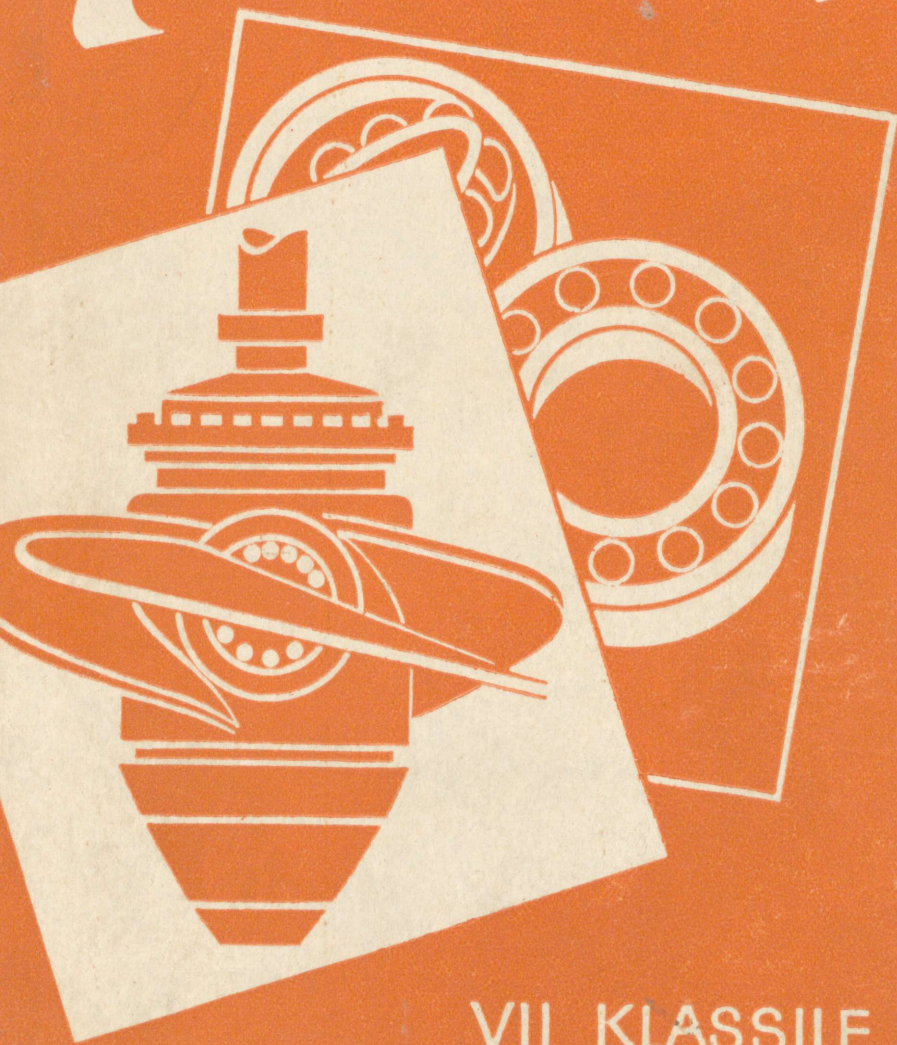


# Füüsika



VII KLASSILE



A-29050

A. PJORŖŠKIN, J. MINTŠENKOV, V. KRAUKLIS  
G. KARPINSKI

# FÜÜSIKA

VII KLASSILE

*5. trükk*



KIRJASTUS «VALGUS» • TALLINN 1968

Originaali tiitel:

А. В. Пёрышкин, Е. Я. Минченков, В. В. Крауклис,  
Г. К. Карпинский. Физика. Учебник для 7 класса средней  
школы. Под общей редакцией Е. Я. Минченкова  
и А. В. Пёрышкина.  
Издание восьмое.  
Издательство «Просвещение» Москва 1967

Vene keelest tõlkinud K. Kallaste

Kunstiliselt kujundanud S. Liiberg

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt.



ARHIIVKOGU



## ALGTEADMISI MEHHAANIKAST.

### 1. MEHHAANILINE LIIKUMINE.

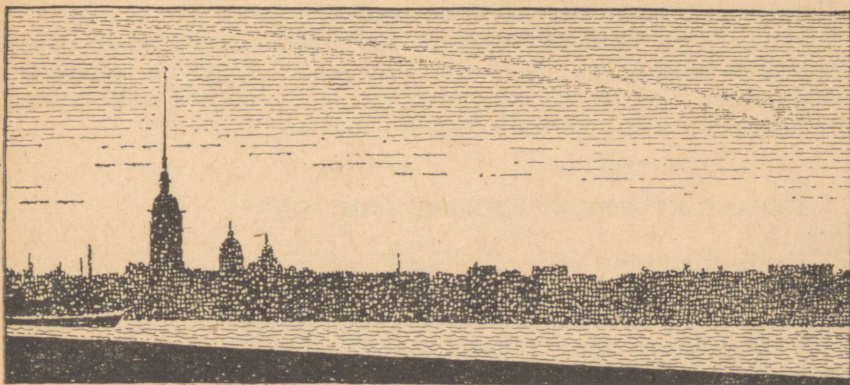
Füüsika uurib mitmesuguseid loodusnähtusi: mehhaanilisi, soojuslikke, helilisi, elektrilisi, magnetilisi, valguslikke. Nendest nähtustest on lihtsaim kehade mehhaaniline liikumine.

Inimese kõnd, mitmesuguste masinaosade liikumine, lennuki või raketi lend — kõik need on mehhaanilised liikumised.

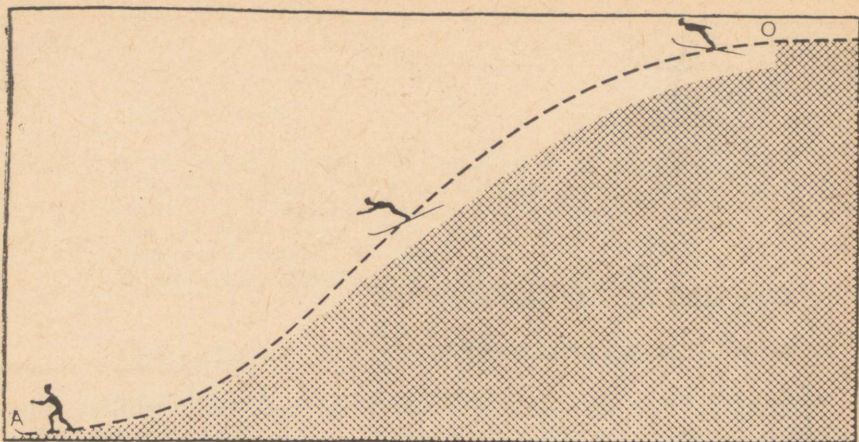
Kui me kõneleme mingi keha mehhaanilisest liikumisest, siis mõistame alati selle all tema nihkumist teiste kehade suhtes. Enamasti vaatleme kehade liikumist maapinna ja seal asetsevate liikumatute esemete (hoonete, puude, postide jne.) suhtes.

Kui auto asend tee ääres asetsevate liikumatute puude või majade suhtes muutub, siis ütleme, et mööda teed sõidab auto. Vesi jões liigub kallaste suhtes, rong aga raudteetammi, jaamade ja telefonipostide suhtes. Kui rongi asukoht nende esemete suhtes ei muutu, siis rong ei liigu.

Mehhaaniliseks liikumiseks nimetatakse mingi keha asukoha muutumist teiste kehade suhtes.



Joon. 1.



Joon. 2.

Joont, mida mööda liigub keha, nimetatakse **liikumise trajektooriks**.

Kui tõmbame kriidiga klassitahvlile mingi joone, siis see joon on kriiditüki liikumise trajektooriks.

Nähtava trajektoori — helendava jälje — jätab öösel taevavõlvile meteor (joon. 1) või valgustusrakett.

Sõltuvalt trajektoori kujust võib liikumine olla kas sirgjooneline või kõverjooneline.

Liikumisel läbib keha teatud kindla ajavahemiku vältel kindla vahemaa.

Vahemaad, mille keha läbis antud ajavahemikus, nimetatakse selle ajavahemiku jooksul **läbitud teeks**.

Joonisel 2 on näha suusajäljed, mille jätab enda järele poiss, kes laskub suuskadega mäest alla. Vahemaa OA, mis on möödunud mööda suusajälgi, on võrdne suusataja poolt läbitud teega mäest allalaskumiseks kuluva ajavahemiku jooksul.

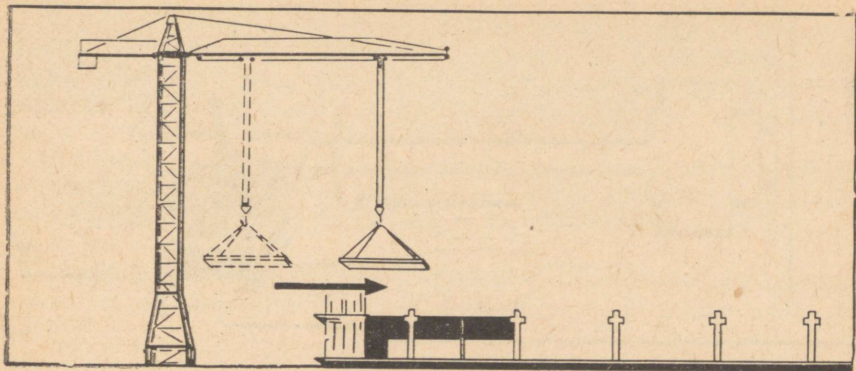
## 2. KEHADE KULGEV JA PÖÖRLEV LIIKUMINE.

Kehade liikumine võib olla vägagi mitmesugune. Näiteks erineb auto kere liikumine tema rataste liikumisest. Rattad pöörlevad, kere aga pöörlevast liikumisest osa ei võta.

Pöörates kaevuvinna, tõuseb kaevust ämber veega. Seejuures liiguvad vinn ja ämber erinevalt.

Kehade liikumise põhiviisideks on **kulgev ja pöörlev liikumine**.





Joon. 3.

Kulgeva liikumise näideteks võiks olla kraana abil tõstetava koormuse liikumine (joon. 3), kasti tõstmine laualt, esemete liikumine transportöörilindil (joon. 4), lõiketera liikumine piki treipingi keret (joon. 5), hõõvli ja käsisaie liikumine töötamisel ning paljud teised liikumised.

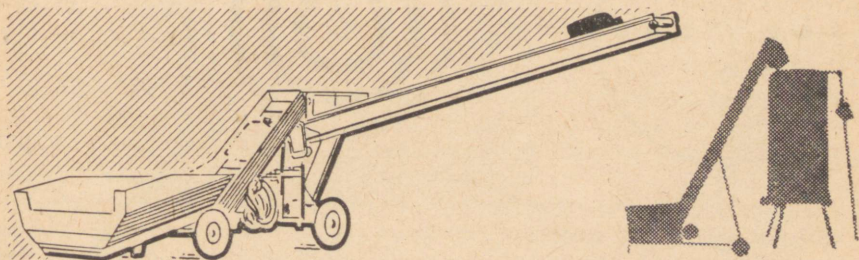
Vaatleme nüüd kulgeva liikumise tunnuseid.

Need tunnused ilmnevad kõige paremini kraana abil tõstetava koormuse liikumise juures (joon. 3).

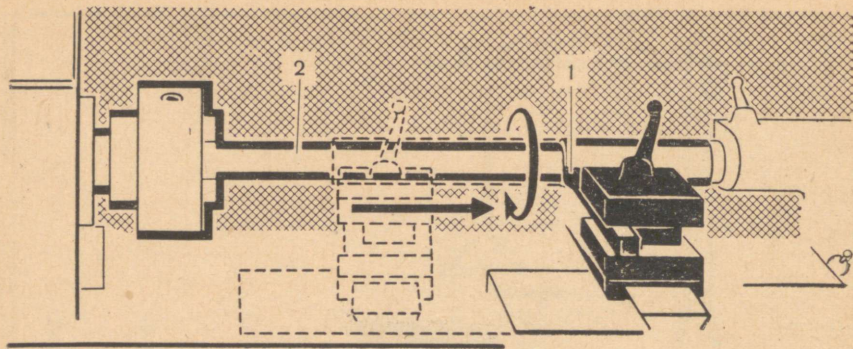
On kerge näha, et koormuse kõik punktid kujundavad koormuse liikumisel ühesugused trajektoorid ja läbivad võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed teesad.

Neid tunnuseid võib kergesti leida mistahes keha, rongi, konveieri lindil olevate esemete, hõõvli, sae jt. esemete kulgeval liikumisel.

Kulgeval liikumisel kujundavad keha kõik punktid ühesugused trajektoorid ja läbivad ühe ring sama ajavahemiku vältel võrdsed teesad.



Joon. 4.

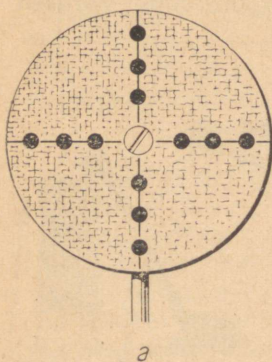


Joon. 5.

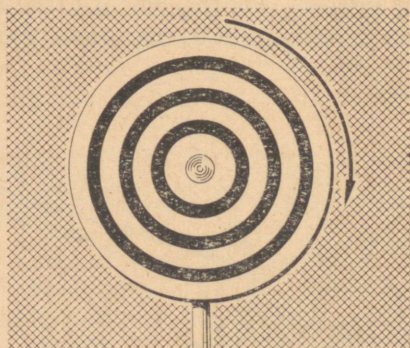
Keha kulgev liikumine ei pea aga alati olema sirgjooneline. Näiteks pööratakse õmblusmasina vänta selliselt, et käelaba liikumine on kulgev, käelaba liikumise tee kujutab seejuures ringjoont. Täpselt samuti liiguvad jalgratturi jalalabad jalgratta pedaalide sõtkudes.

Asjaolu, et kulgeva liikumise puhul liiguvad keha kõik punktid ühesuguselt, lihtsustab tunduvalt sellise liikumise tundmaõppimist. Tarvitseb vaid õppida tundma keha mingi ühe punkti liikumist, et otsustada juba kogu keha liikumise üle.

Autode, vagunite ja vankrite rattad, lennukite propellerid, aurikute kruvid, masinate hoorattad ja völliid töötades **pöörlevad**. Treipingi lõiketera 1 liigub treimise juures kulgevalt, töödeldav detail 2 aga pöörleb (joon. 5).



a



b

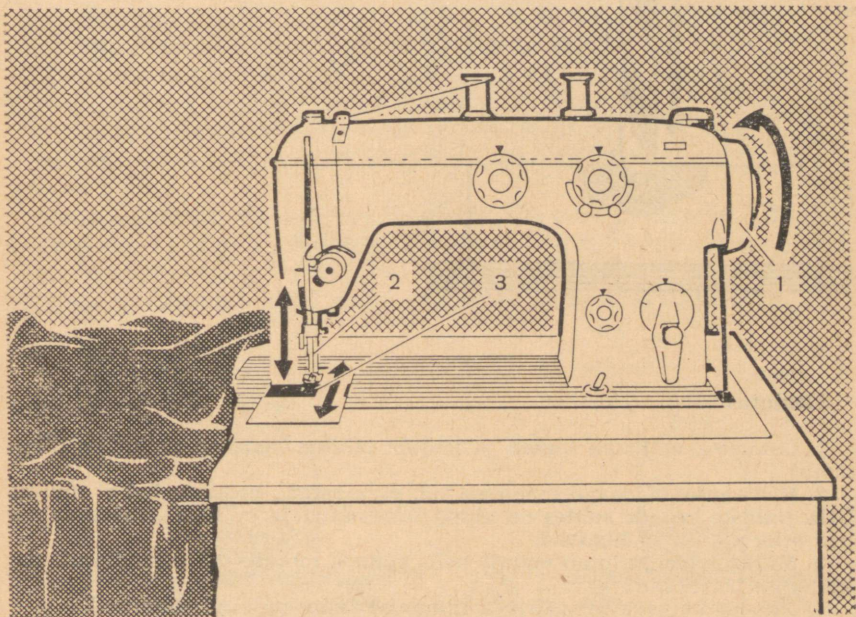
Joon. 6.



Et leida pöörleva liikumise iseärasusi, teeme järgmise katse. Võtame papist väljalõigatud ratta, millele on joonestatud keskpunktist erinevatele kaugustele väikesed ringikesed (joon. 6,a), ja paneme selle kiiresti pöörlema. Ringikeste asemel näeme nüüd rattal erinevate raadiustega ringjooni (joon. 6,b).

See katse näitab, et **pöörleval liikumisel keha erinevad punktid liiguvad mööda ringjooni**. Nende ringjoonte keskpunktid asetsevad kõik ühel ja samal sirgjoonel, mida nimetatakse keha pöörlemisteljeks.

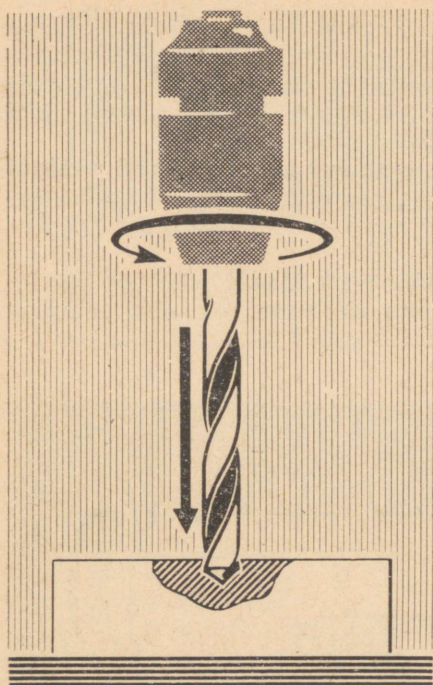
Pöörleva liikumise näiteks looduses on Maa ööpäevane pöörlemine ümber oma telje. Maa selline pöörlemine tekitabki päeva ja öö.



Joon. 7.

Kehade erinevaid liikumisi võib vaadelda õmblusmasina juures selle töötamisel (joon. 7). Õmblusmasina hooratas 1 ja võll pöörlevad. Nõelajuhtija koos nõelaga 2 liigub üles ja alla kulgevast; süstik 3 ja niiditõmbaja aga võnguvad.

Liikumiste uurimine näitab, et liikumised võivad olla kas kulgevad, pöörlevad või ka kulgeva ja pöörleva liikumise kombinatsioonid. Nii näiteks koosneb puuri liikumine (joon. 8) kahest liikumise liigist: pöörlevast ja kulgevast (ülevast alla).



Joon. 8.

### Harjutus 1.

1. Öeldakse, et Päike tõuseb ja loojub. Milline keha on seejuures liikumatu?
2. Kaks autot sõidavad maanteel nii, et vahemaa nende vahel ei muutu. Ütle, milliste kehade suhtes on autod liikumatud ja milliste kehade suhtes nad selle aja vältel liiguvad.
3. Millist joont kujutab endast kella tunni-, minuti- või sekundiosuti otsa liikumise trajektoor?
4. Nimeta kulgeva ja pöörleva liikumise iseloomulikud tunnused.
5. Milliste liikumisliikide alla (kas kulgeva või pöörleva) kuuluvad järgmised liikumised: käest lahtilastud kivi langemine, laual püsti asetseva raamatu langemine kerge tõuke mõjul, kaevust väljatõstetava ämbri liikumine, ventilaatori tiiviku liikumine?
6. Too ise näiteid kehade kulgeva ja pöörleva liikumise kohta.
7. Milline on hõõvli liikumine hõõveldamisel?
8. Millise liikumisliigi alla kuulub traktori liikumine kündmisel?
9. Millise liikumisliigi alla kuulub viili liikumine mingi detaili tasase pinna töötlemisel?
10. Vaatle treipinki kooli mehhaanikatöökojas ja leia, millised pingi osad liiguvad kulgevalt, millised pöörlevalt.



### 3. ÜHTLANE JA MITTEÜHTLANE SIRGJOONELINE LIIKUMINE.

Joonisel 5 kujutatud transportööri pideval töötamisel liigub transportöörilindile pandud puuvillapall sirgjooneliselt ja ühtlaselt, s. t. nii, et võrdsetes ajavahemikes läbib ta võrdsed teosad.

Ka autod ja rongid võivad sirgetel teelõikudel liikuda ühtlaselt ja sirgjooneliselt.

Katseliselt võib ühtlast sirgjoonelist liikumist tekitada siledale horisontaalsele lauale paigutatud vankrike abil (joon. 9, a).

