vahel võimaldab meil käia ilma suurema vaevata. Tuletame meelde, kui raske on liikuda jäätanud teel, kus hõõrdumistung on liiga väike. Ebaküllaldase hõõrdumistungi puhul ei saaks sõita ei autod ega raudteerongid. Kui õli on sattunud veduri rataste alla (mis-



Joon. 272. Väga raske on kujutleda, milline oleks olukord, kui ei oleks hõõrdumist. Meid ümbritsevate kehade liikumine oleks üpris eriskummaline. Väga raske oleks toime tulla mingi tööga — kokkupandud osad kukuksid kergesti koost jne. Kui meil siis õnnestukski ehitada vedurit, ei saaks see vedur sõita tolligi maad, kuigi ta töötaks täie auruga.

tõttu väheneb hõõrdumine rataste ja rööbaste vahel), siis hakkab vedur „puksima“: rattad pöörlevad küll, aga ei veere, ja vedur jääb seisma.

Hõõrdumist kasutatakse mitmesuguste pidurite konstruktsioonides. Hõõrdumisel põhinevad ka rihm-ajamid. Seinasse taotud nael või poldile kruvitud mutter püsivad paigal samuti hõõrdumise tõttu.

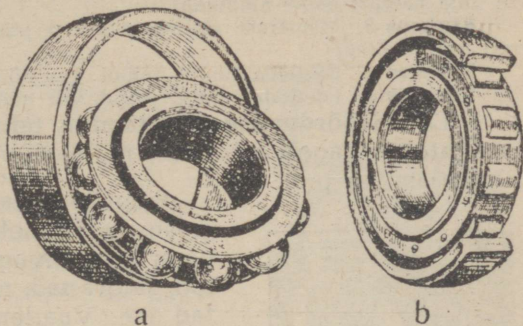
Isegi kõige rikkama kujutlusvõimega inimene vaevalt suudab endale ette kujutada, kuidas näeks välja maailm, kui hõõrdumistungi ei oleks üldse olemas. Ükski keha ei saaks püsida paigal. Iga liikumahakanud keha liiguks igavesti edasi. Heli ei vaibuks õhus, vaid kõlaks lõpmata edasi. Merelainetus ei vaibuks kunagi. Ka tuul ei vaibuks iialgi.

On aga palju niisuguseid juhtumeid, kus hõõrdumistung on kahjulik. Masinate käivitamiseks vajalikust energiast kuulub tunduv osa alati hõõrdumise ületamiseks. Sellest energiaosast ei ole mingisugust kasu.

Näiteks mingit masinriista ringiajava elektrimootori energia ei kulu mitte ainult kasulikuks tööks, vaid ka hõõrdumise ületamiseks masina üksikute osade vahel. Automootori veotung kuulub mootori sisehõõrdumise ületamiseks ja nende hõõrdumiste ületamiseks, mis tekivad laagrites, ülekandes ja mittevedavate rataste (esirataste) kokkupuutumisel maapinnaga. Võib loetleda veel palju teisi juhtumeid, kus hõõrdumine on kahjulik.

Hõõrdumise vähendamiseks tarvitatakse kõigepealt määrimist. Teiseks asendatakse igal pool, kus see on vähegi võimalik, liuguv hõõrdumine veereva hõõrdumisega. Rattad täidavad sama otstarvet. Aga ratastes esineb ikkagi liuguv hõõrdumine, nimelt telje ja laagrikausi vahel. Et asendada ka seda liugumist veeremisega, kasutatakse kuul- ja rull-laagreid (joon. 273). Selline laager koosneb tavaliselt kahest terasrõngast, millede vahel asetsevad erilistes pesades teraskuulid või rullid. Väline rõngas kinnitatakse liikumatult rattarummu sisse, sisemine pressitakse telje otsa. Ratta tiireldes veerevad kuulid rõngaste vahel. Hõõrdumine on kuullaagris kuni sada korda väiksem kui tavalises laagris. Kuullaager vajab ka vähem määrimist. Aga ta on tundlikum löökide suhtes, kuna haprad kuulikesed võivad mõraneda.

Autode, jalgrataste, mootorrataste ja mõnikord ka vagunite



Joon. 273. a — kuullaager; b — rull-laager.

rattad jooksevad kuullaagritel. Kuullaagreid tarvitatakse peale selle veel paljudes mootorites ja masinriistades.

**Küsimus 1.** Kas lennukirataste hõõrdumine vastu lennuvälja on kasulik või kahjulik: 1) startimisel, 2) maandumisel?

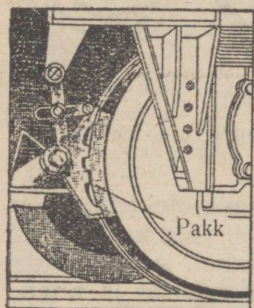
**Küsimus 2.** Mispärast asetatakse rullikuid raskete esemete alla, mida on vaja paigast paika nihutada?

**Küsimus 3.** Mispärast sülitab puusepp pihku, enne kui ta kirvevarrest kinni võtab?

**Küsimus 4.** Loetleda tuntud juhud, kus hõõrdumistung on kasulik.

**Küsimus 5.** Loetleda tuntud juhud, kus hõõrdumistung on kahjulik.

§ 127. **Hõõrdumise kasutamine tehnikas.** Hõõrdumistungi kasutatakse sageli tehnikas, näiteks pidurites, hõõrde- ning rihm-ajamites jne.

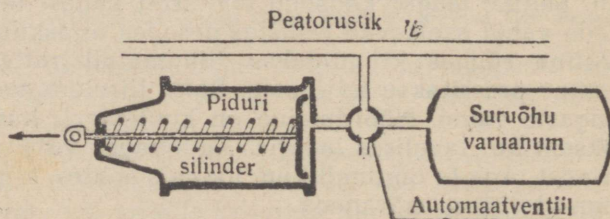


Joon. 274. Raudteevaguni piduripakud surutakse vastu rattapöida. Pakkude ja rattapöia vaheline hõõrdumine peatab rongi.

Pidurite otstarbeks on mitmesuguste masinate ja mehhanismide peatamine, nagu trammivagunid, trolleibused, autod, jalgrattad, mõnesugused masinriistad jne. Vaatleme siinkohal raudteerongide ja autode pidurite ehitust.

Raudteerongi õhkpidurid. Raudteerongi piduri hõõrduvaiks osadeks on kaks malmpakku, mis surutakse kahelt poolt pidurdatava ratta pöia vastu (joon. 274). Pidurdamine toimub suruõhu jõul. Erilise masina poolt käivitav õhupump pumpab õhku tugevate seintega terasreservuaari. Kui avame piduri kraani, siis läheb reservuaaris leiduv suruõhk piduri silindrisse ja paneb liikuma kolvi, mis presib piduripakud ühendusvarraste abil

vastu rattapöidasid. Pidurduse lõpetamiseks tuleb sulgeda suruõhu juurdepääs piduri silindrisse ning välja lasta seal leiduv õhk. Siis pakkude surve lakkab ja rattad võivad jälle vabalt veereda (joon. 275). Selliseid pidureid kasutatakse raudteeron-



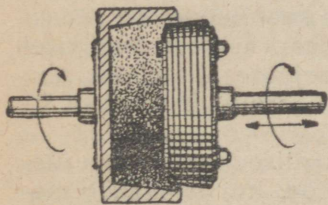
Joon. 275. Õhkpiduri skeem.

gidel ja allmaaraudteel. Veduril on väike aurumasin, mille abil töötab pump õhu pumpamiseks reservuaari. Vedurilt läheb suruõhk erilise vooliku kaudu vagunitesse. Te olete kindlasti tähele pannud, et jaamas seisev vedur „ähib“; selle põhjuseks on väikese aurumasinaga töö, mis surub õhku reservuaari.

Autopidur koosneb õõnsast te-  
rastrumlist, mis on liikumatult ühenda-  
tud rattaga (joon. 276); trumlis on kaks  
malmpakku. Need pakud on liigendite  
abil kinnitatud telje külge, millel ratas  
tiirleb. Paku otste vahel on nükk. Pi-  
duritrumli sisemine pind on kaetud sit-  
ke riidega, mis on vaskniitidega läbi  
põimitud. See on nõndanimetatud „ferad-  
doo“ riie. Feradoo ülesandeks on hõõr-  
dumist suurendada.

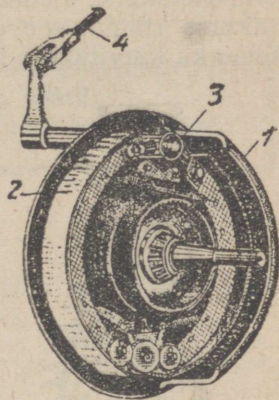
Kui on tarvis auto peatada, siis su-  
rub autojuht alla piduri jalgpedaali või  
tõmbab käsipiduri kangi. Seejuures  
nükk pöörduv, lükkab pakud üksteisest  
eemale ja surub nad piduritrumli vastu.

Hõõrdumine piduritrumli ja pakku-  
de vahel peatab auto. Mida suurema  
jõuga pidurdatakse, seda kõvemini su-  
rutakse pakud trumli vastu ja seda



Joon. 277.  
Hõõrdesidur. Hõõrdumise  
kaudu üks võll paneb tiir-  
lema teise võlli.

Oletame, et joonisel kujutatud siduri vasak koonus on ühen-  
datud mootorivõlliga, parem koonus aga on hammasratas-  
ajami kaudu ühendatud tagaratastega. Kui nüüd lükkame ühe



Joon. 276. Autopidur:  
1 — piduritrummel; 2 —  
pakud; 3 — nükk; 4 —  
pidurikang.

suurem on hõõrdumistung. Tuleb  
hoolega jälgida, et õli ei satuks pi-  
duritrumli sisse.

Hõõrdesidurit kasutatakse  
siis, kui tekib vajadus ajutiselt ühen-  
dada kaks tiirlevat võlli (joon. 277).  
Hõõrdesidurit tarvitatakse näiteks  
automootori ühendamiseks taga-  
ratastega.

Üksteisega ühendatavate võllide  
otstes on kaks koonust. Need kaet-  
takse sitke materjaliga, millel on  
suur hõõrdumistegur. Üks koonus lä-  
heb tihedalt teise koonuse sisse.