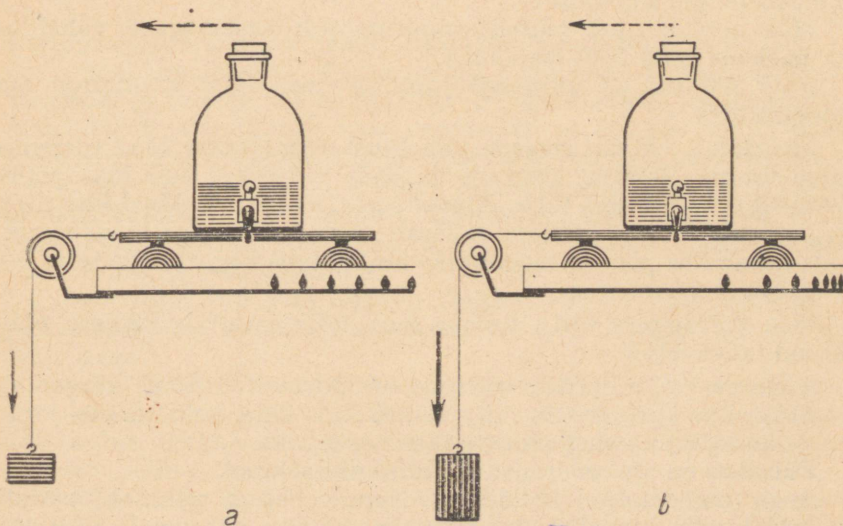
Laua serva küljes asetseb väike ratas, millest on üle pandud niit. Niidi üks ots on kinnitatud vankrike külge, teise otsa külge on aga riputatud mingi koormus. Vankrikesele paigutatakse tilgutaja — anum veega, mis on tindiga ära värvitud.

Niidi külge riputatud koormus peab olema just nii raske, et vankrike hakkaks juba väga nõrga tõuke mõjul liikuma.

Avame tilgutaja kraani ja paneme väikese tõuke mõjul vankrike liikuma. Tilgutajast võrdsete ajavahemike järel langevad tilgad jätavad paberilindile oma jäljed (joon. 9, a).

Mõõtes jälgedevahelised kaugused, näeme, et need on ligikaudu võrdsed.

Paneme nüüd vankrike endisele kohale ja avame tilgutaja kraani nii, et tilgad langeksid tihedamalt kui varem. Pannes seejärel vankrike uuesti liikuma, näeme, et tilkade jäljed asetsevad üksteisele lähemal, kuid siiski võrdsetel kaugustel üksteisest.



Joon. 9. Katsed vankrike ja tilgutajaga: a — vankrike liigub ühtlaselt; b — vankrike liigub mitteühtlaselt.

**Liikumist, mille puhul keha läbib mistahes võrdsetes ajavahemikes võrdsed teosed, nimetatakse ühtlaseks liikumiseks.**

Et otsustada mingi liikumise ühtluse või ebaühtluse üle, tuleb mõõta võrdsetes ajavahemikes läbitud teosed. Kui näiteks mingi keha läbib liikuma hakates esimese minuti jooksul 100 m, iga järgmise minuti jooksul samuti 100 m, igas pooles minutis 50 m, igas kümnendikus minutis 10 m jne., siis see keha liigub ühtlaselt.

Liikumine võib aga olla ka mitteühtlane. Tõstame laua parempoolset otsa (joon. 9,b) niipalju, et vankrike hakkaks liikuma ilma koormuseta. Siis jätavad tilgutajast langevad tilgad sellised jäljed, mis ei asetse enam üksteisest võrdsetel kaugustel. See tähendab, et nüüd läbib vankrike võrdsetes ajavahemikes mittevõrdsed teosed.

**Liikumist, mille puhul keha läbib mistahes võrdsetes ajavahemikes mittevõrdsed teosed, nimetatakse mitteühtlaseks liikumiseks.**

Mitteühtlaselt liigub näiteks auto sõitma hakates või peatudes. Samuti liigub mitteühtlaselt suusataja või kelgutaja, kes laskub mäest alla. Mitteühtlast liikumist esineb tegelikus elus palju sagedamini kui ühtlast.

#### **4. AJA MÕÖTMINE.**

Aja mõõtmise aluseks võib olla mistahes korduv nähtus, mis kulgeb teatud aja vältel.

Maa peal kordub näiteks muutumatult aastaaegade vaheldus ja päevade ning ööde vaheldus.

Neid nähtusi on inimesed juba ammust ajast kasutanud aja mõõtmiseks.

Me teame, et aastaaegade vaheldust selgitatakse Maa tiirlemisega ümber Päikese, päevade ja ööde vaheldust aga Maa pöörlemisega ümber oma telje. Ajavahemik, mis kulub Maal ühe tiiru tegemiseks ümber Päikese, määrab aasta kestuse, ja ajavahemik, mis kulub ühe pöörde tegemiseks ümber oma kujutletava telje, — ööpäeva kestuse.

Maa pöörlemise tõttu ümber oma telje muutub Päikese näiv asend taevavõlvil.

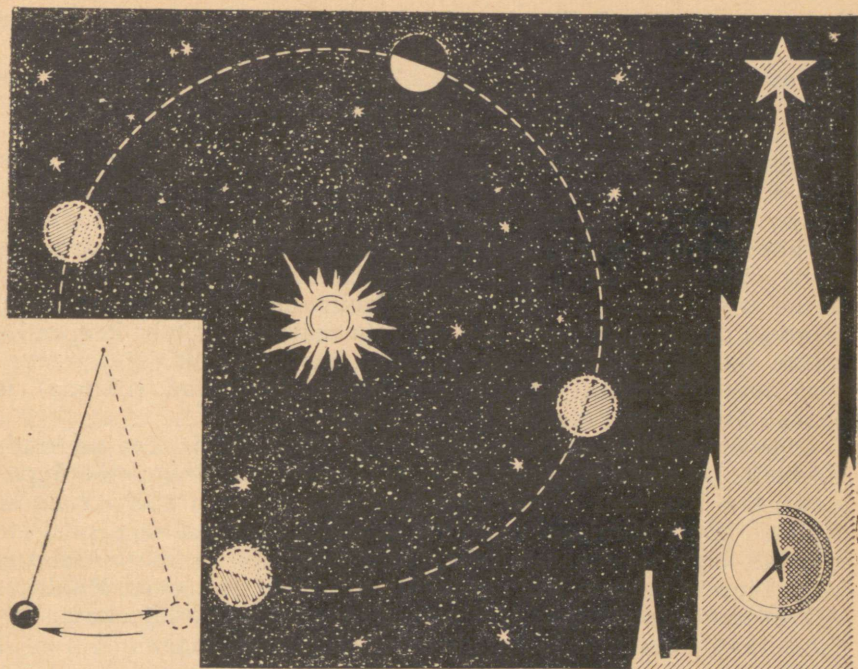
Ajamomenti, mil Päikese asend on taevavõlvil kõige kõrgemal, nimetatakse keskpäevaks. Ajavahemikku kahe teineteisele järgneva keskpäeva vahel nimetatakse ööpäevaks.

**Füüsikas on aja mõõtmise põhiühikuks sekund.**

Aega mõõdetakse kelladega. Nende ehitus põhineb samuti teatud kindla ajavahemiku järel korduvatel nähtustel. Selliseks nähtuseks on näiteks pendli võnkumine.

Lihtsaimaks pendliks on niidi otsa riputatud kuulike (joon. 10).





Joon. 10.

Rahulikus asendis või, nagu öeldakse, tasakaaluasendis on pendel vertikaalne. Viime pendli kuulikese tasakaaluasendist vasakule ja laseme siis käest lahti. Pendel hakkab liikuma paremale, läbib peatumatult tasakaaluasendi ja kaldub sellest paremale. Kui pendel on jõudnud äärmisesse parempoolsesse asendisse, siis ta peatub ning hakkab liikuma tagasi vasakule. Läbinud uuesti tasakaaluasendi, jõuab pendel äärmisesse vasakpoolsesse asendisse. Pendel sooritab seejuures ühe täisvõnke. Selline pendli võnkumine hakkab korduma.

Juba itaalia õpetlane Galileo Galilei (1564—1642) märkas, et pendli igaks liikumiseks ühest äärmisest asendist teise kulub ühepalju aega.

Pendli täisvõnkeks kuluvat aega võib muuta, kui vähendada või suurendada pendli pikkust. Mida pikem on pendel, seda rohkem aega kulub üheks võnkeks ja, ümberpöörduvalt, mida lühem on pendel, seda vähem aega kulub selleks.

Pendlit, mille puhul liikumine ühest äärmisest asendist teise toimub 1 sekundi vältel, nimetatakse sekundpendliks. Sekundpendli pikkus on umbes meeter.

Seinakellades kasutatakse sageli sekundpendlist neli korda

lühemat pendlit. Selline pendel liigub ühest äärmisest asendist teise poole sekundiga.

Tasku- ja käekellades on pendliks väike rattake, mis on varustatud spiraalvedruga. Selle pendli rattake võngub samuti, pööreldes kord ühele, kord teisele poole.

Lühemate ajavahemike mõõtmiseks kasutatakse stoppe-reid. Stopperi suur osuti (pöördudes sekundi jooksul suure nurga võrra, on skaalalt võimalik lugeda isegi sekundi kümnendikke) teeb ühe pöörde ühe minutiga. Minutite arvu näitab väike osuti. Stopper käivitatakse üleskeeramisnupule vajutamisega. Teine vajutamine peatab osutid. Kolmanda vajutamise korral võtavad osutid algasendi. Kui on vaja määrata näiteks aeg, mille vältel sportlane läbib mingi vahemaa, siis kohtunik vajutab stopperi nupule jooksu alustamisel (osutid hakkavad liikuma) ja jooksu lõpetamisel (osutid jäävad seisma).

Õige aja teadmisel on inimeste elus suur tähtsus. Teatud kindlal kellaajal algab töö vabrikutes ja tehastes, algab õppetöö õppeasutustes. Kui kell ei ole õige, siis võib hilineda tööle, rongile. Kellade kontrollimiseks annab raadio igal täistunnil spetsiaalseid signaale õige aja määramiseks. Need signaalid on kooskõlastatud väga täpsete kellade käiguga. Sellised kellad asetsevad Riiklikus Astronoomia Instituudis Moskvast. Nende kellade käiku kontrollitakse regulaarselt taevatähtede näiva liikumise järgi.

## Harjutus 2.

1. Too näiteid niisuguste kehade kohta, mis liiguvad Maa suhtes; mis ei liigu Maa suhtes.

2. Too näide ühtlase sirgjoonelise liikumise kohta.

3. Kas hõõvli, sae või viiliga töötamisel on nende liikumine ühtlane või mitte?

4. Leia mingi lihtne meetod võrdsete ajavahemike määramiseks.

5. Valmista pendel nii, et riputa 1 m pikkuse niidi külge kaaluvihit või kivitükk. Kontrolli kella järgi, kas saadud pendel on sekundpendel või mitte.

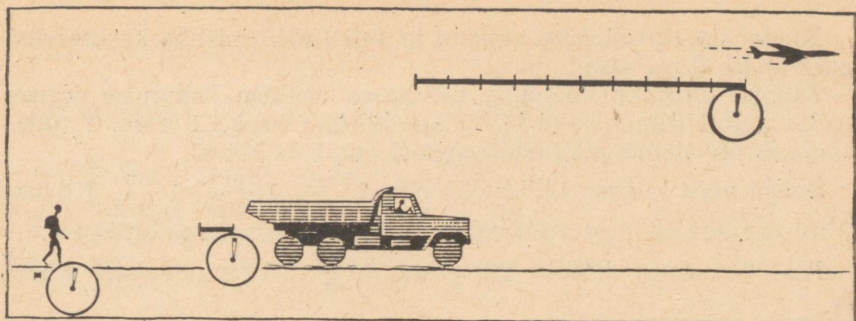
## 5. ÜHTLASE LIIKUMISE KIIRUS. KIIRUSE ÜHIKUD.

Mööda teed kõnnib jalakäija, sõidab auto, tee kohal õhus lennab lennuk (joon. 11). Nende kehade ühtlased liikumised erinevad üksteisest selle poolest, et auto liigub kiiremini kui jalakäija, lennuk aga kiiremini kui auto. See tähendab, et ühe ja sama ajavahemiku vältel läbib auto pikema tee kui jalakäija, lennuk aga pikema kui auto.

Pöördume nüüd katse juurde. Katseks kasutame § 3 kirjeldatud tilgutajaga vankriket.

Paneme vankrikese horisontaalsele lauale ja lükkame ta siis esimene kord kerge tõukega liikvele, teine kord aga tugevama tõukega.





Joon. 11.

Tilgutajast langevad tilgad jätavad paberiribale jäljed, mis näitavad, et mõlemal juhtumil vankrike liigub ühtlaselt, kuid ühe ning sama ajavahemiku vältel läbib esimesel juhtumil lühema teeosa kui teisel juhtumil.

Vankrike liikumised erinevad mõlemal juhtumil **kiiruse** poolest: kui vankrike läbib ajaühikus suurema tee, siis liigub ta suurema kiirusega.

**Ühtlasel liikumisel näitab keha kiirus, kui suure tee läbib see keha ajaühikus.**

Kui jalakäija läbib igas minutis 0,1 km, auto 1 km ja lennuk 10 km, siis öeldakse, et jalakäija kiirus on 0,1 kilomeetrit minutis, auto kiirus 1 kilomeeter minutis ja lennuki kiirus 10 kilomeetrit minutis.

Kui vankrike läbib meie katse juures 3 sekundiga 45 cm pikkuse tee, siis vankrike kiirus on  $\frac{45 \text{ cm}}{3 \text{ s}} = 15 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$  (loetakse nii: 15 sentimeetrit sekundis). Kui jalgrattur liigub ühtlaselt ja läbib 5 sekundiga 25 meetrit, siis ta kiirus on 5 meetrit sekundis ( $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ).

**Et määrata keha kiirust ühtlasel liikumisel, tuleb keha poolt mingi ajavahemiku vältel läbitud tee jagada selle ajavahemikuga.** Lühidalt võib selle reegli kirjutada nii:

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

Märgime läbitud tee tähega  $s$ , kiiruse tähega  $v$  ja aja tähega  $t$ . Sel juhul võib ühtlase liikumise kiiruse arvutamise reegli kirjutada järgmise valemi kujul:

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

Kiirus on füüsikaline suurus ja selle mõõtmiseks kasutatakse spetsiaalseid mõõtühikuid.

Kiiruse ühikuks võetakse niisuguse ühtlase liikumise kiirus, mille puhul liikuv keha läbib ajaühikus (1 sek., 1 min., 1 tund) tee, mis on võrdne pikkusühikuga (1 cm, 1 m, 1 km).

Seega võib kiiruse ühikuteks olla  $1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ,  $1 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ ,  $1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Kiiruse ühte ja sama suurust võib väljendada mitmesugustes ühikutes.

Näide. Auto liigub kiirusega  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Väljenda see kiirus  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ -tes.

Lahendus. Teisendame kilomeetrid meetriteks ja tunnid sekunditeks:  $72 \text{ km} = 72\,000 \text{ m}$ ,  $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ ,  $72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Seega sõltub kiiruse arvuline väärtus nii nagu iga teinegi füüsikaline suurus (pikkus, ruumala, kaal jt.) mõõtühikute valikust.

Erinevatel juhtumitel kasutatakse ka kiiruse erinevaid ühikuid. Rongi, auto ja lennuki kiirust väljendatakse kõige sagedamini ühikuga kilomeetrit tunnis ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ). Metallilõikamiskiirust tööpingil — meetrit minutis ( $\frac{\text{m}}{\text{min}}$ ). Füüsikas on kiiruse mõõtmise põhiühikuks meetrit sekundis ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ), kuigi kasutatakse ka teisi mõõtühikuid.

Tehnikas mõõdetakse liikumise kiirust spetsiaalsete seadistega. Autode juures kasutatavat kiirusemõõtjat nimetatakse spidomeetrik. Spidomeetri mehhanism on seotud auto ratastega. Auto liikumise kiirust näitab spidomeetri skaalal olev osuti.

#### Mõned looduses ja tehnikas esinevad kiirused

|                                |                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Tigu .....                     | $0,15 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$                                          |
| Jalakäija .....                | $1,2-1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                                        |
| Uisutaja .....                 | kuni $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                                        |
| Rong .....                     | $17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (keskmiselt)                                |
| Sõiduauto .....                | $22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (keskmiselt)                                |
| Metalli lõikamise kiirus ..... | kuni $4000 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ ehk $67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ |
| Kolbmootoriga lennuk .....     | kuni $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                                       |



|                                               |                                       |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Hääl õhus ( $0^{\circ}\text{C}$ juures) ..... | $332 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       |
| Reaktiivlennuk (1959. a.) .....               | kuni $663 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  |
| Püssikuul .....                               | $860 \frac{\text{m}}{\text{s}}$       |
| Hääl vees .....                               | $1450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$      |
| Kuu ümber Maa .....                           | $1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$        |
| Maa kunstlik kaaslane .....                   | umbes $8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  |
| Maa ümber Päikese .....                       | $29,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$     |
| Valgus ja raadiolained .....                  | $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ |

Teades keha ühtlase liikumise kiirust, võime kergesti leida keha poolt antud aja jooksul läbitud tee pikkuse. Kui näiteks rong sõidab kiirusega  $25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , siis see tähendab, et igas sekundis läbib ta 25 m. 5 sekundiga läbib rong  $25 \text{ m} \cdot 5 = 125 \text{ m}$ , 10 sekundiga  $25 \text{ m} \cdot 10 = 250 \text{ m}$  jne.

Et leida läbitud tee pikkust, tuleb keha kiirus korrutada tema liikumise ajaga:

$$s = v t$$

### Harjutus 3.

1. Rong sõidab kiirusega  $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Avalda see kiirus  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ -tes.
2. Vaatleja kuulis müristamist 6 sek. pärast välku. Kui kaugel vaatlejast lõi välku?
3. Jalgrattal võib ilma erilise pingutuseta sõita kiirusega  $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Kui pika vahemaa võib läbida jalgrattal sellise kiirusega sõites 1,5 tunniga?

### 6. MITTEÜHTLASE LIIKUMISE KESKMINE KIIRUS.

Nagu juba § 3 nimetatud, liiguvad rongid, aurikud, autod ja lennukid peatuste vahel mitteühtlaselt, s. t. võrdsetes ajavahemikes ei läbi nad võrdseid teeosi. Siiski aga räägitakse ka sel juhul rongi, auriku, auto või lennuki liikumise kiirusest. Millisest kiirusest on siis siin juttu?

Rääkides mitteühtlase liikumise kiirusest mingil teosal, mõtleme me selle all keskmist kiirust.

Vaatleme näidet.

Moskva ja Leningradi vaheline kaugus on 650 km. Rong läbib selle vahemaa 10 tunniga.

On arusaadav, et kogu tee ulatuses tervikuna liigub rong mitteühtlaselt. Aeg-ajalt liigub rong kiiresti (näiteks langustel), aeg-ajalt aeglaselt (tõusudel), mõnikord aga üldse ei liigu (jäämades).

Oletame nüüd, et Moskva ja Leningradi vahelise vahemaa 650 km läbis rong, mis liikus ühtlaselt, samuti 10 tunniga.

Jagades tee ajaga, leiame selle ühtlase liikumise kiiruse:

$$v = \frac{650 \text{ km}}{10 \text{ h}} = 65 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Kiirus  $65 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  on samal ajal ka Moskva ja Leningradi vahelise mitteühtlaselt liikuva rongi keskmiseks kiiruseks.

Et määrata keha keskmist kiirust mitteühtlasel liikumisel, tuleb keha poolt läbitud tee jagada selle tee läbimiseks kulunud ajaga.

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{keskmise kiirus} = \frac{\text{tee}}{\text{aeg}} \text{ ehk } v_k = \frac{s}{t}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|

Eelnevast teame, et täpselt samuti arvutatakse keha kiirust ka ühtlasel liikumisel, kus kiirus erinevalt mitteühtlase liikumise keskmisest kiirusest on mistahes teosal ühesugune.

Kui tee pikkus ja keha keskmine kiirus sellel teel on teada, siis võime leida keha liikumise aja, kui jagame keha poolt läbitud tee keskmise kiirusega.

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{aeg} = \frac{\text{tee}}{\text{keskmise kiirus}} \text{ ehk } t = \frac{s}{v_k}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|

Näiteks lendab lennuk TU-104, mille keskmine kiirus on  $800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  Moskvast Sverdlovskisse (1400 km)  $1\frac{3}{4}$  tunniga

$$(t = \frac{1400 \text{ km}}{800 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1,75 \text{ h}).$$



#### Harjutus 4.

1. Suusataja, kes laskis mäest alla, läbis 50 m 6 sekundiga. Olles jõudnud mäest alla, jätkas ta liikumist ning läbis kuni täieliku peatumiseni veel 30 m 15 sekundiga. Leia suusataja keskmine kiirus tema liikumisel mäeveerul ja kogu liikumise aja jooksul.

2. Rong läbis esimesed 200 m keskmise kiirusega  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ja järgmised 360 m keskmise kiirusega  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Leia rongi keskmine kiirus kogu sellel vahemaal.

3. Parimal uisutajal kulub 1500 m pikkuse distantsti läbimiseks ligikaudu 2 min. 12 sek.

Leia, millise keskmise kiirusega see uisutaja uisutab.

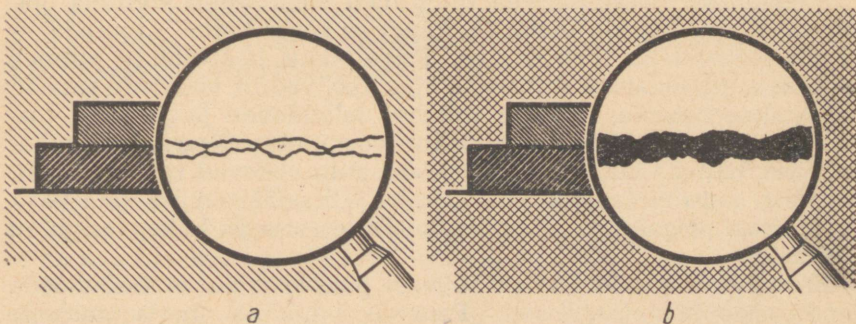
4. Nõukogude sportlane L. Kozõreva sõitis rahvusvahelistel suusatamisvõistlustel 10 km 49 minuti 25 sekundiga. Leia L. Kozõreva keskmine kiirus sellel distantsil.

#### 7. HÕORDEJÕUD.

Sageli võib näha, kuidas keha, mis liigub mingi jõu mõjul (s. t. temale mõjuva teise keha või teiste kehade tulemusena), aeglaselt peatub, kui selle jõu mõju lakkab.

Tööpingi osade liikumine lakkab, kui lülitada välja mootor; jalgratas peatub, kui jalgrattur lõpetab pedaalide sõtkumise. Andes uiskudele või suuskadele küllalt suure hoo, võib nendel teatud ajavahemiku vältel liuelda. Kui hoogu mitte juurde anda, siis libisemine lakkab. Kõigil vaadeldud juhtumitel põhjustab kehade peatumise **hõõrdumine**.

Üks hõõrdumise põhjustest on see, et kehade pinnad, isegi kõige siledamad, on siiski ebaühtlased, krobelised ja kriimustatud. Joonisel 12 (vasakul) on need ebatasasused kujutatud suurendatult. Puutudes üksteise vastu, takistavad konarused ühe keha liikumist teise pinnal. On veel teine hõõrdumise tekkimise põhjus — kokkupuutuvate kehade molekulide omavaheline külgetõmme.



Joon. 12. Pindade hõõrdumine määrdede puudumise (a) ja määrdede olemasolu (b) korral. Töötavad pinnad on antud läbilõikes.



Kui töötavate kehade pinnad on konarlikud, siis hõõrdumine on tingitud põhiliselt esimesest põhjusest. Väga siledate (poleeritud) pindade puhul ilmneb aga hõõrdumise molekulaarne loomus.

Hõõrdumist võib vähendada kümneid kordi, kui töötavate pindade vahele panna **määrdeõli**.

Määrde kiht (joon. 12, paremal) eraldab töötavate kehade pinnad ja ei võimalda neil kokku puutuda. Määretena kasutatakse enamasti mitmesuguseid õlisid.

Väga väike hõõrdumine mööda jääd libisemisel, näiteks uisutamisel, on samuti tingitud määrde olemasolust uisu ja jää vahel. Uisutamisel tekib nimelt uiskude ja jää vahel õhuke veekiht, mis täidabki määrde osa.

Hõõrdumine vähendab liikuva keha kiirust, see aga näitab, et sellele kehale mõjub jõud. (Tuleta meelde, et jõud on definitiooni järgi keha liikumise, enamasti tema kiiruse muutumise põhjus; vt. füüsika õpikut VI klassile, § 16.)

**Jõudu, mis takistab ühe keha liikumist teise pinnal, nimetatakse hõõrdejõuks.**

Eristatakse mitmesuguseid hõõrdumise liike, sõltuvalt sellest, kuidas toimub töötavate kehade omavaheline kokkupuutumine.

Kui üks keha libiseb mööda teist, siis kõneldakse **liugehõõrdumisest**. Selline on hõõrdumine, mis tekib saani libisemisel mööda lund, hõõveldamisel tekkiv hõõrdejõud hõõvli ja puu vahel, palgi ja palgi pilusse kinnisurutud saelehe vahel tekkiv hõõrdumine jne.

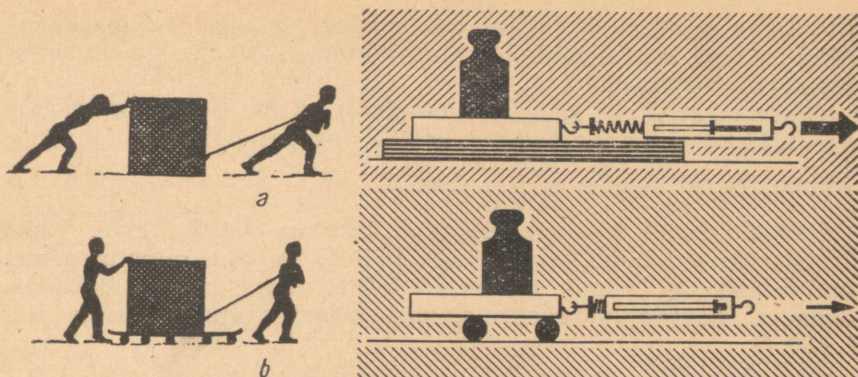
Autode, vagunit ja vankrite liikumisel nende rattad ei libise, vaid veerevad mööda mitmesuguseid pindu: mööda maanteed, rööpaide ja külavaheteid. Nendel juhtudel nimetatakse hõõrdumist **veerehõõrdumiseks**.

Hõõrdumine ilmneb ka siis, kui paigalseisvale kehale mõjub jõud, mis püüab teda nihutada mööda teise keha pinda. Sel juhul takistab hõõrdumine keha liikumishakkamist. Seda hõõrdumise liiki nimetatakse **paigaloleku hõõrdumiseks**.

Paigaloleku hõõrdumisega tuleb meil väga sageli kohtuda iga päevases elus. Rasket lauda või kappi on raske kohalt nihutada — segab paigaloleku hõõrdumine. Paigaloleku hõõrdumine ilmneb näiteks auto vedavate rataste ja maantee, veduri vedavate rataste ja raudteerööbastel, kõndiva inimese jalataldade ja jalgraja jne. kokkupuutepunktides. Paigaloleku hõõrdumise väga suurel vähenemisel, näiteks kiilasjäljel, pöörlevad auto vedavad rattad paigal, mistõttu auto ei saa liikuma hakata. Kiilasjäljel on ka käia väga raske, sest paigaloleku hõõrdumise vähenemisega hakkavad jalad libisema.

Et mõõta liugehõõrdumise suurust puuklotsi libisemisel mööda lauda, toimime järgmiselt. Paneme puuklotsi horisontaalsele lauale ja koormame teda kaaluvihiga. Hakkame nüüd ühtlaselt nihutama klotsi, kasutades seejuures dünamomeetrit (joon. 13,a).





Joon. 13. *a*-libisemisel esineva hõõrdejõu määramine; *b*-veeremisel esineva hõõrdejõu määramine.

Dünamomeetri näidu järgi võime määrata tõmbejõu suurust. Takistavaks jõuks antud juhul on hõõrdejõud, mis tekib klotsi liikumisel mööda laua pinda.

**Puuklotsi ühtlasel liikumisel on tõmbejõud võrdne hõõrdejõuga.** (Seda näidatakse üksikasjalikult § 13).

Seega, mõõtes tõmbejõu, leiame me ühtlasi ka hõõrdejõu.

Kasutades dünamomeetrit, võib samal viisil määrata liugehõõrdumise suurust ka teistel juhtumitel, näiteks saani libisemisel mööda lund, mingi koormuse nihutamisel mööda põrandat jne. Tarvilik on ainult, et saani või koormuse liikumine oleks ühtlane.

Paneme nüüd eespool kirjeldatud puuklotsi sellesama koormusega kahele ümmargusele pulgale (joon. 13,b). Kui mõõta nüüd hõõrdejõudu, siis on see tunduvalt väiksem kui libisemisel.

Vaatleme veel ühte näidet. Paneme raamatu kaldu ja paigutame sellele piki kallet ümmarguse pliiatsi. Pliiats jääb paigale. Paneme nüüd pliiatsi raamatule põigiti. Näeme, et pliiats ei jää sinna püsima. **Võrdsete koormuste puhul on veerehõõrdumine alati väiksem liugehõõrdumisest.**

## 8. HÕÖRDETEGUR.

Rasket kasti on põrandal raskem nihutada kui kergel.

Saani ühtlasel horisontaalsel liikumisel peab tõmbejõud olema seda suurem, mida rohkem on saan koormatud.

Nendest näidetest selgub, et mida raskem on keha, seda suuremat tõmbejõudu on vaja tema ühtlaseks nihutamiseks mingi teise keha pinnal ja seda suurem on järelikult ka hõõrdejõud.

Leiame katseliselt, millest sõltub hõõrdejõu suurus. Selleks

kasutame joonisel 19 kujutatud seadist, jätame seejuures aga klotsi vihiga koormamata. Kaalume klotsi ja määrame dünamomeetri abil hõrdejõu.

Oletame, et klotsi kaal (rõhumisjõud) on 800 G, dünamomeetri abil mõõdetud hõrdejõud aga 240 G. Jagades hõrdejõu suuruse rõhumisjõuga, saame:  $\frac{240 \text{ G}}{800 \text{ G}} = 0,3$ .

Paneme nüüd klotsi peale teise niisama raske klotsi. Kaks klotsi rõhuvad nüüd lauda jõuga 1600 G. Mõõtes dünamomeetri abil hõrdejõu, leiame, et see on 480 G, s. t. suurenes 2 korda. Jagades hõrdejõu rõhumisjõuga, saame samuti arvu 0,3 ( $\frac{480 \text{ G}}{1600 \text{ G}} = 0,3$ ).

Kui asetada teise klotsi peale niisamasugune kolmas klots, siis rõhumisjõud lauale on 2400 G ja hõrdejõud 720 G. Hõrdejõu ja rõhumisjõu suhe on ka antud juhul 0,3 ( $\frac{720 \text{ G}}{2400 \text{ G}} = 0,3$ ) nii nagu kahes eelmises katseski.

Sooritatud katsetest võime teha järgmised järeldused.

**1. Rõhumisjõu suurenemisega suureneb võrdeliselt ka hõrdejõud.**

Järelikult on hõrdejõud võrdeline rõhumisjõuga.

**2. Hõrdejõu ja rõhumisjõu suhe ei muutu rõhumisjõu muutumisel.**

**Hõrdejõu ja rõhumisjõu suhet nimetatakse hõõrdeteguriks.**

Kui hõõrdetegur tähistada tähega  $k$ , rõhumisjõud tähega  $F_r$  ja hõrdejõud tähega  $F_h$ , siis võib tehtud järelduse kirjutada järgmise valemiga:

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

Kui katseseadises asendada sile laud karedaga, siis näeme, et hõrdejõud suureneb. Järelikult suureneb ka hõõrdetegur. Katse abil võib näidata, et hõõrdetegur muutub ka siis, kui asendada üks aine teisega, näiteks puust laud metallplaadiga.

Seega sõltub hõõrdetegur kehade pindade omadustest: pindade töötluse kvaliteedist ja aimest, millest kehad on valmistatud.

Alljärgnevas tabelis on esitatud hõõrdetegurid mõningate ainete kohta.

#### Mõningate hõõrduvate kehade hõõrdetegurid

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Teras mööda jääd .....   | 0,02  |
| Puu mööda jääd .....     | 0,035 |
| Teras mööda terast ..... | 0,17  |



|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Tamm mööda tamme .....             | 0,2—0,4 |
| Nahkrihm mööda malmi .....         | 0,28    |
| Nahkrihm mööda puitu .....         | 0,4     |
| Rattakumm mööda kõva pinnast ..... | 0,4—0,6 |

Teades hõõrdetegurit ja rõhumisjõudu, võib arvutada hõõrdejõu suuruse valemi järgi:

$$F_h = kF_r$$

Kui keha liigub horisontaalsel teel, siis rõhumisjõuks on keha kaal.

Näide. Kui suurt jõudu on vaja rakendada, et vedada ühtlaselt püüst saani kaaluga  $P = 500$  kG horisontaalsel jääteel? Hõõrdetegur (puu mööda jääd)  $k = 0,035$ .

Lahendus.

$$F_h = 0,035 \cdot 500 \text{ kG} = 17,5 \text{ kG}.$$

$$F_h = F_t \text{ (} F_t \text{ — tõmbejõud)}.$$

Järelikult,

$$F_t = 17,5 \text{ kG}.$$

## 9. LABORATOORNE TÖÖ 1.

### Hõõrdeteguri määramine (puu mööda puud).

Töövahendid: puulaud; puuklots; 3 ühesuguse raskusega kaaluvihti; üks 1 kG raskune viht; dünamomeeter.

Töökäik.

1. Määra puuklotsi kaal.
2. Määra hõõrdejõud puuklotsi ühtlasel liikumisel ühe, kahe ja kolme vihiga.
3. Mõõtmise tulemused kirjuta tabelisse.

| Katse nr. | Hõõrdejõud $F_h$<br>G | Klotsi kaal koos vihtidega (rõhumisjõud) $F_r$<br>G | $\frac{F_h}{F_r} = k$ | Hõõrdeteguri $k$ keskmine väärtus |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|           |                       |                                                     |                       |                                   |

Arvuta leitud hõõrdeteguri keskmise väärtuse järgi hõõrdejõud juhtumil, kui klots on koormatud 1 kG raskuse vihiga. Kontrolli arvutamise tulemust katseliselt.

#### Harjutus 5.

1. Määrates katseliselt hõõrdetegurit malmi ja puu vahel, sai õpilane järgmised andmed:

| $F_r$ | $F_h$  |
|-------|--------|
| 2 kG  | 1 kG   |
| 3 kG  | 1,4 kG |
| 4 kG  | 1,9 kG |

Arvuta nende andmete põhjal hõõrdeteguri keskmine väärtus täpsusega 0,1.

2. Krohvija kasutab krohvi tasandamiseks puust silumislaua, millele ta vajutab jõuga 2 kG ning tõmbab mööda seina jõuga 0,6 kG. Leia hõõrdetegur.

3. Kaubarongi kogukaal on 2500 T. Määrata veduri poolt arendatav tõmbejõud ühtlasel liikumisel horisontaalsel teel, kui hõõrdetegur on 0,003.

4. Veoauto arendab ühtlasel horisontaalsel liikumisel veojõudu 175 kG. Arvuta auto kaal, kui hõõrdetegur on 0,04.

#### 10. HÕÖRDEJÕU SUURENDAMISE JA VÄHENDAMISE VIISID. KUUL- JA RULL-LAAGRID.

Hõõrdumisel on igapäevases elus ja tehnikas suur tähtsus.

Kõndimisel tõukame me ennast maast eemale. Kui hõõrdumine saapatalla ja maa vahel on väike, näiteks kiilasjää korral, siis on maast eemale tõugata raske, kuna tõukamisel jalad libisevad. Et kõndijate jalad ei libiseks, puistatakse tänavaile liiva. Selle tagajärjel suureneb hõõrdejõud saapataldade ja maa vahel.

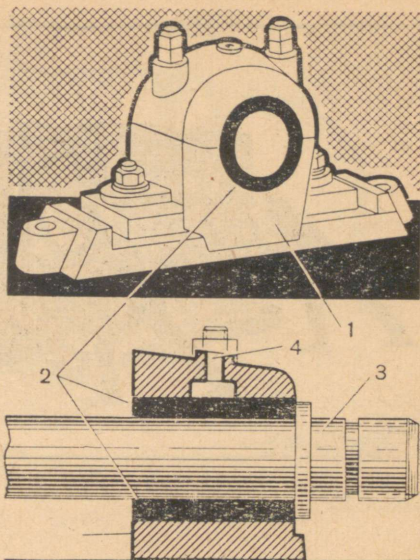
Mõnikord juhtub, et auto rattad hakkavad libeda teega kiiresti pöörlema, auto aga kohalt ei liigu. Selline olukord tekib siis, kui hõõrdejõud auto vedavate rataste<sup>1</sup> ja tee vahel on väike.

Et suurendada hõõrdumist, raputatakse teele liiva, rattakummid tehakse aga muustrilised, sügavate väljalõigetega. Talvel, kui tee on väga libe, pannakse mõnikord autode vedavate rataste ümber spetsiaalsed ketid.

Vaatleme veel ühte näidet hõõrdumise kasutamise kohta. Kooli töökojas kasutatava puurmasina puhul annab mootor puurile pöörleva liikumise edasi rihma abil. Et rihm ei libiseks ratasel,

<sup>1</sup> Auto vedavad rattad on ülekandesüsteemi abil ühendatud mootoriga, mis paneb need pöörlema. Vedavate ratastega (harilikult tagumised) nagu tõugatakse auto maast eemale.





Joon. 14. Liugelaager: 1 — laagri kere; 2 — laagriliud; 3 — laagris pöörlev völli; 4 — ava määrimiseks.

määritakse see kokku erilise kleepuva pastaga, mis suurendab hõõrdumist rihma ja ratta vahel.

Kõigil vaadeldud juhtumitel on hõõrdumine olnud kasulik nähtus.

Paljudel juhtudel on aga hõõrdumine kahjulik ja seepärast tuleb teda vähendada. Nii näiteks põhjustab hõõrdumine masinate liikuvate osade kulumist. Hõõrdumise vähendamiseks tehakse töötavad pinnad siledad ning neid määratakse õlidega (määretega).

Määrete kasutamine vähendab hõõrdejõudu 8—10 korda.

Hõõrdumise vähendamiseks pannakse masinate ja tööpinkide vöölid toetuma laagritele.

Laagri lahtist osa (joon. 14), mis vahetult puutub kokku völiga, nimetatakse laagriliuaks. Laagriliuad tehakse pronksist, malmist või terasest. Hõõrdumise vähendamiseks liua ja pöörleva telje vahel kaetakse malmist või terasest liua sisemised pinnad spetsiaalse sulamiga, kõige sagedamini babiidiga<sup>1</sup>.

Joonisel 14 on kujutatud laager, milles völli 3 libiseb pöörlemisel liua 2 pinnal. Sellist tüüpi laagreid nimetatakse liugelaagriteks.

Raskete esemete nihutamiseks pannakse neile väga sageli alla rullid (joon. 15). Selle võttega asendatakse liugehõõrdumine veerehõõrdumisega. Hõõrdejõud veeremisel, nii nagu juba varem kindlaks tegime, on aga üheraskuse koormuse korral tunduvalt väiksem kui libisemisel. Sellel nähtusel põhinebki kuul- ja rull-laagrite

<sup>1</sup> Babiit on plii, tina ja teiste metallide sulam.



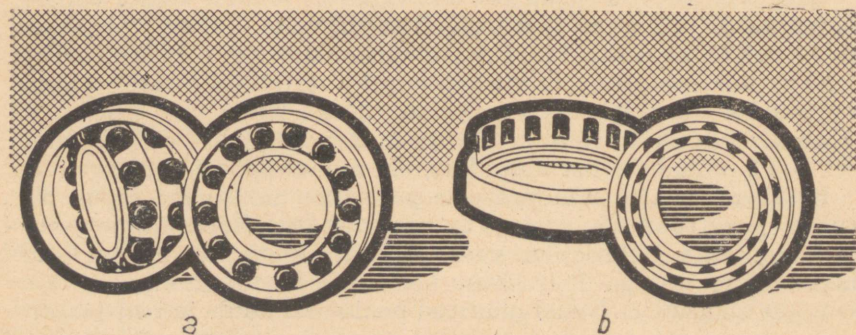
Joon. 15.

kasutamine. Sellistes laagrites pöörlev võll ei libise mööda laagri-liuda, vaid veereb teraskuulidel või -rullidel.

Laagri sisemine rõngas, mis on tehtud karastatud terasest, on kinnitatud võlli külge, väline rõngas aga masina kere külge. Kui võll pöörleb, siis sisemine rõngas veereb sisemise ja välimise rõnga vahel asetsevatel kuulidel või rullidel.