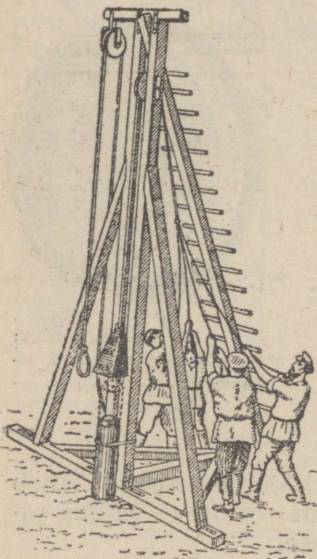
koonuse tihedalt teise koonuse sisse, siis paneb tiirlev vasakpoolne koonus hõõrdumise kaudu liikuma ka parempoolse koonuse — ja auto rattad hakkavad liikuma.

Rihm-ajam põhineb samuti hõõrdumisel. Mootori rihmaseibile ja selle mootori poolt käivitatava masina rihmaseibile asetatakse ajamirihm. Mootori rihmaseibi tiirlemine paneb liikuma rihma; see omakorda paneb hõõrdumise kaudu tiirlema ka käivitatava masina rihmaseibi. Ajamirihma puksimise ärahoidmiseks tarvitatakse vahel peenendatud kampolit (viulivaiku), mida raputatakse rihma siseküljele. Kampol on vaigusaadus; tal on väga suur hõõrdumistegur.<sup>1</sup>

§ 128. **Energia.** Katsume vastata järgmisele küsimusele: kas igasugune keha võib teha tööd?

Iga terve inimene võib töötada, kuid tema töövõimel on piirid. Arvestatakse, et kaheksatunnise tööpäeva vältel võib tööline teha mitusada tuhat meeterkilogrammi tööd.

Maja katusele tõstetud kivi võib kukkudes sooritada teatud hulga tööd. Ent sama kivi ei saa teha mingisugust tööd, kui ta lebab maas ja tal puudub võimalus langeda madalamale. Raske keha langemist rakendatakse näiteks vaiade rammimisel (joon. 278). Seejuures ületatakse pinna takistus; järelikult tehakse ka tööd.



Joon. 278. Allalangev rammimäki teeb tööd.

Hüdroelektrilise jaama paisu ülemisel äärel olev vesi võib sooritada tööd, kui ta langeb madalamale. See töö paneb liikuma elektri jaama turbiini. Sama vesi ei saa aga teha mingit tööd, kui ta on paisu alumisel äärel. Vasar teeb tööd sel momendil, kui ta taob naela seinasse. Liikumatu vasar ei tee aga mingit tööd. Auto, mille paagid on täidetud bensiiniga, võib teha tööd selle bensiini põlemise kull. Kui aga võtame bensiini põlemisest tekkinud aineid (vee-

<sup>1</sup> Eriti nahkrihmadele väga kahjulik, seepärast tarvitamiseks keelatud. (Tõlkija.)

auru, süsihappegaasi ja muud), siis nendega ei osutu võimalikuks mingisugust tööd teha. Liikuv õhk teeb kasulikke tööd, kui ta ajab ringi tuulemootorit (joon. 279). Suurtükilasu momendil paisuvad püssirohugaasid kiiresti ja paiskavad torust välja raske mürsu; seega teevad püssirohugaasid tööd (joonis 280).

**Kehad, mis võivad teha tööd, omavad energiat.**

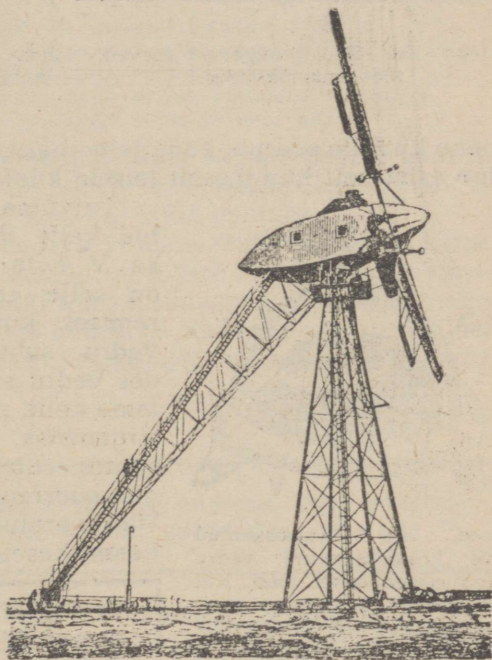
**Keha teeb tööd oma energia kulul.**

**Keha energia kadu võrdub keha poolt sooritatud tööga.**

Energiaat mõõdetakse samade ühikutega nagu töödki, see on meeter-kilogrammidega.

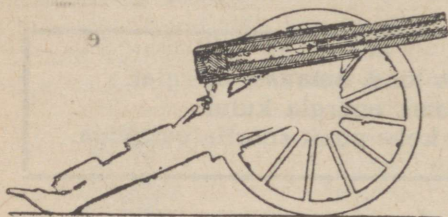
Töö võib aset leida ainult kahe keha vastastikuse mõju puhul: üks keha teeb tööd teise keha suhtes. Meie poolt toodud näiteis kivi sooritas tööd, langes hooga vastu maad. Vesi tegi tööd elektrijaama turbiinide suhtes. Bensiin põles automootoris ja tegi tööd auto suhtes jne.

Teeme järgmise katse: kallutame kõrvale niidiotsas rippuva teraskuulikese (joonis 281). Käsi teeb kuulikese suhtes teatavat tööd, ületades kuulikese raskustungi. Kuulikese energiataagavara suureneb seejuures ja meie energia väheneb, kuigi töö väiksuse tõttu see energia kahanemine on tähtsusetu (kui me oleksime tõstnud väikese kuulikese asemel raske kaalupommi viiendale majakorrale,

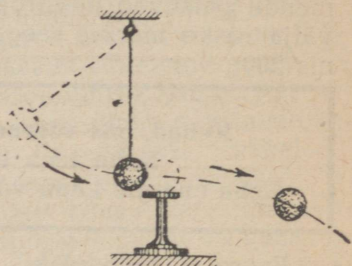


Joon. 279. Liikuv õhk teeb tööd.

siis me oleksime tundnud väsimust: väsimustunne sõltub meie energiakulutusest). Laseme kuulikese lahti; ta hakkab liikuma ja tõukab teist kuulikest, mis seisab aluse peal (joon. 281); esi-

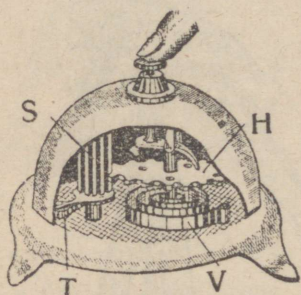


Joon. 280. Püssirohugaasid teevad tööd suurtükitorus.



Joon. 281. Liikuva teraskuulikese energia kandub pärast tõuget liikumatule kuulikesele.

mene kuulike peatub, kuna teine hakkab liikuma. Energia kandub esimeselt kuulikeselt teisele kuulikesele.



Joon. 282. Kokkusurutud või kokkukeeratud vedru teeb sirgenemisel tööd. Kui surume kellanuppu, hammasrattake H vallandub. Vedru V keerdub lahti ja paneb tiirlema hammasratta H, mis keerab võlli S ühes haamrikese T.

Tutvume joonisel 282 kujutatud kella tööga. Üleskeeratud vedru V evib teatud energiat. Vedru on selle energia saanud üleskeeramisel, kuna siis me sooritasime vedru suhtes teatud töö, ületades vedru elastset vastupanu. Vajutame kella nuppu. Vedru vallandub; sirgenedes ta sooritab haamrikese suhtes teatud töö. Haamrikese energia suureneb: ta hakkab liikuma. Üleskeeratud vedru energia kandub haamrikesele.

**Teatud kõrgusele tõstetud keha energiat ja kokkusurutud vedru energiat nimetatakse potentsiaalseks ehk asendi-energiaks.**

Teatud kõrgusele tõstetud keha püüab raskustungi tõttu maha langeda. Kui vallandame selle keha, langeb ta maha ja sooritab teatava töö.

Kokkusurutud vedru püüab sirgeneda. Kui vabastame vedru, teeb ta tööd.

Kokkusurutud vedru energiat kasutatakse kellade, gram-mofonide, üleskeeratavate mänguasjade ja muude automaat-seadmete liikumapanemiseks.

**Liikuva keha energiat nimetatakse kineetiliseks ehk liikumis-energiaks ehk hooaks.**

Liikuv keha (näiteks püssikuul või masina hooratas), mis põrkab mõne takistuse vastu, mõjub sellesse takistusse teatava jõuga ja teeb seejuures tööd.

**Küsimus 1.** Nimetada kineetilist energiat omavaid kehi.

**Küsimus 2.** Nimetada potentsiaalset energiat omavaid kehi.

**Küsimus 3.** Missuguse energia kulul töötab taskukell?

**Küsimus 4.** Missuguse energia kulul töötab vihtidega seinakell?

**Küsimus 5.** Missuguse energia kulul taotakse nael seina?

§ 129. **Energia ülekandumine ühelt kehalt teisele soojuse näol.** Tähtis on vastata järgmisele küsimusele: kuhu jääb liikuva keha kineetiline energia, kui keha peatub?

Selle küsimuse vastamiseks võtame abiks järgmise katse: asetame pliitüki kõvale alusele ja lööme ta pihta mitu korda vasaraga. Katsudes pliitükki käega, tunneme, et ta on soojenenud. Peopesi üksteise vastu hõõrudes tunneme samuti soojust. Meenutame ka seda, et laskudes käsipidi mööda köit võib kergesti käed ära kõrvetada.

Nii siis:

**Tõukel või hõõrdumisel kulutatud energia läheb hõõrdumise või tõukumise keha soojendamiseks.**

Seetõttu lihvimisel, treimisel, puurimisel, saagimisel jne. soojenevad niihästi tööriist kui ka töödeldav ese. Mõnikord tuleb neid koguni veega jahutada.

Vabrikutes ja tehastes tarvitatavate mootorite energia kulub suuremalt osalt hõõrdumise ja löökide peale. Näiteks suure mehaanilise töökoja masinriistu pannakse liikuma elektrimootorite abil, millede koguvõimsus on palju tuhandeid hobujõude. Nende mootorite hiiglasuur energia kulub

töökojas toodeldavate esemete töötlemiseks. Mehaanilise töökoja töö väljendub selles, et seal valmistatakse polte, mutreid ja muid tooteid valu- ja terasepankadest, latt-terasest, ümar-terasest ja teistest materjalidest. Elektrimootorite kogu töö kulub hõõrdumise ületamiseks puurimisel, treimisel ja muil töötlemisviisidel ning ka löökideks stantsimisel ja sepistamisel. Lõpparves kulub peaaegu kogu see energia riistade, tööriistade ja töötluseseemete soojendamiseks.

See soojendamine on nii tunduv, et paljud mehaanilised töökojad ei vaja kütmist isegi suurima pakasega. Puuvilla-ketrus-vabrikuis tuleb aga hoolitseda mitte kütmise, vaid jahutamise eest, eriti suvel (jahutamist saavutatakse ventilatsiooni teel).

**Küsimus 1.** Katsuda seda kohta müüris, mille vastu hetke eest on pörganud vintpüssikuul. Müür on selles kohas soe; seletada seda.

**Küsimus 2.** Missugune laager kuumeneb enam: kas kuullaager või tavaline laager?

**Küsimus 3.** Miks läheb vagunipuks põlema, kui sinna satub liiva?

§ 130. **Energia liigid.** Loetleme tähtsamaid energia liike.

1. **Kineetiline energia.** See energia on kõigil liikuvail kehadel, nagu näiteks tiirlevail rattail ja hoorattail, lendavail kuulidel ja mürskudel jne.

2. **Potentsiaalne energia.** See energia on kõigil kehadel, milledesse mõjuvad tungid ja mis võivad hakata liikuma pärast takistuste eemaldamist, näiteks kokkusurutud vedrud, maapinnast kõrgemal asuvad kehad jne.

Potentsiaalset ja kineetilist energiat nimetatakse sageli ühise nimetusega mehaaniline energia.

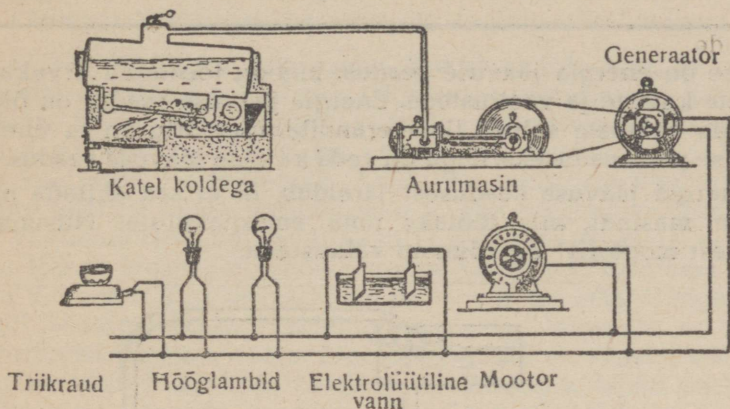
3. **Sisemine energia.** Sisemist energiat omavad eranditult kõik kehad, aga erinevas hulgas. Palju sisemist energiat on kuumal aurul, tulel, kütteainetel, laetud akumulaatoril. Sisemise energia liigiks on ka nõndanimetatud keemiline energia, mis vabaneb näiteks kütteaine põlemisel, püssirohu plahvatamisel, väähelhappe lahjendamisel veega ja paljude teiste keemiliste reaktsioonide puhul.

4. **Elektriline ja magnetiline energia.** Seda energiat evivad elektriga laetud või magnetiseeritud kehad ning elektrivoolu kandvad juhtmed.

5. **Kiirguv energia.** See on valguskiirte energia.

Iga energialiik võib muunduda teiseks energialiigiks. Näiteks see energia, mida me saame elektrilambilt valguse näol, muundub mitu korda, enne kui ta jõuab meie toani (joon. 283):

a) kütteaine põleb ära aurukatla koldes; kütteaine keemiline energia muundub koldegaaside sisemiseks energiaks; b) koldegaaside energia kandub aurukatlas olevale veele; vesi aurustub; c) veeaur läheb auruturbiini; siin muundub auru sisemine energia tiirleva turbiiniratta mehaaniliseks energiaks; d) auru-



Joon. 283. Energia muundumine.

turbiin paneb liikuma elektrimasina (generaatori); generaator muundab mehaanilise energia elektriliseks energiaks; e) elektrienergia läheb juhtmete kaudu hõõglampi ja kuumutab lambi metallniidikest; seejuures muundub elektrienergia metallniidikeses osalt soojus-energiaks, osalt kiirguvaks energiaks, see tähendab valguseks. Valguse kiired soojendavad kehi, mida nad valgustavad. Elektrilambi kiirte soojendav mõju ei ole suur. Me võime tunda seda soojendavat mõju, kui hoiame kätt mõne sentimeetri kaugusel lambist. Soojendav mõju pole suur, kuna kiirguva energia hulk on antud juhul väike.

Aga me ju teame, kui soojad on päikesekiired. Peaaegu kõik maakeral leiduvad energiavarud on tekkinud päikesekiirte energia mõjul.

**Ulesanne.** Jälgida energia muundumist järgmistel juhtudel: a) püsspauku puhul, b) tuletõrjepritsi töötamisel, c) vee langedes koskes.

**Küsimusi:** Mispärast lendab käialt sädemeid?

Mispärast on treitava metalleseme laastud tulised?

Seletada väljumihkli tööd.

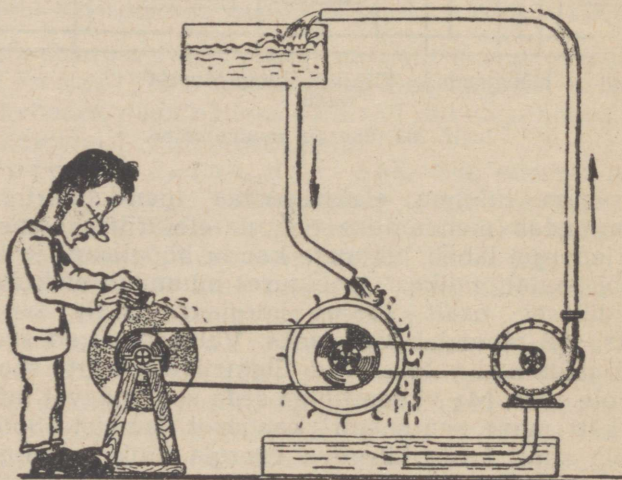
Missuguseid energialiike on pommil, mis ripub lendava lennuki küljes?

§ 131. **Energia jäävuse seadus.** Kõigil energiamuundustel on maksev väga tähtis ja lihtne seadus:

**Energia ei hävi iialgi ega teki iialgi iseenesest. Ta ainult muundub ühest liigist teise.**

See on energia jäävuse seadus, mis on tõestatud arvukate täpsete katsete ja vaatlustega. Energia jäävuse seadus on õige kõikide nähtuste suhtes ilma erandita. Seetõttu on ta üheks looduse põhiseaduseks, nagu on seda ka aine jäävuse seadus.

Energia jäävuse seadusest järeldeb, et ei saa ehitada niisugust masinat, mis töötaks ilma energiakuluta. Niisugust „igavest mootorit“ on võimata valmistada.



Joon. 284. Kas on võimalik ehitada sellist igavest mootorit?

**Küsimus 1.** Kas saab ehitada dünamost ja elektrimootorist koosneva seadme, kus dünamo varustaks mootorit elektriga, mootor aga ajaks dünamot ringi?

**Küsimus 2.** Kas saab ehitada vesiratta, mis paneks liikuma pumba, kusjuures pump annaks vett ratta ümberajamiseks (joon. 284)?

**Küsimus 3.** Kui lööme vasaraga tükki terast, pörkab vasar tagasi. Kui aga lööme tükki pliid — vasar tagasi ei pörka. Mis kuumeneb löögi mõjul enam: kas teras või plii?

**Küsimus 4.** Mahakukkunud pall pörkab mitu korda tagasi. Miks on aga järgmine tagasipõrge eelmisest nõrgem?

**Küsimus 5.** Miks soojenevad gaasid kokkusurumisel ja jahtuvad hõren-damisel?

**Küsimus 6.** Kuidas muundub püstloodis ülesvisatud kivi energia?

§ 132. **Tõhutegur.** Iga masina (treipingi, tali, auto, mootori) töötamisel esineb kahjulikke takistusi — esmajoones hõõrdumine ja õhutakistus. Nende takistuste ületamiseks kulub teatav osa tööst. Seetõttu on masina kasulik ehk tegelik töö väiksem kui kulutatud töö koguhulk. Kahjulike takistuste ületamiseks kulub energia läheb masinaosade ja õhu soojendamiseks.

Vaatleme treipingi tööd. Kasulik töö seisneb selles, et treitera lõikab laastu töödeldava eseme pinnalt. Eemaldame treitera töötootelt. Kas treipinki ringiajav mootor lakkab tegemast tööd? Muidugi mitte. Treipingis on palju liikuvaid osi, mis hõõrduvad üksteise vastu. Mootori energia on vajalik kõikide nende osade kahjulike takistuste ületamiseks. Nüüd asetame treitera jälle tootele, nii et ta hakkaks uuesti lõikama laastu: mootori töö koosneb nüüd kasulikust tööst, mis kulub laastu lõikamiseks, ja kahjulikust tööst, mis kulub kahjulike takistuste ületamiseks.

**Kasuliku töö ja kogu kulutatud töö suhet nimetatakse tõhuteguriks:**

$$\text{tõhutegur} = \frac{\text{kasulik töö}}{\text{kulutatud töö}}$$

Tõhutegur on suhtarv, mida väljendatakse tihtipeale protsentides.

Kooskõlas energia jäävuse seadusega on tõhutegur alati väiksem kui üks (vähem kui 100%). Kasulik töö on kulutatud energiast väiksem.

Tõhuteguri suurus oleneb masina headusest, ta kulumisest, määrimisest jne.