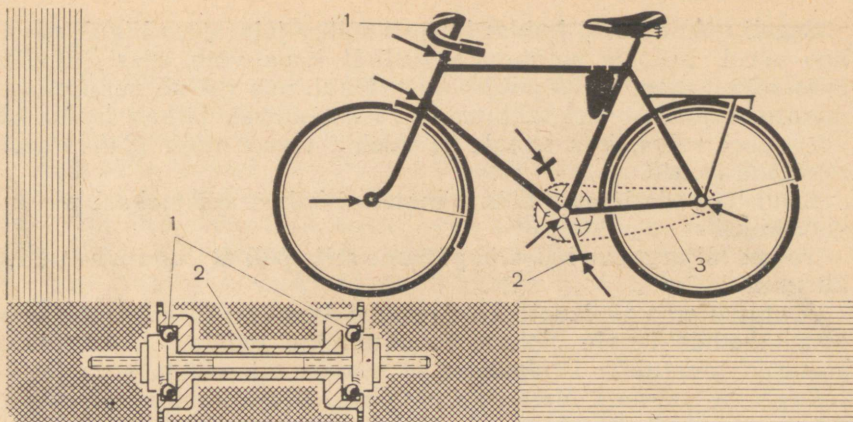
Liugelaagrite asendamine masinates kuul- või rull-laagritega võimaldab vähendada hõõrdejõudu 20—30 korda.

Kuul- ja rull-laagreid kasutatakse paljudes masinates: autodes, treipinkides, kudumismasinates, elektrimootorites, jalgratastes (joon. 17).



Joon. 16. Kuul- (a) ja rull-laagrid.





Joon. 17. Jalgratas: 1-juhtraud; 2-pedaal; 3-kettülekanne. Nooltega on näidatud kohad, kus asuvad kuullaagrid.

Kuullaagrid jalgratta rummus (all): 1 — kuulid; 2 — rattarumm.

### Harjutus 6.

1. Too näiteid selliste liikuvate kehade kohta, kus esineb liugehõõrdumine, veerehõõrdumine.

2. Milline sulle tuntud liikumistest on väikseima liugehõõrdumisega?

3. Kruvide keeramisel puusse määrivad tiserid kruvid eelnevalt vahaga. Milleks nad seda teevad?

4. Pange jalgratta ratas kiiresti pöörlema. Kui ratast mitte puudutada, siis pöörleb ta küllalt kaua. Korrake katset, hoides vastu ratta äärt papi-tükki või paberilehte. Miks sel korral ratas kiiresti peatub? Missugune jõud muudab ratta liikumist?

5. Miks pärast vihma on autoga ohtlik sõita langustel?

6. Miks jalgpallimeeskonna väravavaht tõmbab mängu ajaks kätte spetsiaalsed kindad, mille peopesad ja sõrmed on kaetud õhukese kareda kummi-kihiga?

7. Vaata töökojas, milliseid laagreid kasutatakse treipinkide ja puurpin-kide elektrimootorite juures.

### 11. INERTS.

Kogemusest teame, et kui mingi keha seisab paigal, siis ise- enesest, ilma põhjuseta, ta liikuma ei hakka.

Toolile asetatud raamat seisab paigal niikaua, kui keegi tõs- tab ta sealt teise kohta. Rong seisab paigal seni, kuni vedur teda ei tõmba. Koormus ei tõuse iseendast üles. Püssirauas olev kuul ei lenda rauast välja enne, kui püssirohu plahvatusel tekkivad gaasid teda sealt välja ei tõuka.

Kõigil juhtumel, kus keha tuleb viia paigalseisust välja, peab temale mõjuma mingi teine keha ehk, nagu tavaliselt öeldakse, kehale peab mõjuma mingi jõud.

Sageli võime näha, kuidas kiiresti sõitev jalgrattur liigub edasi hoo arvel, pedaalile sõtkumata. Küllalt kaua võib edasi liikuda auto pärast mootori väljalülitamist. Kuul, mis väljub püssirauast püssirohu plahvatusel tekkivate gaaside survel, jätkab lendu ka väljaspool relva, kus temale ei avalda enam mõju plahvatusel tekkinud gaasid.

Kuid lõppude lõpuks kõik nimetatud kehad aja jooksul peatuvad. Miks?

Teeme alljärgneva katse ja püüame selle põhjal vastata esitatud küsimusele.

Asetame oma töölauale kaldu mingi lauatüki ja kallame tema otsa lähedale lauale väikese liivahunniku. Paneme nüüd kaldu asetatud lauatükile vankrike ja laseme tal mööda seda lauatükki alla veereda. Vankrike, sattudes liivahunnikusse, peatub. Ajame seejärel liivahunniku ühtlaselt lauale laiali ja laseme vankrikesel uuesti samalt kõrguselt alla veereda. Näeme, et vankrike läbib laual suurema vahemaa, enne kui peatub. Kui aga vankrike teelt üldse liiv ära võtta, siis vankrike läbib peatumiseni veelgi suurema vahemaa. Liiv suurendab tunduvalt hõõrdumist, mis takistab vankrike liikumist.

Järelikult, vankrike liikumine kestab seda kauem, mida vähem takistusi kohtab vankrike oma teel. Väikese takistusega liikumise näiteks võiks olla Maa kunstlike kaaslaste liikumine. Ülemine atmosfääri kiht ei avalda nende liikumisele peaaegu mingit takistavat mõju, mistõttu sputnikud võivad tiirelda ümber Maa pika aja vältel.

Kui liikumist ei mõjutaks üldse mingid takistused, siis mistahes liikumapandud keha jätkaks liikumist kuitahes kaua.

Sellele järeldusele tuli esimesena itaalia õpetlane Galileo Galilei, kes vaatles paljude erinevate kehade liikumist.

Kuulus inglise õpetlane Isaac Newton (1643—1727) viis selle Galilei avastuse teadusesse mehhaanika ühe põhiseadusena.

Vaatlused näitavad, et sirgjooneliselt liikuv keha ei saa iseendast muuta ka oma liikumise suunda.

Nii näiteks, et suunata lendavat palli väravasse, peab jalgpallur lööma palli kas jalaga või peaga.

Seega, paigalseisev keha ei saa iseenesest (ilma teiste kehade mõjuta temale) hakata liikuma, liikuv keha aga ei saa iseenesest ei peatuda ega ka muuta oma liikumise suunda.

**Keha omadust säilitada paigalolekut või ühtlast sirgjoonelist liikumist nimetatakse keha inertsiks.**

Inerts on omadus, mis on kõigil looduses olevatel kehal.

Kehade inertsiga tuleb meil kohtuda alati, kui tuleb mingi keha panna liikuma, peatada või muuta tema liikumise suunda.

Jooksmisel tuleb meil rakendada jõudu, et jooksu kiirendada. Kiiresti joostes ei ole aga võimalik momentaanselt seisma jääda.



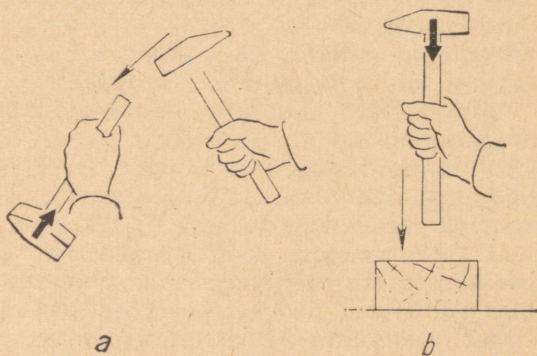
Igaüks teab, kui raske on kiiresti jooksva inimesel äkki muuta oma liikumise suunda.

Üheski tööpingis pole võimalik inertsit tõttu panna otsekohe kiiresti liikuma tööpingi mingit osa või töödeldavat detaili, samuti aga ka neid silmapilkselt peatada.

Väga suur tähtsus on inertsil transpordis. Inertsit tõttu pole võimalik silmapilkselt peatada liikuvat autot, trammi või rongi. Isegi siis, kui pidurdada autot, s. t. katkestada rataste pöörlemine, liigub auto teatud maa siiski edasi, libisedes ratastega teel. Auto või rongi järsul pidurdamisel võivad reisijad kukkuda, sest inertsit tõttu jätkavad nad esialgset liikumist.

### Harjutus 7.

1. Too näiteid kehade liikumise kohta inertsit mõjul.
2. Miks on võimalik panna haamrit varre otsa nii, nagu näidatud joonisel 18, a?
3. Joonisel 18, b on näidatud veel teine viis haamri panemiseks varre otsa. Selgita seda.



Joon. 18. Kaks viisi haamri panemiseks varre otsa.

4. Miks komistav inimene mõnikord kukub? Missugusesse suunda?
5. Millel põhineb riiete puhastamine tolmust nende kloppimisel ja harjamisel?
6. Momendil, mil inimene pärast hüpet puudutab jalgadega maapinda, kõverdab ta jalad. Selgita, miks.
7. Selgita, miks vankrikesel asetsev puuklots kukub, kui vankrike järsku peatub.
8. Kummale hõõvliplaku otsale tuleb lüüa vasaraga, et hõõvliraud tuleks rohkem välja? läheks rohkem sisse?
9. Millisesse suunda kalduvad autobussis olevad reisijad, kui autobuss hakkab kohalt liikuma; peatub; pöörduv paremale; pöörduv vasakule?

## 12. KUIDAS VÕIB SAADA ÜHTLAST SIRGJOONELIST LIIKUMIST?

Nüüd me teame, et kui kehale ei mõju jõud, siis ta kas seisab paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Kuid praktiliselt mõjuvad kõikidele kehadele alati mingid jõud (raskusjõud, hõõrdejõud jt.), mida ei ole võimalik kuidagi vältida. Kuidas siis sellisel juhtumil saada ühtlast sirgjoonelist liikumist? Teeme alljärgneva katse.

Kinnitame puust klotsi külge kaks dünamomeetrit (joon. 19) ning rakendame nende abil klotsidele kaks võrdset ja vastassuunalist jõudu, mis mõjuvad üht ja sama sirget mööda. Näeme, et klots jääb paigale.



Joon. 19.

Järelikult, keha jääb paigale mitte ainult siis, kui temale ei mõju ühtegi jõudu, vaid ka siis, kui mõjuvad jõud on oma suuruse poolest võrdsed, suunalt vastupidised ning mõjuvad mööda ühte ja sama sirget.

Vaatleme nüüd, milles avaldub kahe võrdse ja vastassuunas mõjuva jõu mõju mingile liikuvale kehale, näiteks autole.

Auto nihkub kohalt ja arendab kiirust tänu veojõule, mida tekitab auto mootor. Kuid koos kiiruse kasvuga hakkab kasvama ka liikumistakistus, mis mõjub alati keha liikumise suunale vastassuunas. Mingi kiiruse juures saab takistusjõud, mis tekib vastuvoolava õhu ja rataste ning tee vahelise hõõrdumise tõttu, võrdseks auto mootori poolt arendatava veojõuga. Niipea aga, kui veojõud ja takistusjõud saavad oma suuruse poolest võrdseteks, tasakaalustavad nad teineteist, sest nad mõjuvad alati üht ja sama sirget mööda ning vastassuundades.

Nende jõudude koosmõju autole muutub nulliks. Sellest momendist alates liigub auto saavutatud kiirusega ühtlaselt ja sirgjooneliselt.

Samuti liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt aurik, kui tema mootorite poolt arendatav veojõud saab võrdseks vee ja õhu takistusjõuga.

Kõike eespool öeldut võib üle kanda mistahes kehale, mis aga liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt: rongile, lennukile, raketile jt.

**Kui veojõud on võrdne takistusjõuga, siis liigub keha ühtlaselt ja sirgjooneliselt.**

Varem meie poolt tehtud katses (§ 7, klotsi nihutamine mööda lauda) rakendati veojõudu, mida me mõõtsime dünamomeetriga, hõõrdejõu ületamiseks. Kuna klotsi liikumine oli ühtlane, siis ka veojõud oli võrdne hõõrdejõuga.



### 13. MÕJU JA VASTUMÕJU.

Rõhudes käega lauale, tunneme, et ka laud avaldab meie käele rõhku. Lauale rakendatud jõud on suunatud vertikaalselt alla, käele rakendatud jõud aga vertikaalselt üles.

Mootorpaadi propeller lükkab vett tagasi, mootorpaat ise liigub aga edasi.

Järelikult nii veele kui ka paadile on rakendatud jõud. Need kaks jõudu on vastassuunalised. Kummalgi neist on oma mõju. Veele mõjuva propelleri veojõud ajab vett tagasi, vee poolt propellerile mõjuv jõud lükkab aga propellerit ja koos sellega ka kogu paati edasi.

Auruveduri (elektriveduri) veorattad toetuvad rööbastele, kusjuures nad pöörlevad ning jõuga  $F$  lükkavad rööpaid tagasi (joon. 20). Jõud  $F_1$ , millega rööpad mõjuvad ratastele, sunnib aga auruveurit liikuma edasi. Ka antud juhtumil on jõud rakendatud erinevatele kehadele: rööbastele ja ratastele.

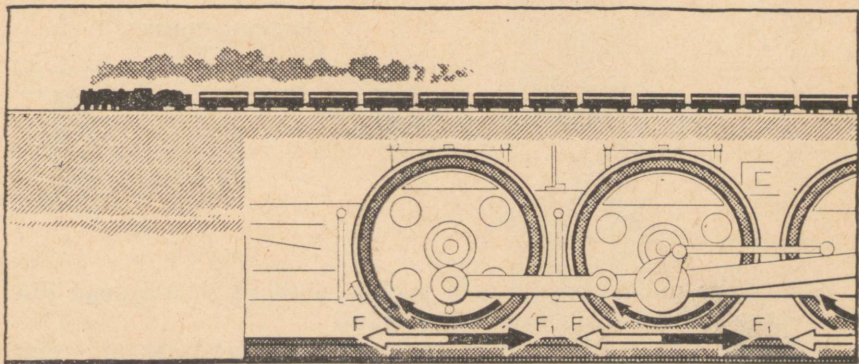
Kui ühte jõududest nimetame *mõjuks*, siis teine jõud on ilmselt *vastumõju*. Nimetatud jõud mõjuvad alati üheaegselt: kui ei ole ühte, siis ei ole ka teist.

**Kui on olemas mõju, siis on olemas ka vastumõju.**

Mõju on rakendatud ühele, vastumõju aga teisele teineteist mõjutavale kehale. Kehadele, millele need jõud on rakendatud, avaldavad nad vastavat mõju.

Selgitame seda järgmise lihtsa näite abil.

Laual lebab raamat, mis on paigal. Vaatleme, millised jõud temale mõjuvad. Raamatule mõjub esiteks raskusjõud (tema kaal). Kuid kui kehale mõjub üksainus jõud, siis keha ei saa olla paigal. Järelikult peab raamatule mõjuma veel vähemalt üks jõud. Mis jõud see on?



Joon. 20.

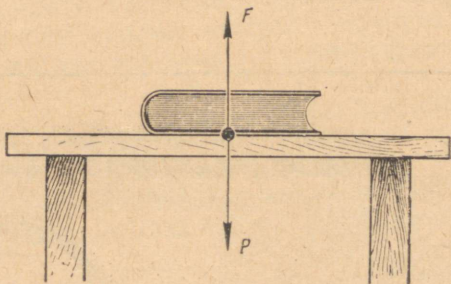


**Isaac Newton** (1643—1727) — geniaalne inglise füüsik ja matemaatik. Avastas mehhaanika põhi-seadused, uuris valguse paljusid omadusi ning arendas edasi kõrgema matemaatika tähtsamaid osi.

Raamat peaks omaenda raskuse mõjul langema. Langemist takistab aga laud. Raamat rõhub lauda oma raskusjõuga, kuid samal ajal avaldab laud mõju ka raamatule.

Seega osutub, et raamatule mõjub kaks jõudu: tema kaal  $P$ , mis on suunatud vertikaalselt alla, ja jõud  $F$ , millega laud rõhub raamatule.

Raamat asetseb paigal. Siit järeldame, et jõud  $P$  (raamatu rõhuline lauale) ja jõud  $F$  (laua rõhuline raamatule) on oma suuruse poolest võrdsed ja vastassuunalised (joon. 21).



Joon. 21.

Kahe keha mõjud on suuruse poolest võrdsed ja mõjuvad üht ning sama sirget mööda vastassuundades.

Seejuures on üks jõud rakendatud ühele, teine teisele teineteist mõjutavale kehale. Seda on vaja meeles pidada.

Kehade vastastikuse mõju seaduse avastas Isaac Newton.



## Harjutus 8.

1. Selgita, milliste jõudude mõjul osutub võimalikuks käimine. Mida võib käimise puhul nimetada mõjuks ja mida vastumõjuks?
2. Kui käia mööda vee peal ujuvat paati pärast ninani, siis paat hakkab liikuma ninast pära suunas. Miks?
3. Olles paadis ja soovides paati kaldale tõmmata, me tõmbame nööri, mis on seotud kaldasse löödud posti külge. Millised on siin mõjuvad jõud?
4. Miks hakkab oks kõikuma, kui temalt tõuseb lendu lind?

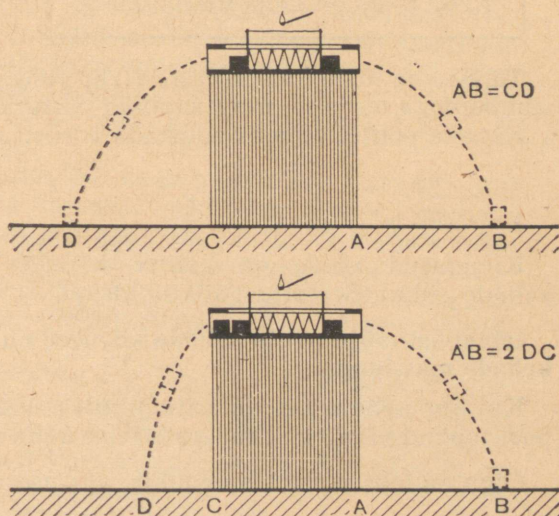
## 14. KEHA MASS. TIHEDUS.

**1. Keha mass.** Me juba teame, et inerts on kõikide kehade üldine omadus. Inerts on olemas nii suurtel ookeanilaevadel kui ka aine väikseimatel osakestel — molekulidel, aatomitel jne.

Kuna igal kehal on olemas inerts, siis võib keha muuta oma kiirust (suurendada või vähendada) vaid ainult jõudude mõjul. Et näiteks panna paigalseisvat jalgpalli mingi kiirusega liikuma, tuleb teda lüüa jalaga. Mida suuremat kiirust tahame jalgpallile anda, seda tugevam peab olema löök. Täpselt samuti, et peatada liikuvat keha, tuleb temale mõjuda jõuga, mille suund on keha liikumise suunale vastupidine. Mida suurem on keha kiirus ja mida kiiremini me tahame teda peatada, seda suuremat pidurdavat jõudu on meil selleks vaja.

Kuid peale jõudude suuruse avaldab keha liikumise kiiruse muutumisele mõju ka liikuva keha enda omadus — tema inerts.

Teeme järgmise katse. Surume joonisel 22 (ülal) kujutatud seadeldise vedru kokku ning seome siis vedru niidiga kinni. Torusse



Joon. 22.

vedru otste juurde paneme ühesugused koormused. Kui niit läbi põletada, siis vedru sirgestub ja surub mõlemale koormusele, andes neile teatud kindla kiiruse. Kuna koormused on ühesugused ja nendele vedru poolt mõjuvad jõud on võrdsed (kui mõju ja vastumõju), siis saavad koormused ühesugused kiirused ning nad liiguvad horisontaalsuunas võrdsetele kaugustele.

Kordame katset, seda mõnevõrra muutes. Ühele poole asetame torusse samasuguse koormuse nagu esimesel korralgi, teisele poole aga kaks korda suurema koormuse (joon. 22, all). Laseme nüüd vedrul mõjuda koormustele. Nii nagu esimesel juhul, on ka nüüd vedru mõju kummalegi koormusele ühesugune, kuid koormused liiguvad erinevatele kaugustele.

Tee, mille läbib kaks korda suurem koormus horisontaalsuunas, on kaks korda väiksem vähema koormuse poolt läbitud teest. See ütleb seda, et võrdse jõu mõjul sai kaks korda suurem koormus kaks korda väiksema kiiruse kui kergem koormus.

Tehes veel kord ühe katse, pannes vedru ühe otsa juurde kolm korda suurema koormuse (kolmekordse koormuse) kui teise otsa juurde, näeme, et sel korral on kolmekordse koormuse kiirus kolm korda väiksem jne.

Nendest katsetest võib järeldada, et erinevatel kehal on erinev inerts. Raskemal kehal on inerts suurem, kergemal väiksem. See väljendub selles, et võrdse jõu mõjul saab raskem keha väiksema kiiruse.