Kui on teada tõhutegur ja kulutatud töö, siis võib leida kasuliku töö suuruse. Kasulik töö võrdub tõhuteguri ja kulutatud töö korrutisega:

$$\text{kasulik töö} = \text{tõhutegur} \times \text{kulutatud töö.}$$

Kui on teada tõhutegur ja kasulik töö, siis võime leida kulutatud töö hulga: kulutatud töö võrdub kasuliku töö ja tõhuteguri jagatisega:

$$\text{kulutatud töö} = \frac{\text{kasulik töö}}{\text{tõhutegur}}$$

Tõhuteguri määramisel võib töö asemel võtta võimsuse. Tõhutegur võrdub kasuliku võimsuse ja kulutatud võimsuse suhtega:

$$\text{tõhutegur} = \frac{\text{tegelik võimsus}^1}{\text{teoreetiline võimsus}}$$

Näide 1. Lifti tõhutegur on 60%. Leida liftimootori töö hulk, kui liftiga tõstetakse 4,2 t suurune raskus 12 meetri kõrgusele.

Meil on teada: käidud tee (tõstekõrgus) on 12 m; tung (koorma kaal) on 4200 kg.

Kasulik töö võrdub tungi ja käidud tee korrutisega:  $4\,200 \text{ kg} \cdot 12 \text{ m} = 50\,400 \text{ mkg}$ .

Kulutatud töö võrdub kasuliku töö ja tõhuteguri jagatisega:  $\frac{50\,400}{0,6} = 84\,000 \text{ mkg}$ .

Näide 2. Leida elektrimootori tegelik võimsus, kui tõhutegur on 75% ja mootori teoreetiline võimsus on 100 hj.

Meil on teada: teoreetiline võimsus 100 hj.; tõhutegur 75% = 0,75.

Tegelik võimsus võrdub teoreetilise võimsuse ja tõhuteguri korrutisega:  $0,75 \cdot 100 = 75 \text{ hj}$ .

<sup>1</sup> Tegelikku võimsust nimetatakse ka efektiivseks võimsuseks.

(Toimetus.)

**Ulesanne 1.** Arvutada järgmistel juhtudel kulutatav tööhulk: a) Tali abil tõstetakse 80 kg raskune koormus 18 meetri kõrgusele; tali tõhutegur on 96%. b) Tõstekraanaga tõstetakse 7 t raskune koorem 12 meetri kõrgusele; tõhutegur on 60%. c) Tungrauaga vinnatakse 0,8 t suurune koorem 25 cm kõrgusele; tõhutegur on 65%.

Vastused: a) 1500 mkg; b) 140 000 mkg; c) ligi 308 mkg.

**Ulesanne 2.** Elektrimootori teoreetiline võimsus on 400 hj. ja mootori tõhutegur on 80%. Kui suur on mootori kasulik töö 5 minuti jooksul?

Vastus: 7 200 000 mkg.

**Ulesanne 3.** Arvutada mootori teoreetiline võimsus, mida vajab tule-tõrjeprits. Prits surub tunnis 288 kuupmeetrit vett 36 meetri kõrgusele; pritsi tõhutegur on 80%.

Vastus: 48 hj.

**Ulesanne 4.** Hobune paneb liikuma veepumba, mille tõhutegur on 80%. Kui suure hulga vett ta pumpab 8-tunnise tööpäeva jooksul 25 meetri kõrgusele?

Vastus: 34,56 kuupmeetrit.

§ 133. **Lihtmasinad.** Lihtmasinaiks nimetatakse füüsikas plokkke, liitplokkke, kange, kiilusid, kruve, tungraudu, pöörasid ja mõningaid muid seadeldisi. Järgnevais paragrahvides tutvume lihtmasinate tööga.

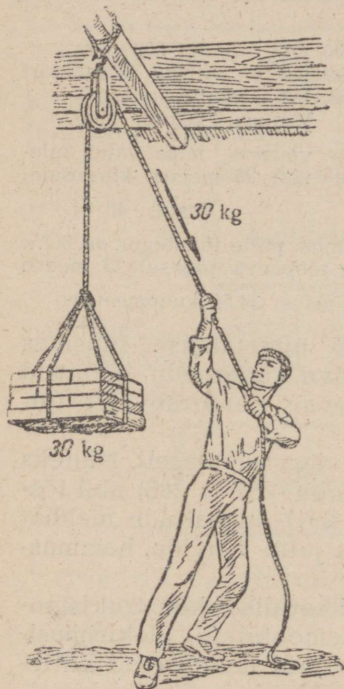
Lihtmasinaid kasutatakse tehnikas väga laialdaselt. Näiteks plokkide (joon. 285 ja 286) ja talide (joon. 287 ja 288) abil tõstetakse raskusi; kangid (joon. 290 ja 291) on paljude mehhanismide osadeks. Eespool oli meil juba juttu kruvide, hammasrataste ja kiilude kasutamiseviisidest.

Peale lihtmasinate on olemas ka keerulise konstruktsiooniga masinaid: aurumasinaid, sisepõlemootoreid, elektrimasinaid jne. Aurumasinad ja sisepõlemootorid muundavad kütta-aine energia mehaaniliseks energiaks. Nende masinate kirjeldus on kümnendas peatükis. Generaatorid muundavad mehaanilise energia elektrienergiaks; elektrimootorid seevastu muundavad elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Elektrimasinaist räägime kaheteistkümnendas peatükis.

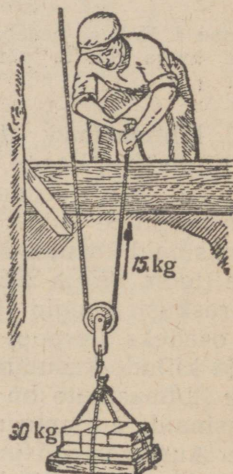
Energia jäävuse seadus õpetab, et energia ei teki iseenesest ega hävi. Seepärast ei saa ükski masin teha tööd, kui ta ei saa energiat väljastpoolt. Iga masin tarvitab energiat.

§ 134. **Plokkid ja talid.** Kinnisplokk (joon. 285) on väike ketas, mille pöid on varustatud uurdega. Ketas ise on kinnitatud pideme külge. Plokist visatakse üle köis, tross või kett, mille ühes otsas ripub koormus. Plokkke kasutatakse koormuste tõstmiseks. Kui tõmmata vabast nõõriotsast, kerkib koormus üles. Plokk muudab tungi suunda. Plokkke kasutatakse sellepärast, et palju kergem on tõmmata allapoole kui ülespoole.

Kui aga ei oleks plokki, me peaksime tõmbama köit, mille otsas on koormus, ülespoole. Kui plokki hõõrdumistakistus ei ole suur, siis võib öelda, et koormust tõstva köie töö võrdub selle tööga, mida teeb köie teist otsa tõmbav tööline. Mõlemad köieotsad käivad ära võrdse tee. Ent töö on tungi ja käidud tee korrutis. Kui mõlemad tööd on ühesuurused ja käidud teed on



Joon. 285. Kinnisplokk ei anna võitu tõmbetungi suuruse poolest.



Joon. 286. Liikuva plokki kasutamisel on tõmbetung pool koormuse raskusest.

võrdsed, siis on ka mõlemasse köieotsasse mõjuvad tungid võrdsed.

**Kinnisplokk ei anna võitu ei käidud tee ega tõmbetungi suuruse poolest.**

Kui riputame plokist ülevisatud köie otstele võrdsed koormused, siis püsivad need koormused tasakaalus.

Liikuv plokk on kujutatud joonisel 286. Koormus ripub liikuva ploki küljes oleva konksu otsas. Kui tõmbame vabast köieotsast, siis läbib see kaks korda pikema tee kui ülespoole tõusev koormus. Ent koormuse tõstmiseks ja köie liikumiseks kulutatud tööhulgad on võrdsed; sellepärast on ka tung, millega peame tõmbama nõõri, koormuse raskusest kaks korda väiksem.

**Liikuva ploki kasutamisel on tõmbetung pool koormuse raskusest.**

On ilmne, et me kaotame käidud tee poolest samapalju, kuipalju võidame tungi suuruse poolest (käsi läbib kaks korda pikema tee kui ülestõstetav koormus; see-eest on koormuse kaal käe poolt arendatud tungist kaks korda suurem). See seadus on kohaldatav igasuguste masinate suhtes. Seda võib lühidalt sõnastada järgmiselt:

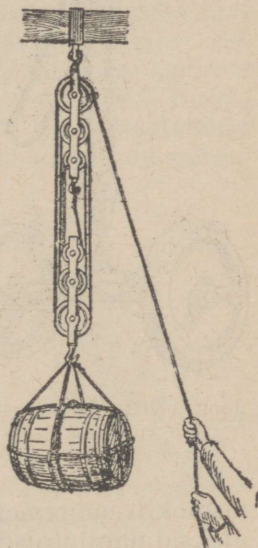
**Tungi poolest saavutatud võit võrdub kaotusega tee pikkuse poolest.**

Liitplokk (tali) koosneb mitmest plokist, mis on kinnitatud ühise pideme vahele (joon. 287).

Kui tõmbame köie vabast otsast, tõusevad kõik liikuvad plokid kõrgemale.

Joonisel 287 kujutatud liitplokil on 3 liikuvat plokki. Koormus käib ära  $2 \cdot 3 = 6$  korda lühema tee kui köie vaba ots. Järelikult on koormuse tõstmiseks vajalik tung koormuse kaalust 6 korda väiksem.

Köie ja ploki, telgede ja laagrite vahel on olemas hõõrdumine. Praktika näitab, et ei tasu valmistada liitplokkke, mis koosneksid rohkem kui kolmest liikuvast plokist: kui kasutame sellest suuremat arvu liikuvaid plokkke, siis on kahjulik hõõrdumine liiga suur ja

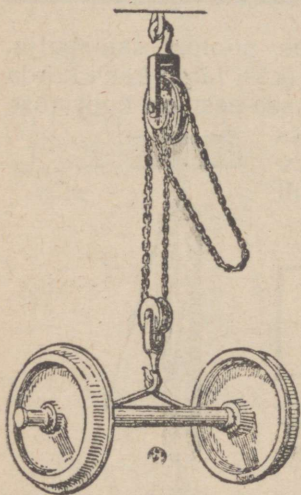


Joon. 287. Liitplokk (tali).