**Füüsikalist suurust, mis iseloomustab keha inertsit, nimetatakse keha massiks.**

Keha mass on keha inertsit mõõt.

Tähistame meie katses vastastikku mõjuvate koormuste massid sümbolitega  $m_1$  ja  $m_2$  ning kiirused vastavalt sümbolitega  $v_1$  ja  $v_2$ .

Katsete põhjal võib moodustada võrde:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Kirjutatud võrre on kehtiv kõikide teineteist mõjutavate kehade puhul. Seetõttu võib ütelda, et

**teineteist mõjutavate kehade kiirused on pöördvõrdelised nende kehade massidega.**

Kui ühe keha mass võtta tinglikult massiühikuks, siis võib eespool toodud võrde abil määrata teise keha massi.

Olgu näiteks  $m_1 = 1$  massiühik, siis  $m_2 = \frac{v_1}{v_2} \cdot 1$  massiühikut.



**2. Mass ja keha kaal.** Mass ei iseloomusta mitte ainult kehade inertsi, vaid ka nende teist omadust — kehade vastastikust külgetõmbejõudu. Inglise õpetlane Isaac Newton avastas looduseaduse, mille kohaselt kehade vahel on olemas külgetõmbejõud. Mida suuremad on kehade massid, seda suurem on nendevaheline külgetõmbejõud. Kehadevahelise kauguse suurenemisel külgetõmbejõud väheneb.

Maa peal asuva keha raskusjõud pole midagi muud kui keha ja Maa vahel valitsev vastastikune külgetõmbejõud.

**Jõudu, millega keha Maa raskusjõu mõjul rõhub liikumatule horisontaalsele pinnale või vertikaalsele ülesriputusnööri, nimetatakse keha kaaluks.**

Mida suurem on keha mass, seda suurema jõuga tõmmatakse keha Maa poole ning, järelikult, seda suurem on ka keha kaal. Keha kaal on võrdeline keha massiga.

Niisiis, keha mass iseloomustab keha kahte omadust: inertsi ja kehade vastastikust külgetõmbejõudu, eriti Maa külgetõmbejõudu.

*Mass ja keha kaal on erinevad füüsikalised suurused, mida ei tohi teineteisega segi ajada.*

Mass on kõige üldisem ja püsivam keha karakteristik. Keha mass ei sõltu keha asendist ruumis. Keha võib ümber paigutada pooluselt ekvaatorile, tõsta kuitahes kõrgele, viia kosmoseraketiga Kuule või mõnele teisele planeedile, kuid alati on tal üks ja see sama mass. Seega erineb mass oluliselt keha kaalust.

Kaal on jõud, millega Maa (või mõni teine planeet) tõmbab keha enda poole.

Kaal, nagu me juba teame, sõltub keha asendist Maa pinnal. Erinevates maakera punktides on ühe ja sellesama keha kaal erinev. Kõige suurem on ta poolustel ja kõige väiksem ekvaatorialadel. Tõstes keha Maa pinnalt kõrgemale, väheneb tema kaal. Maa ümber tiirlevas kosmoselaeva kabiinis täheldatakse aga täielikku kaalutust. Esemed, mis paiknevad kosmoselaeva kabiinis, ei avalda alusele mingit rõhku.

Keha mass jääb aga ka siis, kui keha on kaaluta olekus, muutumatuks. Selleks et panna kaalutut keha kosmoselaeva kabiinis kindla kiirusega liikuma või peatada teda, on tarvis mõjuda talle täpselt samasuguse jõuga, nagu tavalistes maapealsetes tingimustes. Nõukogude kosmonaut G. Titov jutustas, et teda löi valusasti kinokaamera, mis kaaluta olekus liikus vabalt kosmoselaeva kabiinis.

**3. Massiühik. Massi mõõtmine.** Me juba teame, et rahvusvaheliseks kaaluühikuks (jõuühikuks) on võetud Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos Sèvres'i linnas (Prantsusmaal) asuva plaatina-iriidiüksilindri kaal Pariisi laiuskraadil. See silinder on kujutatud VI klassi õpikus joonisel 45.

Massiühikuks võetakse sellesama silindri mass (sel juhul pole



maakoha laiuskraad oluline, sest keha mass ei sõltu keha asendist ruumis).

*Massiühikut nimetatakse kilogrammiks.*

*Kaalühikut nimetatakse samuti kilogrammiks (täpsemalt — jõukilogrammiks).*

Suurema selguse saamiseks oleks parem rääkida alati massikilogrammist või jõukilogrammist, olenevalt olukorrast. Õpikus on kasutatud järgmist tähistusviisi: kg — massikilogrammi tarvis kG — jõukilogrammi tarvis. Kuid mingit arusaamatust ei teki ka siis, kui keha kaalu, nagu iga teistki jõudu, väljendada jõuühikutega — njuutonites (N):

$$1 \text{ kG} = 9,8 \text{ N.}$$

Tuhandikku ühest kilogrammist nimetatakse grammiks (1 g). Tihti on massiühikutena kasutusel ka 1 tsentner (1 ts) ja 1 tonn (1 t).

Erinevate kehade massi mõõtmiseks võiks võrrelda nende kehade inertsiooni joonisel 22 kujutatud seadeldise abil. Kiiruste järgi, millega eemalduvad võrreldavad kehad, võib otsustada, missuguse keha mass on suurem ja mitu korda.

Praktiliselt pole aga see meetod alati sobiv, eriti siis, kui keha mõõtmed on suured, keha on keerulise kujuga jne. Seetõttu kasutatakse massi mõõtmiseks teist meetodit, mis põhineb sellel, et maakeral antud kohas on mass rangelt võrdeline kaaluga.

Et sel meetodil määrata keha massi, tuleb keha tasakaalustada kangkaaludel vihtidega. Keha mass on võrdne vihtide kogumassiga. Õigupoolest ongi kaalumise kangkaaludel keha massi määramine tema võrdlemise teel kaaluvihtide massiga.

Kangkaalude ja kaaluvihtide komplekti abil võib mõõta keha massi igas maapinna punktis, jättes arvestamata keha kaalu muutumise sõltuvalt laiuskraadist. See on selgitatav sellega, et teisel laiuskraadil muutub võrdeliselt nii keha kaal kui ka kaaluvihtide kaal, nende mass aga jääb muutumatuks.

Ühest ja samast ainest kehaadel võib mass olla ka aine hulga mõõduks (nagu näiteks ka nende ruumala). Näiteks on vasest viiekopikalise mass 5 korda suurem vasest ühekopikalise massist ja vase hulk viiekopikalises on 5 korda suurem kui ühekopikalises.

Erinevast ainest kehade mass ei saa olla neis sisalduva aine hulga mõõduks.

Kui me näiteks ütleme, et palgi mass on võrdne terasreli massiga, siis tähendab see ainult seda, et palgil ja relsil on ühesugune inerts ja ühes ning samas kohas tõmbuvad Maa külge ühesuguse jõuga (nende kaal on võrdne). Kuid mitte mingil juhul ei või me väita, et palgis sisaldub niisama palju ainet kui terasrels.

**4. Tihedus. Tiheduseks nimetatakse antud aine ühe ruumalaühiku massi.** Et leida aine tihedust, tuleb sellest ainest keha mass jagada keha ruumalaga.



Tähistame keha massi sümboliga  $m$ , ruumala tähega  $V$  ja tiheduse tähega  $D$ . Tiheduse võime siis väljendada valemiga

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

Aine tiheduse mõõtühikuteks on  $\frac{g}{cm^3}$ ,  $\frac{kg}{dm^3}$ ,  $\frac{t}{m^3}$ .

Selliste mõõtühikute kasutamisel ühtivad erinevate ainete tiheduste arvulised väärtused erikaalude väärtustega. Nii on puhta vee tihedus 4°C juures  $1 \frac{g}{cm^3}$ , elavhõbeda tihedus  $13,6 \frac{g}{cm^3}$ , vase tihedus  $8,9 \frac{g}{cm^3}$  jne.

Tuleb silmas pidada, et aine tihedus ja erikaal on erinevad füüsikalised suurused, nii nagu seda on mass ja kaal. Tihedus on üldisem ja püsivam aine karakteristik, sest määratuna massi kaudu ei sõltu ta mõõtmiskohast. Erikaal aga (nagu keha kaalgi) sõltub sellest, millises maakera punktis tema mõõtmist teostati.

#### Harjutus 9.

1. Missuguseid keha omadusi iseloomustab mass?
2. Missugune ühik on võetud massiühikuks?
3. Mille abil saab mõõta keha massi?
4. Missugusel keha omadusel põhineb keha massi määramine kangkaalude abil?
5. Mida nimetatakse aine tiheduseks?
6. Kivi mass on 450,0 g ja ruumala 300,0 cm<sup>3</sup>. Kui suur on kivi tihedus?
7. Metallitüki mass on 89 g ja ruumala 10 dm<sup>3</sup>. Mis metall see on?
8. Kui suur on iga järgmise veekoguse mass: 10 cm<sup>3</sup>; 10 l; 10 m<sup>3</sup>?
9. Kui suur on 100 cm<sup>3</sup> plii mass; 20 cm<sup>3</sup> elavhõbeda mass?
10. Keha, mille mass on 1 kg, kaalub Moskvast 1,0009 kG, Leningradis aga 1,0013 kG. Kasutades neid andmeid, arvutada, mitu grammi kaalub 120-kilogrammne tõstekang Moskvast vähem kui Leningradis. Kas on sellel erinevusel tähtsust tõstevõistluste läbiviimisel?
11. Maantesilla ees asuval liiklusmärgil on kirjutus «10 tonni». Kas antud juhtumil on tegemist massiga või kaaluga?
12. Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis<sup>1</sup> on massi, pikkuse ja aja ühikuteks vastavalt 1 kg, 1 m ja 1 s.  
 1) Millistes ühikutes mõõdetakse selles süsteemis tihedust?  
 2) Väljendada rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis vee, alumiiniumi ja raua tihedus.
13. Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis on jõu ühikuks 1 njuuton (lühidalt: 1 N).  
 $1 N = \frac{1}{9,8} \text{ kG}.$   
 Väljendada njuutonites keha kaal, kui keha mass on 1 kg, 5 kg, 10 kg.
14. Millistes ühikutes mõõdetakse rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kiirust ja erikaalu?
15. Väljendada rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis vee, alumiiniumi ja raua erikaal.

<sup>1</sup> Füüsikaliste suuruste rahvusvahelist mõõtühikute süsteemi tähistatakse lühidalt SI (internatsionaalne süsteem).

## JÕUDUDE LIITMINE. KEHADE TASAKAAL.

### 15. JÕUDUDE LIITMINE. RESULTANTJÕUD.

Harilikult mõjub kehale üheaegselt mitte üks, vaid mitu jõudu. Nii näiteks mõjub saagimisel saele inimese jõud, laua takistusjõud ja lõpuks sae raskusjõud. Liikuvale laevale mõjub laevakruvi tõmbejõud, vee ja õhu takistusjõud, raskusjõud ning vee üleslükkejõud. (Tuleta meelde Arhimedese seadust.)

See kõik teeb kehade liikumise tundmaõppimise keeruliseks. Ülesanne muutub aga lihtsamaks, kui igal taolisel juhtumil asendada paljud reaalselt kehale rakendatud jõud ühe jõuga, mis on oma mõju poolest samaväärne kõikide nende jõududega.

**Jõudu, mis avaldab kehale samasugust mõju kui mitu jõudu koos, nimetatakse nende jõudude resultantjõuks.**

Jõudusid, mis me asendame resultantjõuga, nimetatakse **komponentjõududeks**.

Mitme jõu resultantjõu leidmist nimetatakse nende jõudude liitmiseks.

### 16. KAHE ÜHEL SIRGEL MÕJUVA JÕU LIITMINE.

Mõningates maakohtades leidub selliseid raudteelõike, kus raudtee tõuseb väga järsult mäkke, mida üks rongi vedav auruvedur ei suuda ületada. Sellistel juhtumitel kasutatakse «tõukajat»; selleks on teine auruvedur, mis tõukab rongi tagant.

Oletame, et esimene auruvedur veab rongi jõuga 14 000 kG, teine aga tõukab rongi jõuga 10 000 kG. Nende kahe veduri koostöö tulemusena jõuab rong edukalt mäele. Mootorvedur võib aga viia rongi mööda sama teed sama kiirusega ka üksi, kuid selleks peab ta arendama veojõudu 24 000 kG.

Jõud 24 000 kG on kahe jõu — 14 000 kG ja 10 000 kG — resultantjõud. Need kaks jõudu mõjuvad ühel ja samal sirgel ning ühes ja samas suunas. Resultantjõud on võrdne nende kahe jõu summaga:  $24\,000\text{ kG} = 14\,000\text{ kG} + 10\,000\text{ kG}$ .



Teeme järgmise katse. Riputame vedru külge teineteise alla kaks vihti, mis kaaluvad vastavalt 100 G ja 200 G (joon. 23, a), ning märgime üles pikkuse, mille võrra vedru välja venib. Võtame seejärel vihid vedru küljest ära ja asendame nad ühe sellise vihiga, mis venitab vedru välja sama pikkuse võrra (joon. 23, b). Vihi kaal osutub võrdseks 300 G-ga.

Kuidas me ka ei muudaks nende kahe vihi kaalu, alati on selle vihi kaal, mis venitab vedru välja niisama palju kui kaks esimest vihtigi, võrdne nende kahe vihi kaalude summaga.

Tuginedes toodud näitele ja katsele, järeldame, et **kahe ühel ja samal sirgel mõjuva samasuunalise jõu resultantjõud on võrdne nende jõudude summaga ning suunatud samale poole.**

Joonisel 24 on kehale mõjuv resultantjõud tähistatud tähega  $R$ , komponentjõud aga tähtedega  $F_1$  ja  $F_2$ .

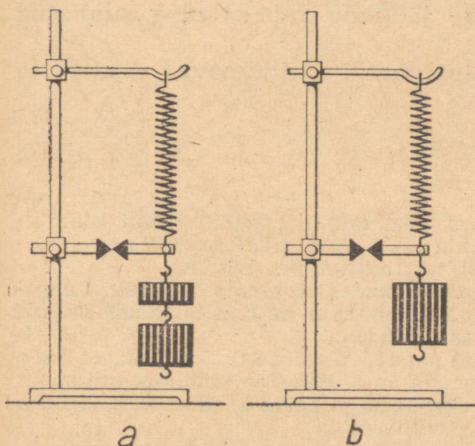
Ei ole raske näha, et kui kehale mõjub mööda sirget kaks vastassuunalist jõudu, siis resultantjõud on võrdne nende kahe jõu vahega.

Seda väidet on kerge kontrollida katseliselt.

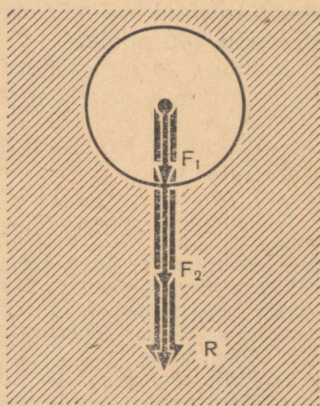
Asetame dünamomeetri kausile (joon. 25, a) 500 G raskuse vihi. Dünamomeetri osuti näitab jõudu 500 G, millega viht rõhub kausile. Seome nüüd vihi külge niidi ja selle teise otsa külge dünamomeetri, mida tõmbame ülespoole jõuga 200 G (joon. 25, b).

Nüüd on dünamomeetri kausil olevale vihile rakendatud kaks jõudu: vertikaalselt alla suunatud raskusjõud (vihi kaal) 500 G ning vertikaalselt üles suunatud jõud 200 G.

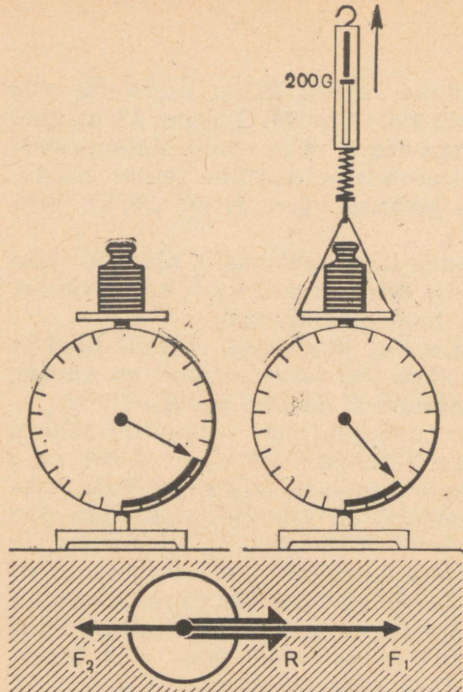
Dünamomeeter näitab sel juhul jõudu 300 G. See jõud on jõu-



Joon. 23.



Joon. 24.



Joon. 25. (ülal)  
Joon. 26. (all)

dude 500 G ja 200 g resultantjõud ning võrdne nende vahega ( $300 \text{ G} = 500 \text{ G} - 200 \text{ G}$ ). Kui aga tõmmata vihti ülespoole jõuga 500 G, siis dünamomeetri osuti peatub nulljaotusel. Resultantjõud osutub sel juhtumil võrdseks nulliga ( $500 \text{ G} - 500 \text{ G} = 0$ ).

Niisiis, kahe ühel ja samal sirgel mõjuva vastassuunalise jõu resultantjõud on võrdne nende jõudude vahega ning suunatud suurema jõu poole.

Joonisel 26 on näidatud vastassuunalised liidetavad jõud  $F_1$  ja  $F_2$  ning nende resultantjõud  $R$ .

### Harjutus 10.

1. Keha ujub vee pinnal. Millised jõud mõjuvad kehale? Kui suur on nende jõudude resultantjõud? Kujuta need jõud graafiliselt. Vasta samadele küsimustele sellise keha korral, mis asetseb vee põhjas.

2. Langevarjur laskub langevarjuga, liikudes seejuures ühtlaselt. Langevarjur koos langevarjuga kaalub 70 kG. Kui suur on õhu takistus? Kujuta need kaks jõudu vastavas mõõtkavas joonisel.

3. Keha, mille kaal on 2,5 kG, on pandud üleni vette, kuid nii, et keha ei puuduta anuma põhja. Keha ruumala on  $3 \text{ dm}^3$ . Tee kindlaks, kui suurt ja millise suunaga jõudu on vaja rakendada, et hoida keha sellises asendis. Kujuta kõik kehale mõjuvad jõud graafiliselt.

4. Aurik, väljudes sadamast, liigub järjest suurema kiirusega (kiirenevalt). Kujuta need jõud joonisel, rakendades jõud ühte punkti.



## 17. RASKUSKESE.

Võtame pika joonlauda ja riputame selle niidi külge, sõlmides silmuse nii, et seda oleks võimalik mööda joonlauda edasi nihutada. Muutes nüüd silmuse asendit, saab leida niidi sellise koha, kus joonlaud on **tasakaalus**, s. t. kus joonlauda üks ots ei ole teisest kõrgemal. Sel juhul öeldakse, et joonlaud on riputatud üles **raskuskeskmest**. Joonlauda võib seada tasakaalu ka sel juhul, kui asetada ta mingile toele, näiteks pliatsile või sõrmele.

Raskuskeske on igal kehal. Kui keha riputada üles tema raskuskeskmest, siis jääb ta tasakaalu.

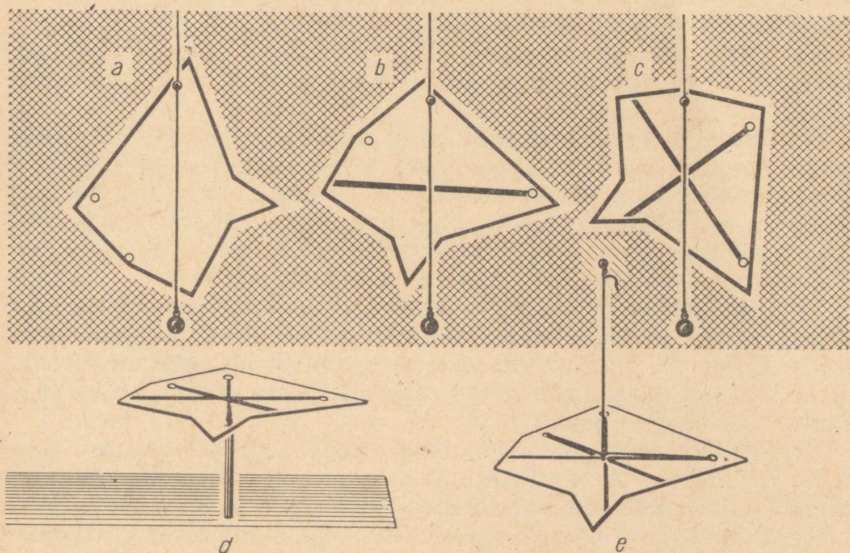
Mis on keha raskuskeske ja kuidas seda leida?