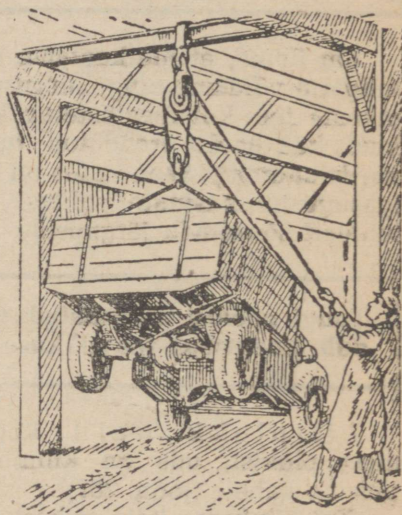
me ei saavuta tungi poolest ikkagi suuremat võitu kui kuuekordset.

Et saavutada tungi poolest suuremat kokkuhoidu, tarvita-takse diferentsiaalplokk (joon. 288).

Diferentsiaalplokk koosneb ühest liikuvast plokist, mille külge on kinnitatud koormus, ja kahest ühisel völlil asuvast isesuurusest kinnisplokist. Üks neist kinnisplokkidest on teisest veidi suurem. Kõigil neil plokkidel jookseb sama kett, nõndanimetatud „lõpmatu“ kett. Uurded on varustatud nükkidega, mis takistavad keti libisemist. Kui tõmbame ketti, mis tuleb suuremalt kinnisplokkilt, siis jookseb kett väiksemalt kin-



Joon. 288. Diferentsiaal-plokk.

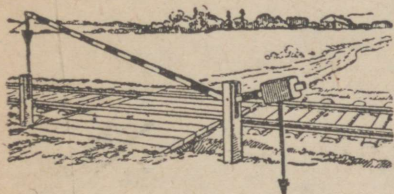


Joon. 289. Diferentsiaalploki abil võib tõsta suuri raskusi.

nisplokkilt suuremale kinnisplokkile. Kui mõlemad kinnisplokkid oleksid ühesuurused, siis koormus ei tõuseks, kuna kett kataks mõlemas kinnisplokkis võrdsed teesad. Ent kinnisplokkid on erineva suurusega ja kett käib ära suuremas kinnisplokkis pikema tee kui väiksemas kinnisplokkis. Seetõttu tõuseb koormus veidi ülespoole. Kui mõlema kinnisploki seibide läbimõ-tude vahe on väga väike, siis tõuseb koormus väga aeglaselt ja me võidame palju tungi suuruse poolest. Valmistatakse nii-

suguseid plokke, mis võimaldavad kuni kolmekümnekordse kokkuhoiu tungi suuruse poolest.

Diferentsiaalplokke kasutatakse laialdaselt tööstuses raskuste tõstmiseks. Igas automehaanika töökojas peaks olema see tõsteseadeldis. Kinnitades seda tugeva toendi külge, võib selle abil tõsta auto ees- või tagaosa (joon. 289).



Joon. 290. Raudtee tõkkepuu on kahepoolne kang.

**Ulesanne 1.** Diferentsiaalploki abil saavutatakse tungi poolest kolmekümnekordset kokkuhoiu. Kui suurt tungi on vaja  $1\frac{1}{2}$  tonni suuruse raskuse tõstmiseks?

Vastus: 50 kg.

**Ulesanne 2.** Kui suurt raskust saab tõsta liitploki abil, mis sisaldab 2 liikuvat plokki, kui rakedame 35 kg suurust tõstetungi?

Vastus: Mitte üle 140 kg.

### § 135. Kangid. Tungimoment. Kangiks nimetatakse

varba, mis saab pöörduda toetuspunkti ümber. Kangile võib rakendada ühe või mitu tungi. Ühed tungid püüavad pöörata kangi ühes suunas, teised — vastupidises suunas. Kui tungid on rakendatud mõlemal pool toetuspunkti, siis nimetatakse kangi kahepoolseks kangiks (joon. 290). Kui tungid on rakendatud ühel pool toetuspunkti, siis nimetatakse kangi ühepoolseks kangiks (joon. 291). Toetuspunktist tungi sihile tõmmatud ristjoont nimetatakse tungi õlaks (joon. 292).

Kangide rakendamine on väga levinud niihästi looduses kui ka tehnikas.

Näiteks loomade jäsemed (ka inimese käsivarred ja jalad) on kas kahe- või ühepoolsed kangid (joon. 293). Tangid, lapiktangid, käärid, aerud ja paljud muud esemed on samuti kangid. Sirge teraslatt, mille üldtuntud nimetu-

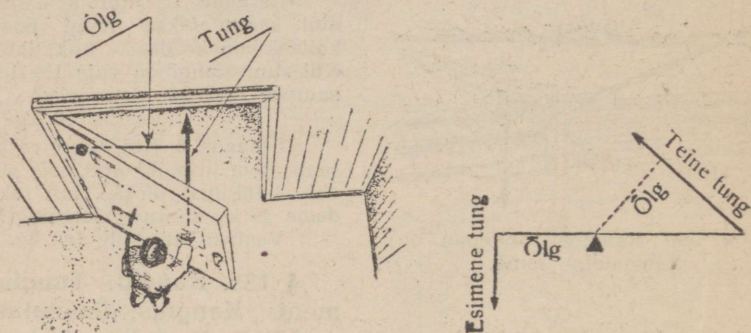


Joon. 291. Ühepoolne kang.

seks ongi kang, on joonisel 294 kujutatud juhul kahepoolseks kangiks. Tööriist, millega raudteetöölised tõmbavad välja

liiprinaelu (joon. 295), ja vasar, mida kasutatakse hariliku naela väljatõmbamiseks (joon. 296), on kahepoolsed kangid.

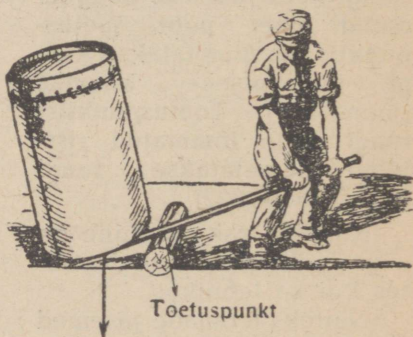
Kangiseaduste uurimiseks võib kasutada joon. 297 ja 298 kujutatud seadeldist. Riputame kangi õlgade külge mitmesuguseid koormusi mitmesuguses kauguses toetuspunktist. Püüame



Joon. 292. Kangi õlaks nimetatakse toetuspunktist tungi sihile tõmmatud ristjoont.



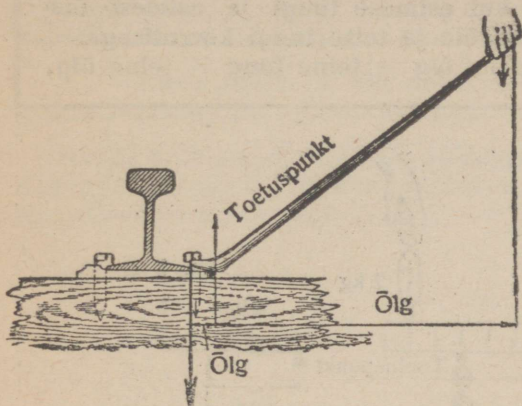
Joon. 293. Inimese käsivars on ühepoolne kang.



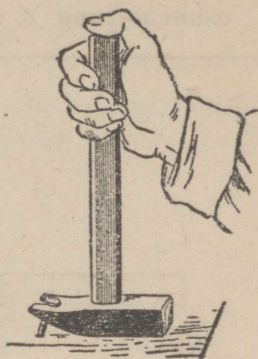
Joon. 294. Sirge teraslatt, millega tööline tõstab rasket paaki, on siin kahepoolseks kangiks.

saavutada kangi tasakaalu. Näiteks, kui riputame vasaku õla külge 4 kilogrammi raskuse koormuse 6 sentimeetri kaugusele toetuspunktist (joon. 297), parema õla külge aga 6-kilogram-

mise koormuse, siis peab tasakaalu saavutamiseks teise koormuse kaugus toetuspunktist olema 4 sentimeetrit.

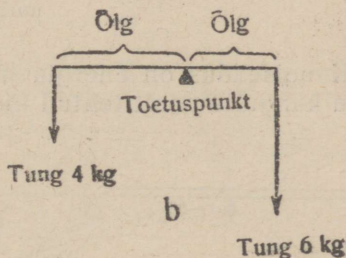
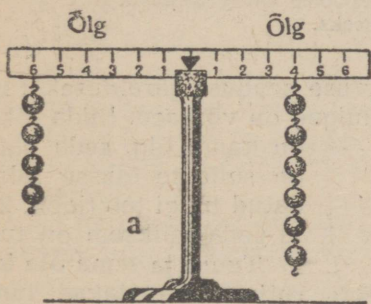


Joon. 295. Seadeldis konksude väljatõmbamiseks liipritest on kahepoolne kang.



Joon. 296. Vasar, millega tõmmatakse välja naela, on kahepoolne kang.

Korrutades esimese raskuse (esimese tungi) esimese õla pikkusega, saame:  $6 \text{ cm} \cdot 4 \text{ kg} = 24 \text{ sentimeeter-kilogrammi}$ .

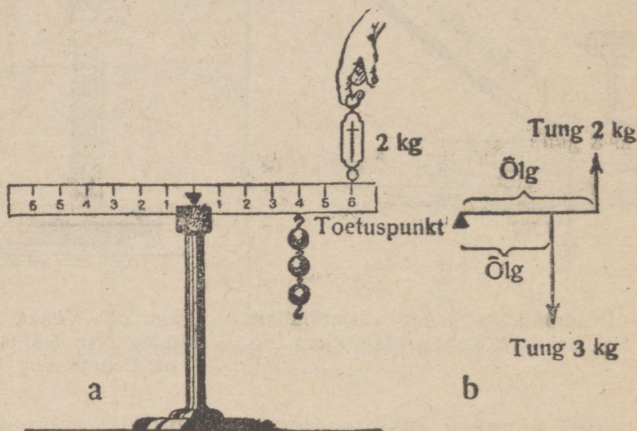


Joon. 297. Seadeldis kahepoolse kangi seaduste uurimiseks.

Me võime riputada kahepoolse ja ühepoolse (joon. 298) kangi õlgadele ükskõik mis raskusi; tasakaalu puhul võrdub esimese õla ja esimese raskuse korrutis alati teise õla ja teise raskuse korrutisega.