Iga keha võib jaotada suureks arvuks väikesteks osadeks, millest igaühel on oma kaal ehk raskus. On ilmne, et kogu keha kaal on võrdne teda moodustavate osade kaalude summaga. Keha iga osa kaal on rakendatud vahetult sellele osale endale, kogu keha kaal on aga rakendatud punkti, mida nimetatakse keha raskuskeskmeks.

Kuidas leida mitmesuguste kehade raskuskeskme asukohta?

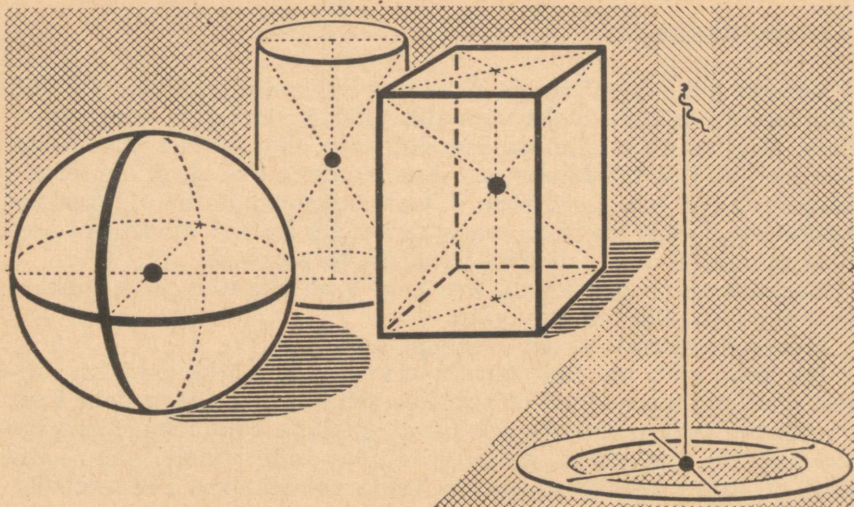
Teeme katse. Võtame mistahes kujuga papitüki ja riputame selle naela külge koos loodiga (joon. 27, a).

Rippuvale papitükile mõjub kaks jõudu: raskusjõud, mis on rakendatud raskuskeskmes, ja jõud, mis hoiab papitükki naela



Joon. 27. a, b, c — tasapinnalise kujundi raskuskeskme leidmine; d — papitükk jääb tasakaalu, kui toetada pliatsi teravikuga papitükki raskuskeskmes; e — niidi otsa riputatud papitükk jääb tasakaalu, kui niit on kinnitatud papitüki külge raskuskeskmes.





Joon. 28. Raskuskeskme asukoht  
keras, silindris ja ristahukas.

Joon. 29. Rõnga raskuskese  
asetseb diameetrite lõike-  
punktis.

otsas. Kuna papitükk on paigal, siis temale mõjuvad jõud tasa-  
kaalustavad teineteist, s. t. nad on oma suuruse poolest võrdsed ja  
mõjutavad teineteist mööda vertikaali vastassuundades.

Siit võib teha järelduse, et jõudude rakenduspunktid — ras-  
kuskese ja ülesriputuspunkt — asetsevad loodiga määratud verti-  
kaalsel sirgel.

Tõmbame papitükile mööda loodi vertikaalse joone. Riputame  
nüüd papitüki naela otsa mõnest teisest punktist ja tõmbame  
uuesti mööda loodi vertikaalse joone. Ükskõik kui palju me neid  
jooni ka selliselt ei tõmbaks, kõik nad läbivad raskuskeset. See-  
pärast kõik need jooned lõikuvadki ühes ja samas punktis — ras-  
kuskeskmes (joon. 27, b, c). Kuidas seda kontrollida?

Võtame pliatsi ja toetame pliatsi teravikuga papitükki ees-  
pool kirjeldatud viisil leitud raskuskeskmes. Papitükk jääb tasa-  
kaalu (joon. 27, d). Kui riputada papitükk niidi otsa nii, et niit  
oleks kinnitatud papitüki külge raskuskeskmes, siis papitükk jääb  
samuti tasakaalu (joon. 27, e).

Katse vältel me muutsime mitu korda papitüki asendit, kuid  
tema raskuskese jäi alati ühte ja samasse punkti. **Keha mistahes  
asendi puhul jääb tema raskuskese alati ühte ja samasse punkti.**

Kera raskuskese asetseb näiteks kera geomeetrilises keskpunk-  
tis, silindri raskuskese — silindri telje keskpunktis (silindri tel-  
jeks on kesklõik, mis ühendab silindri põhjade keskpunkte), rist-  
tahuka raskuskese — risttahuka diagonaalide lõikepunktis (joon.  
28).



Mõnikord võib keha raskuskese asetseda ka väljaspool keha. Näiteks rõnga raskuskese asetseb diameetrite lõikepunktis. Seda saab kontrollida katseliselt, kui riputada rõngas tema diameetriks olevate niitide lõikepunktist üles (joon. 29). Rõngas jääb seejuures tasakaalu.

## 18. LABORATOORNE TÖÖ 2.

### Tasapinnaliste kujundite raskuskeskme leidmine.

Töövahendid: papist või vineerist tasapinnaliste plaatide kogu; niit; nõõpnõel või naaskel; lood.

Töökäik:

1. Võta papist või vineerist mistahes kujuga tasapinnaline plaat ja torka selle servast nõela või naaskliga auk läbi. Seejärel laienda auku nii, et plaadike võiks kergesti (väikese hõõrdega) pöörelda nõõpnõela kui telje ümber.

Riputa plaadike nõõpnõela külge ja torka siis nõel kas või laua ääre sisse.

Pane nõela juurde lood. Märgi plaadi punkt, kus loodi nõõr lõikab plaadi alumist äärt. Võta seejärel plaat ja tõmba sellele sirgjoon, mis läbiks plaadis olevat auku ja märgitud punkti.

Tee plaadi äärele mõnda teise kohta teine auk ja korda tehtut samas järjekorras nagu esimesel korral.

Leia, kus asetseb plaadi raskuskese. Kontrolli seda, toetades plaati raskuskeskmest nõelaga.

Riputa plaat üles mingist kolmandast punktist ja tõmba siis plaadil sulle juba tuntud viisil veel üks vertikaaljoon. Millises punktis lõikab see joon varem tõmmatud jooni?

2. Eespool kirjeldatud viisil leia ristküliku, kolmnurga ja ringi raskuskeskmed.

Veendu, et ristküliku raskuskese asetseb tema diagonaalide lõikepunktis, kolmnurga raskuskese aga tema mediaanide lõikepunktis.

## 19. TASAKAALU LIIGID.

Jõudude mõjul võib keha kas liikuda või seista paigal. Keha kohta, mis seisab paigal, öeldakse, et ta on **tasakaaluasendis** ehk lihtsalt **tasakaalus**.

Vaatleme ühest punktist toetatud kehade tasakaalu juhtumeid.

Riputame joonlaua naela otsa (joon. 30, a). Joonlaud võtab tasakaaluasendi. Kui joonlaud tasakaaluasendist kõrvale viia, siis pöörduv ta raskusjõu mõjul endisesse asendisse tagasi.

Tasakaalu, mille puhul tasakaaluasendist väljaviidud keha pöörduv endisesse asendisse tagasi, nimetatakse **püsivaks**.

Püsiva tasakaalu puhul on joonlaua raskuskese  $C$  madalamal toetuspunktist ja asetseb, nagu me juba teame paragrahvist 17, toetuspunktiga ühel ja samal vertikaalsirgel  $OC$ . Kui viia joonlaud püsivast tasakaalust välja, siis tema raskuskese tõuseb kõrgemale (joon. 30, *a*), joonlaua tagasipöördumisel tasakaaluasendisse aga laskub jälle esialgsele kõrgusele.

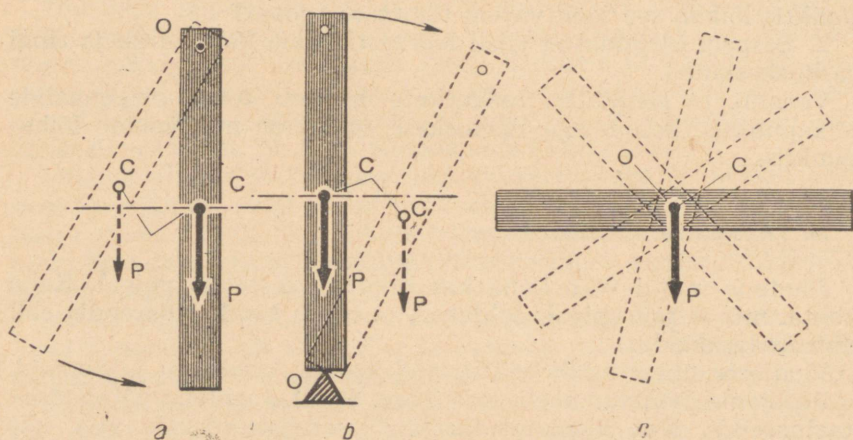
Pöörame nüüd joonlaua nii, et tema raskuskese asetseks küll toetuspunktiga ühel ja samal vertikaaljoonel, kuid sellest kõrgemal (joon. 30, *b*). Püüame saavutada seda, et joonlaud jääks sellesse asendisse tasakaalu. On küllalt kergest tõukest, et joonlauda tasakaaluasendist välja viia. Tasakaaluasendisse joonlaud enam isenesest tagasi pöörduda ei saa, kuna raskusjõud seda takistab.

Tasakaalu, milles asetseb sellel juhtumil joonlaud, nimetatakse ebapüsivaks. Kui joonlaud väljub ebapüsivast tasakaalust, siis tema raskuskese langeb (joon. 30, *b*).

Paneme nüüd joonlaua naela otsa nii, et toetuspunkt  $O$  ühtiks raskuskeskmega  $C$  (joon. 30, *c*). Sellel juhtumil muudab joonlaud kerge tõuke mõjul vaid oma asendit, tasakaalu aga ei kaota. Kui joonlaud läheb antud olukorras ühest asendist teise, siis tema raskuskese ei tõuse ega lange — raskuskese on kogu aeg ühel ja samal kõrgusel. See on joonlaua ükskõikse tasakaalu juhtum.

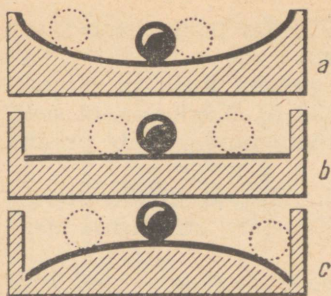
Ükskõikseks tasakaaluks nimetatakse sellist tasakaalu, kus keha raskuskese jääb kogu aeg ühele ja samale kõrgusele keha mis tahes asendi puhul.

Seega keha tasakaalu liiki on kerge määrata tema raskuskeskme asukoha muutumise järgi, kui keha viia tasakaaluasendist välja.

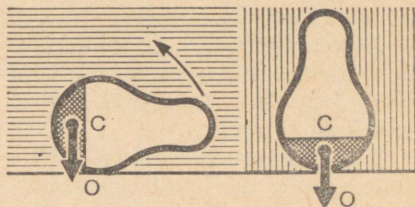


Joon. 30. *a* — joonlaua püsiv tasakaal; *b* — ebapüsiv tasakaal ja *c* — ükskõikne tasakaal.





Joon. 31.



Joon. 32. Lelu «jonnipunn» ehituse põhimõte. Lähikriipsutatud osa näitab raskuse asukohta.

Kui raskuskese tõuseb, siis on tegemist püsiva tasakaaluga. Raskuskeskme langemine näitab ebapüsivat tasakaalu. Kui raskuskese keha mistahes asendi puhul jääb ühele ja samale kõrgusele, siis on tegemist ükskõikse tasakaaluga. Joonisel 31 on näidatud kuulike, mis on vastavalt püsivas, ükskõikses ja ebapüsivas tasakaalus. Nõgusal pinnal (joon. 31, a) on kuulike püsivas tasakaalus; kumeral pinnal (joon. 31, c) ebapüsivas tasakaalus ja horisontaalsel pinnal ükskõikses tasakaalus (joon. 31, b).

Püsivas tasakaalus on iga keha, mis ripub vabalt niidi, traadi või varda otsas (loodi kuulike, kaalukangi külge kinnitatud kaalu-kausid, laearmatuur jm.).

Huvitavaks tasakaalu näiteks on laste «jonnipunn». Selle lelu raskuskese C asetseb veidi kõrgemal toetuspunktist O (joon. 32). Kui lelu kallutada, siis tema raskuskese tõuseb kõrgemale. Kui nüüd lelu lahti lasta, siis raskuskese langeb ja lelu tõuseb püsti. Lelu raskuskeskme liikumine kinnitab, et ta on püsivas tasakaalus.

Väga palju ükskõikse tasakaalu näiteid võib leida tehnikast.

Ükskõikses tasakaalus on näiteks rihmarattad ja võllid, hoorattad, autorattad ja teised masinate pöörlevad osad, mille pöörlemisteljed läbivad raskuskeskmeid.

## 20. PINNALE TOETUVATE KEHADE TASAKAAL.

Me analüüsisime ühest punktist toetatud või pöörlemisteljega kehade tasakaalu juhtumeid.

Majad, vabrikukorstnad, veetornid, autod, traktorid, tööpingid ja enamik igapäevases elus kasutatavaid esemeid, olles tasakaalus, toetuvad mingile pinnale.

Vaatleme, millistel tingimustel on sellised kehad püsivas tasakaalus.

Teeme katse.

Joonisel 33, *a* on kujutatud seadis, millel on püstprisma kuju. Prisma raskuskeskmesse on riputatud lood.

Hakkame nüüd järk-järgult muutma prisma kuju ja jälgime seejuures loodi asendi muutumist (joon. 33, *b*). Märkame, et seni, kuni loodi pikendusjoon läbib prisma toetuspinda, jääb prisma tasakaal püsivaks.

Kallutame nüüd prisma nii, et loodi pikendusjoon läbiks prisma toetuspinna äärjoont (joon. 33, *c*). Sellises asendis on prisma tasakaal ebapüsiv.

Ebapüsivas tasakaalus prisma praktiliselt asetseda ei saa. Tõepoolest, väiksemagi kallutamise puhul paremale kukub prisma ümber.

Järelikult saab toetuspinnaga kehade puhul määrata püsivat tasakaalu loodi pikendusjoone järgi, mis läbib keha raskuskeset.

**Keha on püsivas tasakaalus, kui loodi pikendusjoon, mis läbib keha raskuskeset, läbib ka keha toetuspinda.**

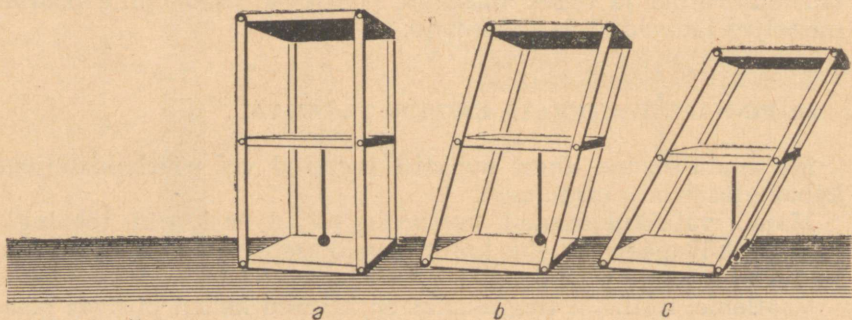
Keha on ebapüsivas tasakaalus, kui loodi pikendusjoon, mis läbib keha raskuskeset, läbib ka toetuspinna äärjoont.

Et viia keha ebapüsivasse tasakaalu, tuleb teda pöörata ümber toetuspinna äärjoont. Mida suurem on nurk *A*, mille võrra tuleb keha ebapüsivasse tasakaalu viimiseks pöörata (joon. 34), seda püsivam on keha esialgne asend.

Järelikult võib eespool märgitud pöördenurga suuruse järgi otsustada keha asendi püsivuse üle. Pöördenurga suurus, aga järelikult ka keha püsivus, sõltub toetuspinna mõõtmetest ja keha raskuskeskme asendist.

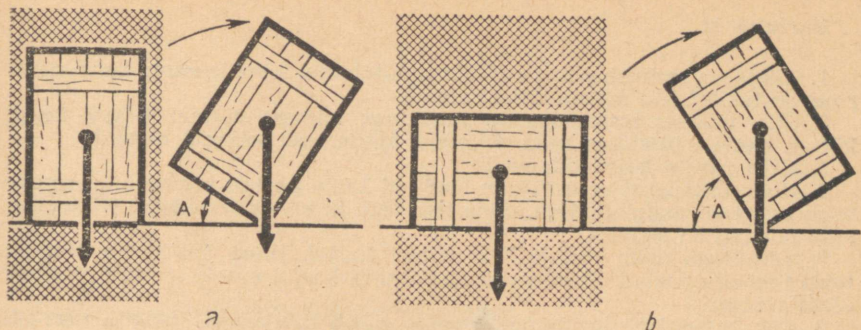
Suure toetuspinnaga madalat kasti on raskem ümber lükata (joon. 34, *b*) kui sama kaaluga kõrget ja väikese toetuspinnaga kasti (joon. 34, *a*).

Seepärast tuleb keha suurema püsivuse saavutamiseks kas suurendada tema toetuspinda või viia raskuskeske madalamale, kasu-



Joon. 33.



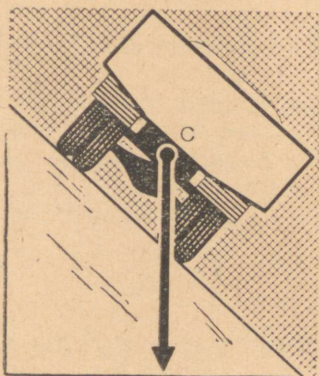


Joon. 34. Kast on seda püsivam, mida suurem on tema toetuspind.

tades selleks rasket ja laia alust, või üht ja teist koos. Nii näiteks riputatakse kooli kangkaalud suure toetuspinnaga raske statiivi külge.

Kui keha ei toetu pinnale, vaid ainult mitmele punktile, siis tema toetuspinnaks tuleb võtta sellise hulknurga pind, mille tippudeks on need toetuspunktid. Näiteks on statiivi külge kinnitatud fotoaparaadi toetuspinnaks statiivi jalgade otspunktidega määratud kolmnurga pind; laua toetuspinnaks on ristküliku pind, mille tippudeks on laua jalgade otspunktid jne.

Seisva inimese püsivuse vaatlemisel tuleb tema toetuspinnaks lugeda nii jalataldade pinnad kui ka nende vaheline pind. Püsivuse suurendamiseks kõikumisel või rappumisel asetab inimene jalad laiali, suurendades sellega toetuspinda. Jalgade asendit muutmata saab inimene kallutada end seni, kuni raskuskeset läbiv vertikaaljoon löikub toetuspinna või selle äärejoonega. Kui aga see vertikaaljoon ei löiku toetuspinna või selle äärejoonega, siis kallutav inimene kukub.



Joon. 35.

## Harjutus 11.

1. Kas laeva raskuskeskme asukoht muutub, kui tema laadung tuua kiiluruumist tekile? Kui muutub, siis kuidas?
2. Ütle, millises tasakaalus on laualampp; inimese sõrmel seisev kepp; kätega kangile ülestõmmanud võimleja. Mõtle veel selliseid näiteid.
3. Miks pardid käies kõiguvad?
4. Kolm ühesugust veoautot on laaditud kaalu poolest võrdsete koormustega: esimene raudplaatidega, teine tellistega ja kolmas puudega. Missuguse auto püsivus on suurem?
5. Veoautoga tuleb vedada ära mõned kastid. Ühed kastid on tühjad, teistes on aga naelad. Kuidas paigutada need kastid autole, et auto püsivus oleks suurim?
6. Kas joonisel 35 kujutatud veoauto püsib mäeveerul? Selgita vastust. Auto raskuskese on märgitud tähega C.
7. Miks inimene on kummargil, kui ta kannab mingit koormat seljas?
8. Miks ei saa toolilt tõusta püsti end veidi ettepoole kummardamata?
9. Millega selgitada, et jalgrattur ei saa püsida paigalseisva jalgratta sadulas, kui ta ei puuduta jalgadega maad?



## TÖÖ JA ENERGIA. MEHCHANISMID.

### 21. MEHHAANILINE ENERGIA.

Sõna «töö» on meile kõigile hästi tuntud. Tööd me jaotame harilikult füüsiliseks (näiteks müürsepa, laadija, puusepa töö) ja vaimseks (õpetlase, kirjaniku, õpilase töö). Füüsikas õpitakse tundma mehhaanilist tööd, mille alla kuulub ka inimese füüsiline töö.