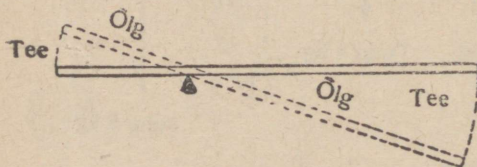
Järelikult on kangiseadus järgmine:

Kang on tasakaalus, kui esimese tungi ja esimese õla korrutis võrdub teise õla ja teise tungi korrutisega:  
 esimene tung  $\times$  esimene õlg = teine tung  $\times$  teine õlg.



Joon. 298. Seadeldis ühepoolse kangi seaduste uurimiseks.

Kangiseadus on energia jäävuse seaduse järelduseks: mõlema kangiõla poolt tehtud tööhulgad on võrdsed. Mida pikem on kangi õlg, seda pikem on sellesse õlasse rakendatud tungi tee (joon. 299) ja seda väiksem on tung.



Joon. 299. Mida pikem on kangiõlg, seda pikem on sellesse õlga rakendatud tungi tee.

**Tungi ja tema õla korrutist nimetatakse tungimomendiks (joon. 297 ja 298).**

Kangiseadust võib väljendada ka nii:

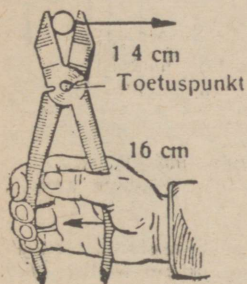
**Tasakaalu korral peavad mõlemad kangisse mõjuvad tungimomendid olema võrdsed.**

Kui mitu korda pikem on kangi õlg, nii mitu korda väiksem peab olema sellesse õlga mõjuv tung.

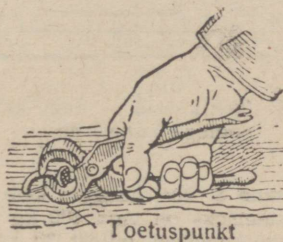
Järelikult:

Mida pikem on õlg, seda väiksem on tung.

Niisiis võib kangi abil saavutada suurt võitu tungi poolest. Rakendades pikasse õlasse väikest tungi, võib lühema õlaga ületada suurt vastutungi.



Joon. 300. Lapiktangid koosnevad kahest kahepoolega kangist.



Joon. 301. Tangid koosnevad kahest kahepoolega kangist.

**Näide.** Leida tungi suurus, mida saab arendada lapiktangide abil (joon. 300), kui kaugus toetuspunktist kokkusurutava esemeni on 1,4 cm ja kaugus toetuspunktist tungi rakenduspunktini on 16 cm. Käsi surub lapiktange kokku 56 kg suuruse tungiga.

Meil on teada: mõjuv tung on 56 kg; selle tungi õla pikkus on 16 cm; teise õla pikkus on 1,4 cm.

Kangisse mõjuvad tungimomendid peavad olema võrdsed:  $56 \times 16 = 14 \times$  lapiktangide tung. Siit saame: lapiktangide

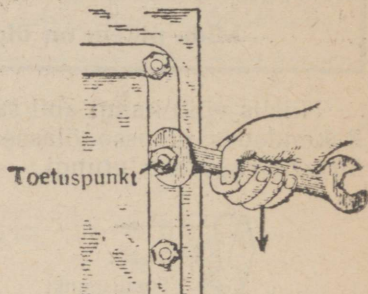
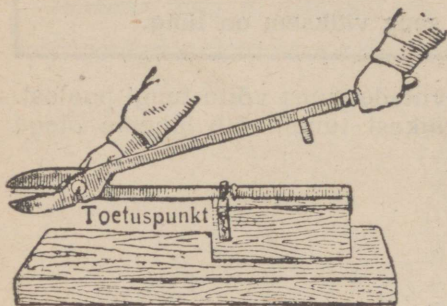
$$\text{tung} = \frac{56 \cdot 16}{1,4} = 640 \text{ kg.}$$

**Ulesanne 1.** Kivi kangutatakse raudkangi abil (joon. 291). Kivi kaal on 60 kg, kaugus toetuspunktist kivini on 20 cm; kangi pikkus on 1 meet. Leida tungi suurus, millega käsi peab mõjuma kangisse.

Vastus: 12 kg.

**Ulesanne 2.** Tangide abil näpistatakse pooleks raudnaelu (joon. 301). Kaugus liigendist naelani on 3 cm; kaugus liigendist tungi rakenduspunktini on 15 cm. Käsi surub tange kokku 60 kg suuruse tungiga. Leida naelasse mõjuv tung.

Vastus: 300 kg.

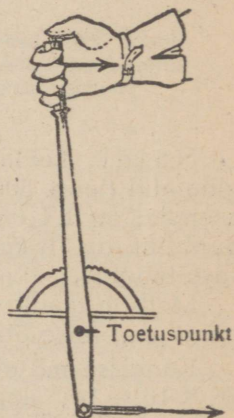
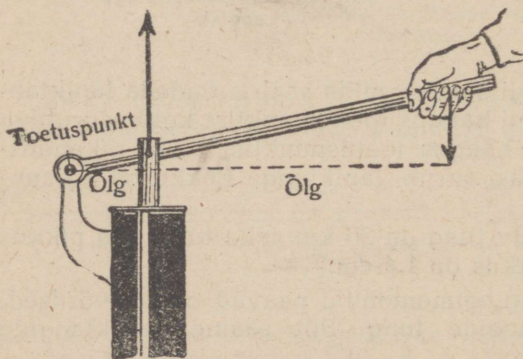


Joon. 302. Plekikäädid — kaks kahepoolega kang.

Joon. 303. Mutrivõti — ühepoolega kang.

**Ulesanne 3.** Kui kaugele käärde teljest peab asetama teraspleki, kui pleki lõikamiseks on vaja 400 kg suurust tungi ja kui töölise käed mõjuvad 50 cm kaugusel teljest 30 kg suuruse tungiga?

Vastus: 3,75 cm.



Joon. 304. Veepumba käepide on ühepoole kang.

Joon. 305. Auto käsipidur on kahepoolne kang.

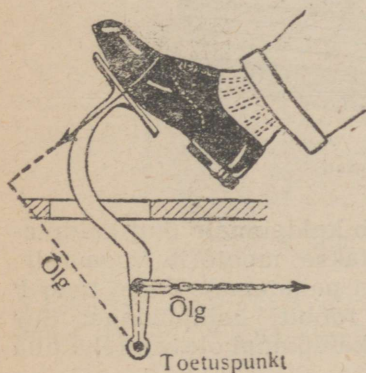
**Ulesanne 4.** Kui suure tungiga võib kinni keerata mutrit mutrivõtme abil, kui mutri läbimõõt on 4 cm, kaugus mutri keskkohast käeni on 12 cm ja käe poolt arendatud tung on 20 kg?

Vastus: 120 kg.

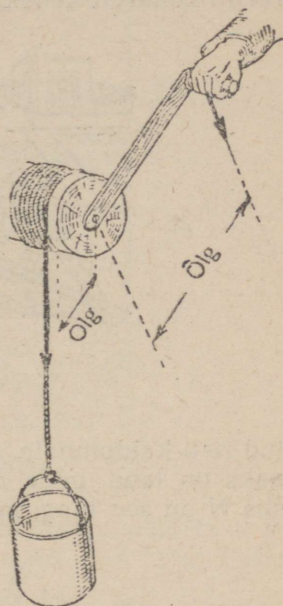
§ 136. **Kangide kasutamine.** Vaatleme mõnda kangide kasutamise juhtu tehnikas.

Veepump töötab kangil abil. Joonisel 304 kujutatud veepumbal on ühepoolne kang. Kangi õlg, mida me peame alla vajutama, on pikem õlast, millesse rakendub kolvivarras. Kolvisse mõjuv tung on seetõttu suurem kui tung, millega käsi vajutab pumba käepidet.

Autopidurit (joon. 305) käsitletakse pidurivarda kaudu, mis on ühendatud kahepoolse kangiga. Tung, millega



Joon. 306. Piduripedaali kang on kõverdatud.



Joon. 307. Pöör on kangil abil töötav lihtmasin.

kang mõjub pidurivardasse, on suurem kui tung, millega autojuhi käsi tõmbab kangil.

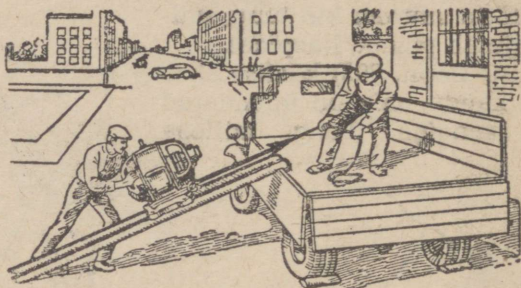
Kangil võib olla igasugune kuju. Väga tihti tehakse kõveraid kange (joon. 306). Kangiseadus seeläbi ei muutu: mõlemasse kangil mõjuvad tungimomendid on võrdsed.

Joonisel 307 kujutatud pöör on samuti üheks kangil rakendusviisiks. Kõis keerdub võllile, mille raadius moodustab ühe kangilõla. Teiseks kangilõlaks on vänt, millega keeratakse pööra. Tung, millega pöör tõmbab köit, on nii mitu korda suurem vända käepidemesse mõjuvast tungist, kui mitu korda vänt on pikem võlli raadiusest.

**Ulesanne.** Meenutada kange, mida on olnud juhul näha. Määrata ära, millisesse liiki kuulub iga nähtud kangil.

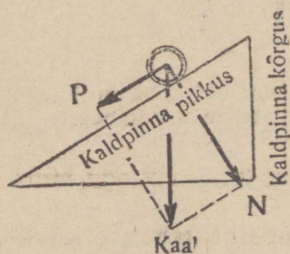
§ 137. **Kaldpind.** Kaldpinnaks nimetatakse igasugust tõusvat pinda: mäenõlvakut, redelit, kallutatud lauda ja muud sarnast (joon. 308).

Kaldpinnal lebava keha kaal lahutub tungide rööpküliku reegli kohaselt kaheks tungiks (joon. 309). Üks tung N on sihi-



Joon. 308. Kaldpind.

tud risti kaldpinnale. See tung rõhub kaldpinnale (kui kaldpinnaks on laud, mida mööda tõmmatakse mootorit veoautole, siis N on see tung, mis paneb lauda painduma). Teine tung P on sihitud rööbiti kaldpinnaga. See tung püüab kaldpinnal olevat keha alla tõmmata.