Vaatleme mehhaanilise töö näiteid.

Poiss tõstab kaevust ämbriga vett. Oma jõu abil ületab ta ämbri ja ämbris oleva vee kaalu.

Dünamomeetri vedru venitamisel ületame me oma musklite jõuga vedru elastsusjõu. Vankrikese liikumisel ületab meie poolt arendatav veojõud hõõrdejõu. Saega puid saagides katkestame me oma käte jõuga puu osakeste vahelisi seoseid.

Kõigil neil juhtumil liigub keha (ämber, vankrike, saag) temale rakendatud jõu mõjul. Seejuures tehakse tööd.

Kui ei ole liikumist, siis ei ole ka tööd. Üleskeeratud kella vedru tööd ei tee, kui kell ei käi. Käivas kellas paneb vedru elastsusjõud kella mehhanismi liikuma, järelikult, teeb tööd.

Soovides nihutada lauda või kappi, rõhume me nendele mingi jõuga. Kui need kehad selle tagajärjel liikuma ei hakka, siis mehhaanilist tööd ei tehta.

**Mehhaanilist tööd tehakse sel juhtumil, kui mingi keha liigub temale rakendatud jõu mõjul.**

Nüüd võime ütelda, et põldu kündev traktor, mööda teed liikuv auto, ehitusmaterjali tõstev kraana — kõik nad teevad mehhaanilist tööd. Liikumapanevaks jõuks on neil juhtumel mootori poolt arendatav veojõud.

Edaspidi nimetame mehhaanilist tööd lihtsalt tööks.

### 22. TÖÖ SUURUS. TÖÖÜHIKUD.

Töö suurus sõltub jõu suurusest ja selle jõu mõjul läbitud tee pikkusest.

Oletame, et me tõstsite 1 kG raskuse koormuse 1 m kõrgusele.

Selleks oli meil tarvis rakendada jõudu 1 kG. Me tegime selle tõstmise juures kindla hulga tööd.

Selleks et tõsta samale kõrgusele 5 kG raskust koormust, tuleb rakendada 5 korda suuremat jõudu.

Ka töö on sel juhtumil 5 korda suurem.

Tõepoolest, tööd, mis on tehtud 5 kG raskuse koormuse tõstmisel 1 m kõrgusele, võib vaadelda kui tööd, mis on tehtud 1 kG raskuse koormuse tõstmisel 1 m kõrgusele, korratuna 5 korda. Järelikult, olles tõstnud 5 kG raskuse koormuse 1 m kõrgusele, oleme teinud 5 korda rohkem tööd kui esimesel korral.

**Töö hulk antud teesal on võrdeline tööd tegeva jõuga.**

Tõstame nüüd 1 kG raskuse koormuse mitte 1 m kõrgusele, vaid näiteks 3 m kõrgusele. On ilmne, et esimesel, teisel ja kolmandal meetril tehtud tööd on kõik ühesuurused. Seepärast töö, mis on tehtud koormuse tõstmisel 3 m kõrgusele, on kolm korda suurem tööst, mis on tehtud sellesama koormuse tõstmisel 1 m kõrgusele.

**Mingi jõu poolt tehtud töö hulk on võrdeline läbitud tee pikkusega.**

Töö on füüsikaline suurus. Tema mõõtmiseks tuleb kõigepealt valida mõõtühik.

Tööühikuks võetakse 1 kG suuruse jõu töö 1 m pikkusel teel. Seda tööühikut nimetatakse **kilogramm-meetriks** (lühidalt kGm).

Vaatleme näidet. Traktor veab kündmisel atra jõuga 1000 kG. Kui suure töö teeb traktor 200 m pikkusel teel?

1 kG suurune jõud teeb 1 m pikkusel teel tööd 1 kGm. 1000 kG suurune jõud teeb aga 1 m pikkusel teel 1000 korda rohkem tööd, s. t. 1000 kGm, 200 m pikkusel teel on töö veelgi 200 korda suurem. Seega, et leida traktori poolt tehtud tööd, tuleb 1000 kG korrutada 200 meetriga:

$$1000 \text{ kG} \cdot 200 \text{ m} = 200\,000 \text{ kGm.}$$

Teine näide. Oletame, et meil tuleb põrandal olev ese, mis kaalub 10 kG, tõsta 2 m kõrguse kapi otsa. Kui palju tööd tuleb meil seejuures teha?

Arutledes samuti nagu esimese näite puhul, leiame, et tehtud töö on

$$10 \text{ kG} \cdot 2 \text{ m} = 20 \text{ kGm.}$$

**Tööd mõõdetakse jõu suuruse ja jõu mõjumise suunas läbitud tee pikkuse korrutisega.**

Kui jõudu märkida tähega  $F$ , läbitud tee pikkust tähega  $s$  ja tööd tähega  $A$ , siis võime reegli töö arvutamiseks kirjutada järgmiselt:

$$A = Fs$$



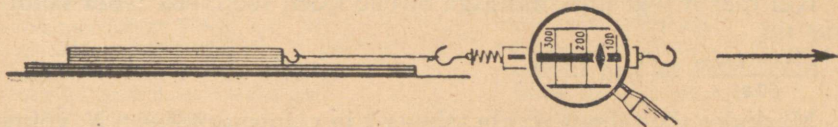
Tööühiku 1 kGm kõrval kasutatakse füüsikas laialdaselt ka tööühikut džaul<sup>1</sup> (lühendatud tähistusviis J).

$$1 \text{ J} = 0,102 \text{ kGm.}$$

$$1 \text{ kGm} = 9,81 \text{ J.}$$

### Harjutus 12.

1. Joonisel 36 kujutatud puuklotsi nihutatakse lauatükil lähteasendist 60 cm kaugusele. Vaata, kui suurt veojõudu näitab dünamomeeter (dünamomeetri skaala iga jaotis vastab 50 grammile), ja arvuta tehtud töö kGm-tes.
2. Kui suurt tööd tehakse 20 T raskuse auruhaamri tõstmisel 120 cm kõrgusele?



Joon. 36.

3. Arvuta töö, mis tehakse 0,5 m<sup>3</sup> suuruse graniitplaadi tõstmisel 100 m kõrgusele. Graniidi erikaal on  $2,5 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$ .
4. Õpilane, saagides 2,4 cm paksuse laua otsast tükki ära, tõmbab iga tõmbega saagi edasi 50 cm võrra, mõjudes seejuures saele jõuga 6 kG. Kui palju tööd peab õpilane tegema selle tüki ärasaagimiseks, kui ühe tõmbega nihkub saag puusse 2 mm?
5. Kolb, mille pindala on 300 cm<sup>2</sup>, liikus 5 at ( $5 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$ ) auru rõhul edasi 0,5 m. Leia auru poolt tehtud töö.
6. Otsusta, kas tööd, mis on tehtud kaaluvihi ühtlasel tõstmisel 1 m kõrgusele ja sama vihi nihutamisel 1 m võrra piki lauda, on ühesuurused või mitte. Põhjenda vastust.
7. Hõõvelmasina lõiketera liigub edasi 120 mm võrra ja ületab seejuures takistuse 450 kG. Leia tehtud töö hulk ühe käigu jooksul.
8. Kui palju tööd sa teed, kui tõused mööda treppi üles? Kõik ülesande lahendamiseks tarvitlikud andmed leia mõõtmise teel.
9. Töö, mille inimene teeb horisontaalsel pinnal kõndides, seisneb põhiliselt keha perioodiliselt korduvast tõstmisest. Igal sammul keha tõuseb ja seejärel langeb keskmiselt 6 cm. Kui palju tööd teeb 45 kG raskune poiss 1 km pikkusel teel, kui tema sammu pikkus on 60 cm?

### 23. VÕIMSUS. VÕIMSUSÜHIKUD.

Ühe ja sama mehhaanilise töö võivad erinevad masinad teha erineva ajaga. Näiteks võib töölisel kuluda kogu tööpäev selleks, et tõsta uusehituse ülemisele korrusele paarsada tellist. Sama töö teeb kraana mõne minuti jooksul ühe tõstega.

<sup>1</sup> Ühiku nimetus on võetud kuulsa inglise füüsiku Joule'i (loe: džaul) nime järgi.

1 ha suuruse põllutüki üleskündmiseks kulub hobusega 10—12 tundi, traktor võib aga mitmesahalise adraga sama põllutüki üles künda 40—50 minutiga. Need näited kinnitavad, et ühe ja sama töö teevad erinevad masinad erineva kiirusega: ühed kiiremalt, teised aeglasemalt.

Tehtud töö kiirust iseloomustab **võimsus**.

**Võimsust mõõdetakse ühes sekundis tehtud tööga.**

Kui tööd mõõdetakse kilogramm-meetrites, siis võimsusühikuks on selline võimsus, mille puhul tehakse 1 sekundis 1 kGm tööd.

Selle ühiku nimetus on lühidalt kirjutatuna järgmine:  $\frac{\text{kGm}}{\text{s}}$ .

Kui masin tegi ühe minutiga 30 000 kGm tööd, siis tema võimsus on

$$\frac{30\,000 \text{ kGm}}{60 \text{ s}} = 500 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}.$$

Märkides töö tähega  $A$ , aja tähega  $t$  ja võimsuse tähega  $N$ , võime võimsust arvutada järgmise valemi järgi:

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

Kuna  $A = Fs$ , siis võib võimsuse arvutamise valemi kirjutada järgmiselt:  $N = \frac{Fs}{t}$ . Et  $\frac{s}{t} = v$ , siis

$$N = Fv$$

Võimsuse ühikuks on ka watt (W)<sup>1</sup>:  $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$ . Tehnikas kasutatakse laialdaselt võimsusühikuna kilovatti (kW):  $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ .

Kuna  $1 \text{ J} = 0,102 \text{ kGm}$  (vt. § 22), siis

$$1 \text{ W} = 0,102 \frac{\text{kGm}}{\text{s}},$$

$$1 \text{ kW} = 102 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}.$$

Mõnikord kasutatakse ka veel võimsusühikut — hobujõud<sup>2</sup> (hj).

$$1 \text{ hj} = 75 \frac{\text{kGm}}{\text{s}} = 0,736 \text{ kW}.$$

<sup>1</sup> Võimsusühik watt on saanud oma nimetuse aurumasina looja inglase Watt'i nimest.

<sup>2</sup> Võimsusühiku «hobujõud» nimetus tekkis järgmiselt. Esimesi aurumasinaid kasutati kiviõie kaevandustest vee väljapumpamiseks. Enne aurumasinat tehti see töö hobustega, mistõttu võeti hobuseid asendanud aurumasina võimsuse mõõtmiseks kasutusele võimsusühik «hobujõud», lugedes selle suuruseks  $75 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}$ .



Pikaajalise töö puhul ei ületa hobuse võimsus 0,4—0,6 hj. Inimese keskmine võimsus kestva töö korral on 0,05—0,10 hj.

Mootorite võimsus võib aga ulatuda kilovati sajandikest (habe-meajamismasina mootor, õmblusmasina mootor) tuhandete kilovattideni (turbiinid). Iga mootori peal on tabel, millel on esitatud mõningaid andmeid mootori kohta, nende seas ka tema võimsuse kohta.

#### Mõningate võimsuste näiteid.

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Tuuleturbiin A-18                    | 30 kW                 |
| Auto «Volga»                         | 52 kW (70 hj)         |
| Traktor C-80                         | 70 kW (93 hj)         |
| Auruvedur «ИС»                       | 2200 kW (3000 hj)     |
| Mootorvedur ТЭ-3                     | 2950 kW (4000 hj)     |
| Elektrivedur H-60                    | 4100 kW (5600 hj)     |
| Ekskavaator ЭИИ-14/75                | 7500 kW (10 190 hj)   |
| Aatomijäälõhkuja «Lenin»             | 32 400 kW (44 000 hj) |
| Hüdrogeneraator                      | 200 000 kW            |
| Bratski hüdroelektrijaam Angara jõel | 3 500 000 kW          |

Teades mootori võimsust, võib arvutada selle mootori poolt sooritatud töö mingi ajavahemiku vältel, rakendades valemit

$$A = Nt$$

Näide. Kui palju tööd kilogramm-meetrites teeb veoauto ЗИЛ-150 mootor, mis arendab võimsust 90 hj ühe minuti jooksul?

$$1 \text{ hj} = 75 \frac{\text{kGm}}{\text{s}},$$

$$A = 75 \frac{\text{kGm}}{\text{s}} \cdot 90 \cdot 60 \text{ s} = 405\,000 \text{ kGm}.$$

Võimsust võib avaldada veel jõu suuruse ja liikumise kiiruse kaudu.

Traktor, arendades künnil veojõudu 1000 kG, läbib 1 min. jooksul 120 m. Määrame võimsuse, mida arendab seejuures traktori mootor. Traktori liikumise loeme ühtlaseks.

Traktori poolt tehtud töö

$$A = 1000 \text{ kG} \cdot 120 \text{ m} = 120\,000 \text{ kGm}.$$

Jagades töö ajaga (sekundites), leiame võimsuse

$$N = \frac{120\,000 \text{ kGm}}{60 \text{ s}} = 2000 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}.$$

Sama tulemuse võime saada ka teisiti. Leiame traktori kiiruse:

$$v = \frac{120 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Kuid kiirus on arvuliselt võrdne 1 sek. jooksul läbitud teega; seejärel, korrutades traktori veojõu kiirusega, leiame 1 sek. jooksul tehtud töö, s. t. võimsuse:

$$N = 1000 \text{ kG} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2000 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}.$$

See näide tõendab, et võimsus on võrdne jõu ja kiiruse korrutisega:

$$N = Fv$$

Eeltoodust selgub, miks auto kiirus kasvab mootori võimsuse suurenemisega.

Mootori ühe ja sama võimsuse puhul võib kiiruse muutmisega muuta veojõudu.

Nii näiteks vähendab autojuht mäkketõusul või halval teel veojõu suurendamiseks auto kiirust, lülitades sisse teise või isegi esimese käigu.

### Harjutus 13.

1. Kui palju tööd teeb 10 kW võimsusega mootor 20 minuti jooksul?
2. Traktori jõul töötav heinalaadija tõstab 1,2 T raskuse heinasao üles kiirusega  $0,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Kui suurt võimsust arendab traktori mootor selle töö tegemisel?
3. 30 kG raskune poiss tõusis mööda treppi 10 m kõrgusele 20 sekundiga. Kui suurt võimsust hobujõududes arendas ta seejuures?
4. Mootorvedur arendas 18 000 kG-se veojõu puhul võimsust 3000 hj. Kui palju aega kulub rongil 500 m läbimiseks?
5. Tõuse mööda treppi üks kord aeglaselt, teine kord kiiresti. Kas võimsused, mis sa seejuures arendasid, on võrdsed? Kui suured on need võimsused? Kõik vajalikud andmed leia mõõtmise teel.
6. Kui suurt võimsust arendab inimene kõndides, kui ta 2 tunniga teeb 10 000 sammu ja iga sammu tegemiseks kulub 4 kGm tööd (liikumisel horisontaalsel teel)?
7. Tuuleturbiin võib 1,2 minutiga teha 205 200 kGm tööd, veeturbiin aga 0,2 sekundiga 525 000 kGm. Määra nende turbiinide võimsus kilovattides.

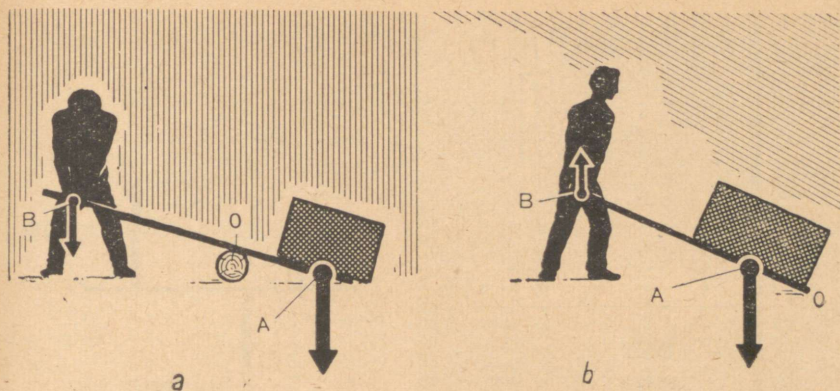
### 24. KANG. JÕU ÕLG.

Igapäevases elus ja tehnikas kasutatakse mitmesuguste tööde tegemiseks sageli spetsiaalseid seadiseid, mida nimetatakse lihtmasinatega.

Üheks selliseks lihtmasinaks on kang.

Joonistel 37, a ja 37, b on näidatud, kuidas tööline saab kivi tõstmisel kasutada kangi. Esimesel juhtumil rõhub tööline jõuga kangi otsa B alla, teisel juhtumil tõstab aga kangi otsa B üles. Töölise jõupingutusele avaldab vastumõju kivi raskus — jõud, mis on





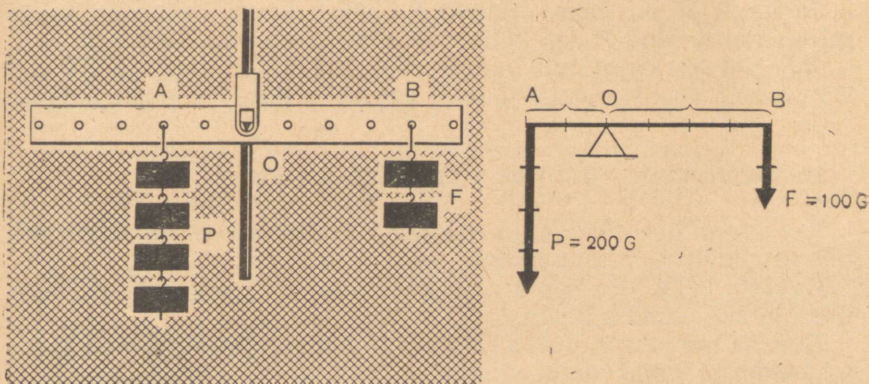
Joon. 37.

suunatud vertikaalselt alla (joonistel on see jõud kujutatud noolena algusega punktis A).

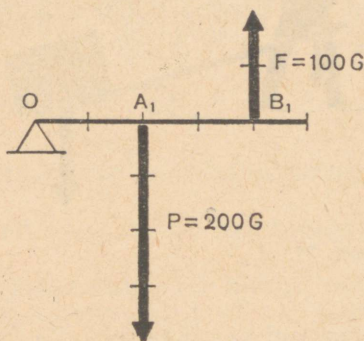
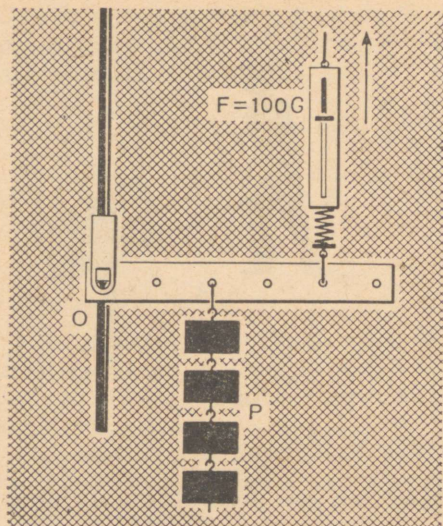
Koormuse tõstmiseks pöörab tööline kangi ümber telje, mis läbib kangi ainsat liikumatut punkti — tema toetuspunkti O. Kui töölise jõupingutus on küllaldane koormuse vastumõju ületamiseks, siis tööline tõstab koormuse üles ja teeb seejuures tööd.

Joonisel 38 (vasakul) on kujutatud kang, mille pöörlemistelg O (toetuspunkt) asetseb jõudude rakenduspunktide A ja B vahel. Paremalt on kujutatud selle kangi skeem. Mõlemad kangile mõjuvad jõud  $P$  ja  $F$  on suunatud ühele poole.

Joonisel 39 (vasakul) on kujutatud samuti kang, kuid selle kangi pöörlemistelg O (toetuspunkt) asetseb kangi ühes otsas.



Joon. 38. Sellise kangi tasakaal, kus toetuspunkt O asetseb jõudude rakenduspunktide A ja B vahel. OA — jõu  $P$  õlg, OB — jõu  $F$  õlg.



Joon. 39. Sellise kangi tasakaal, kus jõudude rakenduspunktid  $A_1$  ja  $B_1$  asetsevad ühel ja samal pool kangi toetuspunkti O.

Jõud  $P$  ja  $F$ , mis mõjuvad sellele kangile, on rakendatud punktides  $A_1$  ja  $B_1$  ning suunatud erinevale poole.