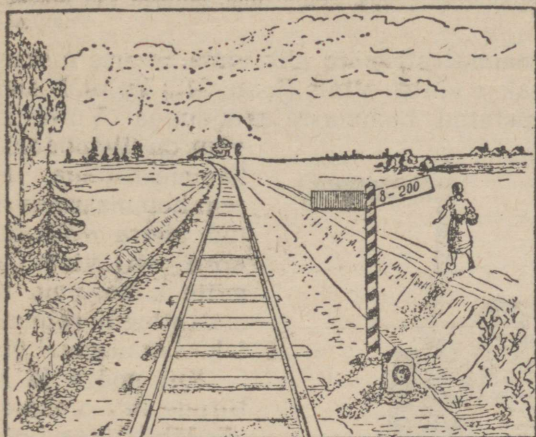
Joon. 309. Selliselt lahutub kaldpinnal lebava keha kaal.

Edaspidi nimetame seda tungi tagasitõmbavaks tungiks. Et koormust mööda kaldpinda üles vinnata, tuleb ületada tagasitõmbavat tungi P. Seejuures võrdub sooritatud töö — energia jäävuse seaduse järgi — selle tööga, mida oleks vaja teha, et tõsta keha kaldpinna kõrgusele. Töö, mida tehakse keha mööda kaldpinda üles tõmmates, võrdub tagasitõmbava tungi ja kaldpinna pikkuse korrutisega. Töö, mida

oleks tehtud koormuse püstloodis tõstmisel, võrdub keha kaalu ja kaldpinna kõrguse korrutisega.

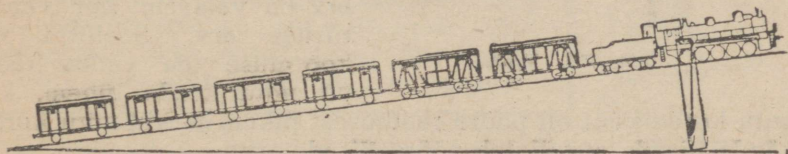
Mida pikem on käidud tee, seda väiksem on tung. **Tagasitõmbav tung on nii mitu korda väiksem keha kaalust, kui mitu korda kaldpinna kõrgus on väiksem kaldpinna pikkusest.**

Raudtee ääres paremal pool rongi sõidusuunda võib sageli näha postikesi arvudega, näiteks 8-200 (joon. 310). See tähendab, et tee tõus on 8 meetrit teepikkuse iga 200 meetri kohta.



Joon. 310. Raudtee tõusunäitaja.

Vedur peab seejuures ületama tavalise hõõrdumistakistuse ja peale selle veel kaheksa kahesajandikku ehk neli sajandikku



Joon. 311. Mäkketõusul ületab vedur hõõrdumistakistuse ja peale selle veel osa rongi kaalust.

rongi kaalust (joon. 311). Kui rong kaalub 700 tonni, siis peab vedur ületama peale hõõrdumistakistuse veel  $\frac{700 \cdot 4}{100} = 28$  tonni.

**Ülesanne 1.** Hobune veab vankrit ülesmäge. Tõus on  $\frac{7}{100}$ ; vankri kaal on 420 kg. Leida hobuse veojõud.

Vastus: 29,4 kg (kui mitte lugeda hõõrdumistakistuse ületamiseks kuluvat tungi).

**Ulesanne 2.** Kaldpinnal veeretatakse tünni vankri peale. Laua pikkus on 2 meetrit, vankri kõrgus on 0,8 meetrit, tünni kaal on 170 kg. Kui suurt tungi tuleb ületada?

Vastus: 68 kg.

**Ulesanne 3.** Kiilu pikkus on 25 cm. Kiilu silma laius on 3 cm. Kiilu taotakse 240 kg suuruse jõuga. Leida tung, millega kiil lõhestab puuhalgu.

Vastus: 4000 kg.

§ 138. **Hammasrataspöör ehk vints.** Suurte raskuste tõstmiseks tarvitatakse vintsi. Vints (joon. 312) kujutab endast pööra, mis on varustatud hammasratas-ajamiga. Vintsi käepideme

vänt on ühendatud väiksema hammasrattaga, kuna suurem hammasratas on kinnitatud pööra võlli otsa. Mõnikord on vints varustatud mitte kahe, vaid nelja hammasrattaga; sellega saavutatakse suuremat ülekannet.

Kui pööra ja käepideme tiirude arv oleks ühesugune, siis läbiks trossi otsas rippuv koormus käepideme teest nii mitu korda lühema tee, kui mitu korda käepideme vända pikkus ületab pööra raadiuse pikkuse. Ent pööra tiirude arv on väiksem kui vända tiirude arv. Seetõttu on koormuse tee vända teest nii mitu korda lühem, kui

mitu korda vänt on pööra raadiusest pikem ja kui mitu korda vända tiirude arv ületab pööra tiirude arvu.

Tungi pooldest saavutatud võit võrdub käidud tee kaotusega.

**Vintsi abil saavutatav tungi võit võrdub vända pikkuse ja pööra raadiuse jagatisega, mis on korrutatud ülekandesuhtega pööralt vändale.**

Vintse võib liikuma panna ka aurumasina või elektrimootori jõul. Selliseid vintse tarvitatakse tõstekraanadel ja laevadel ankrute või raskete koormuste tõstmiseks.

Näide. Vintsi käepideme vända pikkus on 40 cm; pööra raadius on 8 cm; väiksema hammasratta hammaste arv on 12; suurema hammasratta hammaste arv on 120. Leida vintsiga tungi suuruse poolest saavutatav võit.

Kui ülekandesuhe oleks 1, siis oleks tungi võit  $40 : 8 = 5$ . Ent tegelikult on ülekandesuhe pööralt vändale  $120 : 12 = 10$ . Järelikult on tungi võit  $5 \cdot 10 = 50$ .

**Ulesanne.** Vintsi vända pikkus on 35 cm; pööra raadius on 7 cm; vändaga ühendatud hammasrattal on 16 hammast; pööraga ühendatud hammasrattal on 176 hammast. Kui suurt koormust võib tõsta, mõjudes vändasse 10 kg suuruse tungiga?

Vastus: 550 kg.

§ 139. **Tungraud.** Tungraud (joon. 313) koosneb kruvist ja kangist (käepidemest) selle kruvi keeramiseks. Joonisel 313 on näha tungraua kruvikeermeid. Teatavasti nimetatakse kõrvuti olevate keermete vahekaugust kruvitõusuks. Käepideme ühe täispöörde puhul nihkub kruvi mutris ühe kruvitõusu võrra edasi. Käepidemesse mõjuv tung läbib samal ajal ringjoonelise tee, mis võrdub käepideme ühe täisringi pikkusega. Kruvi töö võrdub kruvi keerava kangi tööga. Nii siis:



Joon. 313.  
Tungraud.

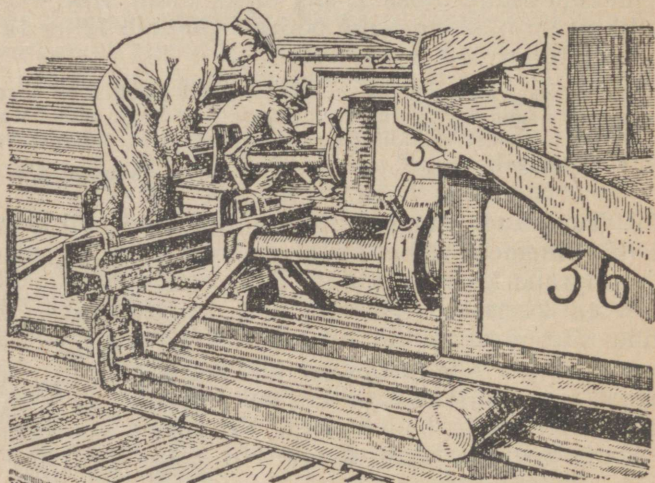
**Tung, millega kruvi mõjub mutrisse, on nii mitu korda suurem käepidemesse rakendatud tungist, kui mitu korda käepidemesse rakendatud tungi tee (s. o. ringjoone pikkus) ületab kruvitõusu.**

Tungraua abil võib arendada väga suuri tunge. Sel põhjusel kasutatakse tungraudu vedurite, raudteevagunite, autode, masinate ja muude suuremate raskuste üleskergitamiseks ning koguni suurte hoonete nihutamiseks ühest asukohast teise (joon. 314).

Näide. Joonisel 313 kujutatud tungraua kruvitõus on 1,3 cm; käepideme pikkus on 25 cm; käepidemesse rakendatud tung on 10 kg. Leida tungraua poolt arendatud tungi suurus.

Uhel täispöördel käepide läbib tee, mis võrdub ringjoone pikkusega. Ringjoone pikkus on  $2 \cdot 3,14 \cdot 25 = 157$  cm ehk 1,57 m.

Käepidemesse mõjuv tung sooritab seejuures töö, mis võrdub  $1,57 \text{ m} \cdot 10 \text{ kg} = 15,7 \text{ mkg}$ . Tungraua töö on võrdne käepideme tööga; järelikult võib tungraud samuti teha  $15,7 \text{ mkg}$  suuruse töö. Käepideme ühel täispöördel tõuseb tungraua kruvi ühe kruvitõusu võrra, meie näites  $1,3 \text{ cm}$  ehk  $0,013$  meetri



Joon. 314. Tungraudade abil võib üles kergitada suuri raskusi; tungraudade süsteemiga paigutatakse ümber suuri hooneid; 1 — tungraud.

võrra. Tungraua poolt arendatud tungi leidmiseks tuleb jagada tehtud töö  $15,7 \text{ mkg}$  käidud teega:  $15,7 : 0,013 = 1200 \text{ kg}$ . Seega suudab üks inimene, kes arendab võrdlemisi väikest tungi ( $10 \text{ kg}$ ), tõsta tungraua abil koormust, mille kaal on üle ühe tonni. Tungraud on seetõttu tingimata tarvilikud autode, trammide ja raudteerongide tööriistade-kastis. Näiteks, kui autojuht peab vahetama rattakummi, tõstab ta tungraua abil auto üles.

**Ulesanne 1.** Leida, kui suure tungiga võib poldi abil suruda teineteise vastu kaks detaili. Kruvitõus on  $4 \text{ mm}$ ; mutrivõtme pikkus on  $26 \text{ cm}$ ; võtmesse rakendatud tung on  $5 \text{ kg}$ .

Vastus: Ligi  $2 \text{ t}$ .

**Ulesanne 2.** Kui suurt raskust saab tõsta tungraua abil, kui kruvitõus on  $6 \text{ mm}$ , käepideme pikkus  $20 \text{ cm}$  ja käepidemesse mõjuv tung  $12 \text{ kg}$ ?

Vastus:  $2512 \text{ kg}$ .

## SISUKORD.

### Esimene peatükk.

#### Sissejuhatus.

	Lk.
§ 1. Füüsilised kehad. Aine . . . . .	3
§ 2. Füüsilised ja keemilised nähtused . . . . .	3
§ 3. Füüsikaseadused. Vaatlused ja katsed . . . . .	5
§ 4. Vaatluste ja katsete juures tekkivad raskused . . . . .	5
§ 5. Füüsika ja keemia on tehnika põhialused . . . . .	7
§ 6. Aine kolm olekut . . . . .	8
§ 7. Mõõtmine . . . . .	9
§ 8. Pikkusühikud . . . . .	10
§ 9. Pikkuse mõõtmine. Mõõteriistad . . . . .	11
§ 10. Pindalaühikud . . . . .	14
§ 11. Ruumalaühikud . . . . .	16
§ 12. Mitmesugused tungid. Raskustung . . . . .	17
§ 13. Lood ja vaaderpass . . . . .	19
§ 14. Kaaluühikud . . . . .	21
§ 15. Kaalud . . . . .	23
§ 16. Erikaal . . . . .	26
§ 17. Mõõtmise täpsus . . . . .	30

### Teine peatükk.

#### Tahked kehad.

§ 18. Tahked kehad . . . . .	32
§ 19. Kõvadus . . . . .	32
§ 20. Elastsus ja plastilisus . . . . .	33
§ 21. Põhilised deformatsioonid . . . . .	34
§ 22. Haprus . . . . .	36
§ 23. Elastne deformatsioon ja jäävdeformatsioon . . . . .	36
§ 24. Tung ja deformatsioon. Dünamomeetrid . . . . .	38
§ 25. Purustav tung. Tõmbetugevus . . . . .	40
§ 26. Lubatud pinge . . . . .	42
§ 27. Tahke keha rõhk aluspinnale . . . . .	43
§ 28. Rõhumise, tugipinna ja tungi vahekord . . . . .	45
§ 29. Tugipinna kokkusurumine . . . . .	46

### Kolmas peatükk.

#### Vedelikud.

§ 30. Vedelikud. Viskoossus . . . . .	48
§ 31. Rõhumise edasiandumine vedelikus. Pascal'i seadus . . . . .	48

	Lk.
§ 32. Hüdraulilised masinad . . . . .	50
§ 33. Hüdraulilised masinad tehnikas . . . . .	51
§ 34. Rõhumine vedeliku sees . . . . .	53
§ 35. Manomeetrid . . . . .	57
§ 36. Uhendatud anumad . . . . .	58
§ 37. Uhendatud anumate kasutamine tehnikas . . . . .	58
§ 38. Archimedese seadus . . . . .	62
§ 39. Ujumine . . . . .	64
§ 40. Laevad. Allveelaevad . . . . .	65
§ 41. Märgamine. Kapillaarsus . . . . .	67

### Neljas peatükk.

#### Gaasid.

§ 42. Gaasilised kehad . . . . .	70
§ 43. Pascal'i seadus gaaside kohta . . . . .	70
§ 44. Atmosfääriline rõhk . . . . .	71
§ 45. Baromeetrid . . . . .	73
§ 46. Pumbad . . . . .	74
§ 47. Archimedese seadus gaaside kohta . . . . .	75
§ 48. Aerostaat . . . . .	77
§ 49. Gaaside kokkusurumine. (Boyle-Mariotte'i seadus.) . . . . .	78
§ 50. Suruõhk. Kompressor . . . . .	79
§ 51. Suruõhk tehnikas . . . . .	80

### Viies peatükk.

#### Põhiteadmisi keemiast.

§ 52. Ained ja nende muundumisahtused . . . . .	84
§ 53. Lagumisreaktsioon . . . . .	85
§ 54. Uhinemisreaktsioon . . . . .	85
§ 55. Mehaaniline segu . . . . .	86
§ 56. Molekulid . . . . .	87
§ 57. Keemilised reaktsioonid ja molekulid; aatomid . . . . .	89
§ 58. Liitained ja lihtained . . . . .	90
§ 59. Elemendid . . . . .	90
§ 60. Tähtsamad elemendid . . . . .	90
§ 61. Vesi . . . . .	91
§ 62. Loodusliku vee lisandeid . . . . .	91
§ 63. Vee puhastamine . . . . .	93
§ 64. Vesi lahustajana . . . . .	93
§ 65. Vesi tööstuses . . . . .	95
§ 66. Vee keemiline koostis . . . . .	96
§ 67. Hapnik . . . . .	96
§ 68. Hapniku tarvitamine tehnikas . . . . .	99
§ 69. Õhu koostis. Põlemine õhus . . . . .	101
§ 70. Vesinik . . . . .	101
§ 71. Vesiniku kasutamine tehnikas . . . . .	103
§ 72. Leek ja põlemine leegis . . . . .	103
§ 73. Hapendid . . . . .	105
§ 74. Metallide hapendumine ja vahendid selle vastu . . . . .	105

	Lk.
§ 75. Raua taandamine kõrgahjus . . . . .	106
§ 76. Happed ja soolad . . . . .	107
§ 77. Alused . . . . .	109
§ 78. Aine säilimise seadus . . . . .	109

### Kuues peatükk.

#### Liikumine.

§ 79. Paigalolek ja liikumine . . . . .	111
§ 80. Liikumise liigid . . . . .	113
§ 81. Käidud tee. Kiirus . . . . .	115
§ 82. Seos käidud tee, aja ja kiiruse vahel . . . . .	119
§ 83. Ebaühtlane liikumine. Kiirendus . . . . .	122
§ 84. Keha vaba langemine. Õhutakistuse mõju . . . . .	123
§ 85. Ringliikumine. Tiirlemiskiirus . . . . .	125
§ 86. Ringkiirus . . . . .	126
§ 87. Ajamid ja liikumise muundamine . . . . .	127
§ 88. Rihm-ajam . . . . .	128
§ 89. Hõõrd-ajam . . . . .	129
§ 90. Hammas-ajam. Seos tiirude arvu ja hammaste arvu vahel . . . . .	130
§ 91. Hammasratta liit-ajamid . . . . .	132
§ 92. Hambumise elemendid. Jaotusring. Hammasrataste samm ja moodul . . . . .	134
§ 93. Kruvis-ajam . . . . .	136
§ 94. Tigu-ajam . . . . .	139
§ 95. Vânt-ajam . . . . .	140
§ 96. Nokk-ajam . . . . .	143
§ 97. Kulissmehhanism . . . . .	144

### Seitsmes peatükk.

#### Tungid.

§ 98. Tungide tähtsus tehnikas. Tungide kujutamine . . . . .	145
§ 99. Tungide liitmine. Resultanttung . . . . .	147
§ 100. Samal sirgjoonel mõjuvate tungide liitmine . . . . .	148
§ 101. Tungide rööpkülik . . . . .	149
§ 102. Tungide lahutamine . . . . .	154
§ 103. Tungide lahutamine mehaanilistes konstruktsioonides . . . . .	157
§ 104. Rööptungid . . . . .	159
§ 105. Tungide lahutamine rööpseiks osatungideks . . . . .	161
§ 106. Raskuskese . . . . .	163
§ 107. Püsiv, ükskõikne ja mittepüsiv tasakaal . . . . .	166

### Kaheksas peatükk.

#### Liikumine ja tungid.

§ 108. Mehaanika esimene seadus: inertsiseadus . . . . .	169
§ 109. Inertsitungid . . . . .	172
§ 110. Inertsitungid masinates . . . . .	173
§ 111. Mass . . . . .	174

	Lk.
§ 112. Massi ühikud, Mass ja kaal . . . . .	175
§ 113. Mehaanika teine seadus . . . . .	176
§ 114. Kolmas mehaanika seadus: mõju ja vastumõju võrdsuse seadus	178
§ 115. Kesktõuke- ja kesktõmbetung . . . . .	179
§ 116. Kesktõuketungi kasutamine tehnikas . . . . .	182
§ 117. Kesktõuketungi tasakaalustamine . . . . .	184

## Uheksas peatükk.

### Töö ja energia.

§ 118. Töö . . . . .	186
§ 119. Tööühik . . . . .	187
§ 120. Võimsus . . . . .	189
§ 121. Võimsuse ühik . . . . .	190
§ 122. Kahjulikud takistused . . . . .	192
§ 123. Hõõrdumine . . . . .	193
§ 124. Hõõrdumine määritud pindade vahel . . . . .	196
§ 125. Hõõrdumine veeremisel . . . . .	197
§ 126. Kasulik ja kahjulik hõõrdumine . . . . .	197
§ 127. Hõõrdumise kasutamine tehnikas . . . . .	200
§ 128. Energia . . . . .	202
§ 129. Energia ülekandumine ühelt kehalt teisele soojuse näol . . . . .	205
§ 130. Energia liigid . . . . .	206
§ 131. Energia jäävuse seadus . . . . .	208
§ 132. Tõhutegur . . . . .	209
§ 133. Lihtmasinad . . . . .	211
§ 134. Plokid ja talid . . . . .	211
§ 135. Kangid. Tungimoment . . . . .	215
§ 136. Kangide kasutamine . . . . .	221
§ 137. Kaldpind . . . . .	222
§ 138. Hammasrataspöör ehk vints . . . . .	224
§ 139. Tungraud . . . . .	225

Vastutav toimetaja A. Põdrus.

Ladumisele antud 3. VIII 1946. Trükkimisele antud 4. X 1946. Trükiarv 5200 eks. Paber 56 × 79,1/16. Trükipoognaid 14,5. Trükitähti trükipoognas 42 240. Arvutuspoognaid 15,3. MB-06095. Tellimise nr. 938. Trükikoda „Punane Täht“, Tallinn, Pikk tn. 54.

На эстонском языке.

А. Бачинский и С. Ильяшенко. Физика I.

A-16172

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00422523 3