**Toetuspunkti kangile mõjuva jõu sihile tõmmatud ristlõigu pikkust nimetatakse jõu õlaks.**

Kangile mõjuvad jõud võivad pöörata kangi ümber telje kahes suunas: kellaosuti liikumise suunas või sellele vastassuunas.

Jooniselt 38 on näha, et jõud  $F$  pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas, jõud  $P$  aga kellaosuti liikumisele vastassuunas.

Joonisel 39 kujutatud kangil pöörab jõud  $F$  kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas, jõud  $P$  aga kellaosuti liikumise suunas.

## 25. JÕUMOMENT. JÕUDUDE TASAKAAL KANGIL.

Keha saab üles tõsta vaid siis, kui me rakendame temale jõudu, mis tasakaalustab keha kaalu.

Et tõsta keha üles kangil abil, peab kang mõjuma kehale jõuga, mis ületaks viimase kaalu.

Et seda saavutada, tuleb rakendada kangile jõudu teatud kindlal kaugusel kangi toetuspunktist.

Riputades kangi külge (joon. 38) erineva raskusega koormusi, seame kangi iga kord tasakaalu ja mõõdame kangile rakendatud jõudude suurused ning nende õlgade pikkused.



Alljärgnevasse tabelisse on kirjutatud nelja sellise katse tulemused:

| Jõud, mis pöörab kangi<br>kellaosuti liikumisele<br>vastassuunas |                    | Jõu ja öla<br>korrutis<br>(G·cm) | Jõud, mis pöörab kangi<br>kellaosuti liikumise<br>suunas |                    | Jõu ja öla<br>korrutis<br>(G·cm) |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Jõu suurus<br>(G)                                                | Öla pikkus<br>(cm) |                                  | Jõu suurus<br>(G)                                        | Öla pikkus<br>(cm) |                                  |
| 200                                                              | 20                 | 4000                             | 100                                                      | 40                 | 4000                             |
| 200                                                              | 10                 | 2000                             | 50                                                       | 40                 | 2000                             |
| 50                                                               | 30                 | 1500                             | 150                                                      | 10                 | 1500                             |
| 50                                                               | 20                 | 1000                             | 100                                                      | 10                 | 1000                             |

Esimesel katsel (joon. 38) mõjus kangile tema teljest vasakul jõud 200 G, kusjuures selle jõu öla pikkus oli 20 cm. Et tasakaalustada seda jõudu, tuli paremale rakendada 40 cm kaugusel jõudu 100 G. Teisel katsel tuli selleks, et tasakaalustada 200 G jõudu ölapikkusega 10 cm, rakendada jõudu 50 G ölapikkusega 40 cm. Kolmandal katsel tasakaalustab jõu 50 G ölapikkusega 30 cm jõud 150 G ölapikkusega 10 cm jne.

Katsete tulemused kinnitavad, et

**kui kang on kahe jõu mõjul tasakaalus, siis kummagi jõu suurus on pöördvõrdeline tema öla pikkusega. Kang jääb tasakaalu, kui jõu öla suurendamisega mingi arv korda vähendada sama arv korda mõjuvat jõudu.**

Tehtud katsetest näeme, et ühe jõu korrutis vastava öla pikkusega on võrdne jõu ja sellele vastava öla pikkuse korrutisega.

Nii näiteks esimesel katsel  $200\text{ G} \cdot 20\text{ cm} = 100\text{ G} \cdot 40\text{ cm}$ , teisel katsel  $200\text{ G} \cdot 10\text{ cm} = 50\text{ G} \cdot 40\text{ cm}$  ja kolmandal katsel  $50\text{ G} \cdot 30\text{ cm} = 150\text{ G} \cdot 10\text{ cm}$ .

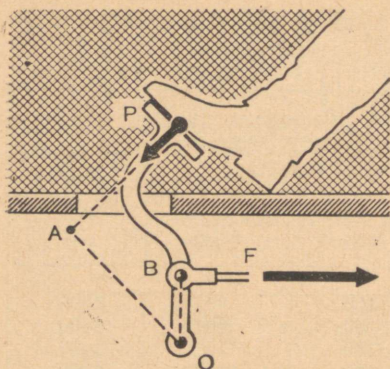
**Jõu ja tema öla korrutist nimetatakse jõumomendiks<sup>1</sup>.**

Esimesel katsel oli jõumomentide suuruseks  $4000\text{ G} \cdot \text{cm}$ , teisel katsel —  $2000\text{ G} \cdot \text{cm}$  ja kolmandal —  $1500\text{ G} \cdot \text{cm}$ .

**Kang asetseb tasakaalus siis, kui jõumoment, mis pöörab kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas, on võrdne jõumomendiga, mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas.**

Jõumomentide võrdsus esineb ka joonisel 39 kujutatud kangi tasakaalu korral. Siin kangi pöörlemistelg (toetuspunkt) asetseb

<sup>1</sup> Moment tuleneb ladinakeelsest sõnast *movere* — liikuma.



Joon. 40. Auto jalgpidur:  $P$  — jalgrõhumisjõud,  $OA$  — tema õlg;  $F$  — trossi veojõud,  $OB$  — tema õlg.

kangi lõpus, jõud  $P$  ja  $F$  pööravad aga kangi üks ühele, teine teisele poole.

Kui kang on jõudude  $P$  ja  $F$  mõjul tasakaalus ja nende jõudude õlad on vastavalt  $l_1$  ja  $l_2$ , siis kangi tasakaalu tingimuse võib kirjutada üles momentide võrdsusena

$$Pl_1 = Fl_2$$

See reegel kehtib mitte ainult sirge kangi, vaid ka mistahes kujuga kangi puhul. Tuleb ainult meeles pidada, et jõu õlaks on toetuspunktist jõu mõjumise sihile tõmmatud ristlõigu pikkus.

Näiteks on auto jalgpiduri (joon. 40) puhul mõjuvate jõudude õlgadeks vahemaad  $OA = l_1$  ja  $OB = l_2$ .

#### Harjutus 14.

1. Mispärast on mutrit kergem pöörata mutrivõtmega kui käega?
2. Miks uksevõtme keel tehakse harilikult lühem võtme pea raadiusest?
3. Millised jalgratta, lihamasina ja grammofoni osad on kanged? Millised jõud mõjuvad nendele kangidele? Kus asetsevad nende kangide toetuspunktid?

#### 26. KAS KANGIDE KASUTAMISEL VÕIDETAKSE TÖÖS?

Teeme sellele küsimusele vastamiseks järgmise katse.

Olgu vaja tõsta raskus 1 kG kõrgusele 0,1 m. Selleks tuleb teha tööd

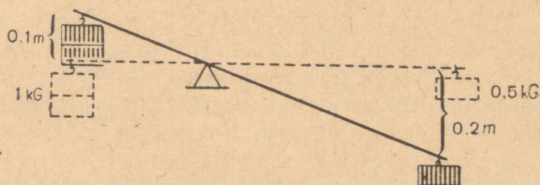
$$A = 1 \text{ kG} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ kGm}.$$

Teeme selle töö, kasutades kangi, mille toetuspunkt asetseb jõudude rakenduspunktide vahel. Tasakaalustame esiteks 1 kG raskuse vihi jõuga 0,5 kG (joon. 41). Märgime seejärel jõudude



rakenduspunktide kõrgused lauast ja tõstame 1 kG-se vihi 0,1 m kõrgusele. Mõõdame nüüd vahemaa, mille võrra langes jõu 0,5 kG rakenduspunkt. Näeme, et see vahemaa on 0,2 m. Järelikult, jõu 0,5 kG töö

$$A_1 = 0,5 \text{ kG} \cdot 0,2 \text{ m} = 0,1 \text{ kGm}.$$



Joon. 41. Kangi kasutamisel ei võideta töös.

Näeme, et  $A_1 = A$ . Teisiti öeldes, **kangi kasutamisel ei võideta töös**. Kasutades kangi, võime võita kas jõus või teepikkuses. Kui me rakendame jõudu pikale õlale, siis võidame jõus, kuid niisama mitu korda kaotame teepikkuses. Mõjudes jõuga, mille õlg on lühike, võidame teepikkuses, kuid niisama mitu korda kaotame jõus.

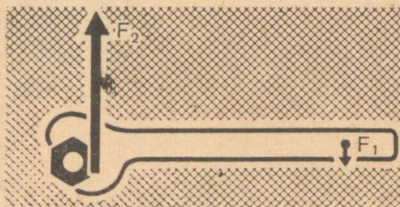
## 27. KANGIDE KASUTAMINE TEHNIKAS JA IGAPÄEVASES ELUS.

Kui kang asetseb kahe jõu mõjul tasakaalus, siis, nagu me § 25 nägime, on mõjuvate jõudude suurused pöördvõrdelised nende õlgade suurustega.

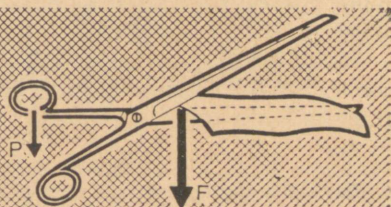
Sellel seadusel põhineb kangide laialdane kasutamine tehnikas ja igapäevases elus seal, kus on vaja võita jõus.

Kangi kasutamise väga heaks näiteks on mutrivõti.

Töölise jõud  $F_1$  (joon. 42) on rakendatud võtme käepidemele. Jõud  $F_2$ , mis mõjub mutri pööramise suunale vastassuunas, on rakendatud võtmele tema ja mutri kokkupuutekohas. Võtme ja



Joon. 42. Mutrivõti:  $F_1$  — võtme käepidemele mõjuv jõud;  $F_2$  — mutri pööramist takistav jõud.

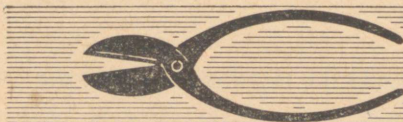


Joon. 43. Käärid:  $P$  — sõrmede rõhumisjõud;  $F$  — lõigatava materjali takistusjõud.

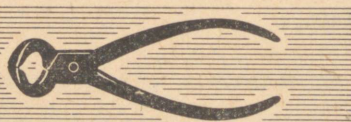
nutri pöörlemisteljed ühtivad. Seega võib nutrivõtit vaadelda sellise kangina, kus mõjuvad jõud asetsevad ühel ja samal pool pöörlemistelge ning on suunatud erinevale poole. Keerates nutrit, võidab tööline jõus, kuna jõud  $F_1$  on väiksem kui jõud  $F_2$ . Jõu  $F_1$  tee on seevastu jälle pikem.

Me võidame jõus ka kääridega töötamisel. Käärid kujutavad endast samuti kangi (joon. 43).

Selle kangi pöörlemistelg läbib kruvi, mis ühendab omavahel kääride mõlemad harud. Liikumapanevaks jõuks  $P$  on kääridega töötava inimese käe lihaste jõud, vastumõju jõuks  $F$  on aga lõigatava materjali takistus. Sõltuvalt sellest, milliseks otstarbeks kääre kasutatakse, on ka nende ehitus erinev. Kontorikääridel, mis on mõeldud peamiselt paberi lõikamiseks, on pikad terad ja peaaegu niisama pikad käepidemed, sest paberi lõikamiseks ei ole vaja rakendada eriti suurt jõudu, pikkade teradega on aga mugavam lõigata mööda sirgjoont. Plekikääridel (joon. 44) on käepidemed palju pikemad kui lõiketerad, sest pleki takistus on niivõrd suur, et selle ületamiseks tuleb mõjuva jõu õlga tunduvalt suurendada kääride käepidemete pikendamise teel.



Joon. 44.



Joon. 45.

Eriti suur erinevus löikeosa pikkuse ja käepidemete pikkuste vahel on traaditangidel (joon. 45), mida kasutatakse traadi tükeldamiseks.

Mitmesuguse kujuga kange leidub paljude masinate juures. Õmblusmasina vänt, jalgratta pedaalid ja käsipidur, auto ja traktori siduripedaalid, kirjutusmasina ja klaveri klahvid — kõik need on nimetatud masinate juures kasutatavate kangide näiteks.

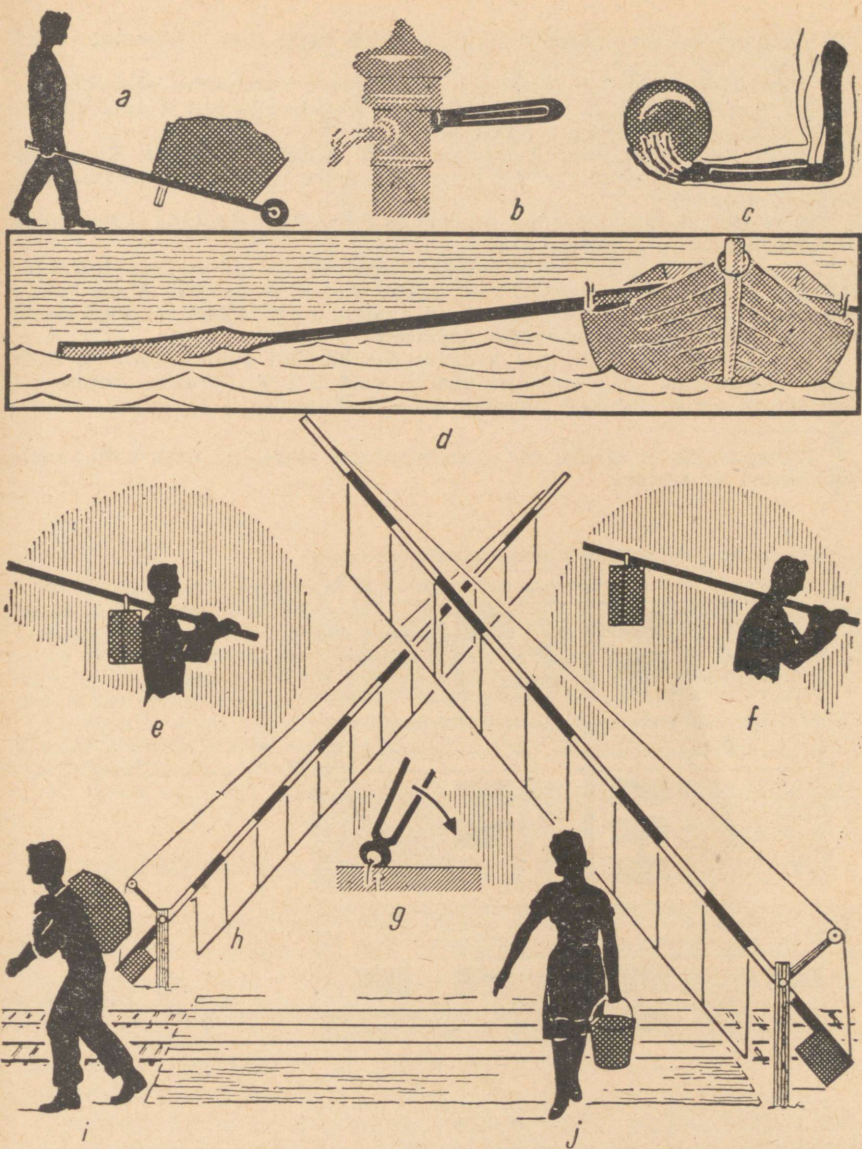
Näiteid kangide kasutamise kohta võib leida ka oma kooli tööstoast. Näiteks kruustangide ja hõõvelpinkide kruvipulgad, puurmasina hoob jne.

### Harjutus 15.

1. Leia joonisel 46,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $f$ ,  $g$  kujutatud kangide toetuspunktid ja jõudude õlad.

2. Miks inimene kallutab oma keha, kui ta kannab mingit raskust (joon. 46,  $i$ ,  $j$ )?





Joon. 46. *a* — käru; *b* — veepump; *c* — raskuse tõstmisel toimib käsi kangina; *d* — aer; *e*, *f* — kepi kasutamine koormuste kandmisel; *g* — naela väljatõmbamine tangidega (noolega on märgitud tangide tugipunkt); *h* — tõkkepuud; *i*, *j* — raskuste kandmine.

3. Kumma koormuse asendi puhul avaldab kepp õlale väiksemat rõhku (joon. 46, e, f)?

4. Joonisel 46, *d* on kujutatud aer. Selgita aeru kasutamise põhimõtet.

5. Miks plekikääridega on plekki kergem lõigata siis, kui lõigata võimalikult kääride ühenduskruvi lähedase osaga?

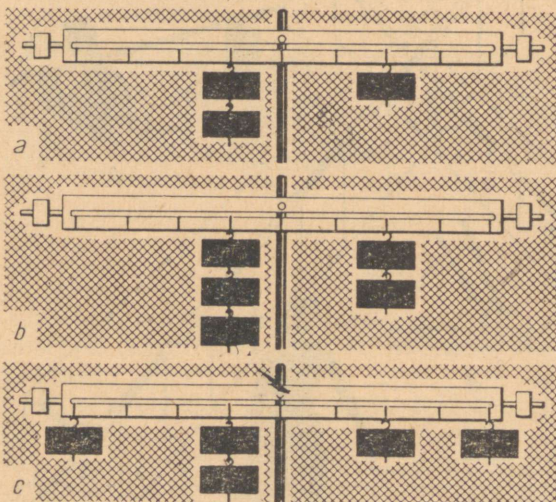
6. Kang, mis on kujutatud joonisel 47, *a* asetseb tasakaalus. Kas kang jääb tasakaalu, kui riputada veel tema külge kaks võrdset raskust nii, nagu näidatud joonisel 47, *b*?

Kas kang jääb tasakaalu, kui need kaks lisaraskust riputada kangi külge nii, nagu näidatud joonisel 47, *c*?

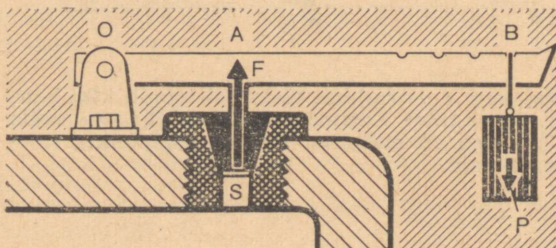
7. Joonisel 48 on kujutatud aurukatla kaitseventiili<sup>1</sup> ehitus. Leia, kui suur koormus *P* on vaja riputada kangi külge, et aur ei pääseks klapi kaudu välja. Auru rõhk katlas on 12 at. Klapi pindala 3 cm<sup>2</sup>. Klapi ja kangi kaalu arvestada ei tule. Jõu õlad mõõda jooniselt.

8. Joonisel 49 on kujutatud kraana. Arvuta, kui suurt koormust saab tõsta selle kraana abil, kui vastukaal *P* kaalub 1 T. (Kraana joonise all olev skeem annab juhiseid ülesande lahendamiseks.)

<sup>1</sup> Kaitseventiil on seadis, mis avab aurukatla klapi, kui rõhk katlas saab ettenähtust suuremaks.



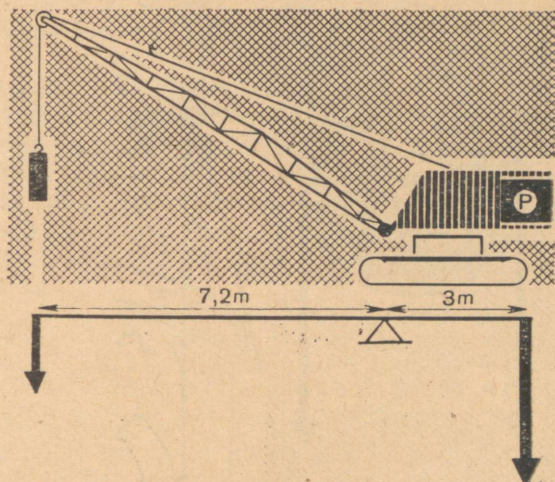
Joon. 47. Ülesande 6 juurde.



Joon. 48. Aurukatla kaitseventiil: *O* — kangi telg; *OB* ja *OA* — kangile mõjuvate jõudude õlad; *P* — vastukaal; *F* — auru rõhumisjõud korgile *S*.



Joon. 49. Ülesande  
8 juurde.



9. Keskelt niidi otsa riputatud traaditükk on tasakaalus horisontaalses asendis. Kas see traaditükk jääb tasakaalu, kui tema üks ots painutada kahekorra? Lahendust selgita joonise abil.

10. Kuidas saab millimeetrijaotustega joonlaua ja näiteks 20 G raskuse vihi abil määrata mutri või mõne teise väikese eseme kaalu? Määra selliselt mõne eseme kaal ja kontrolli tulemust kaalumise teel.

11. Kuidas saab kangide abil kombineerides võita jõus 100 korda? 1000 korda? Joonista sellise seadise skeem. Proovi valmistada mudel, mis võimaldaks võita jõus 100 korda.

12. Näita, milliseid jalgratta (joon. 17) osasid võib vaadelda kangidena.

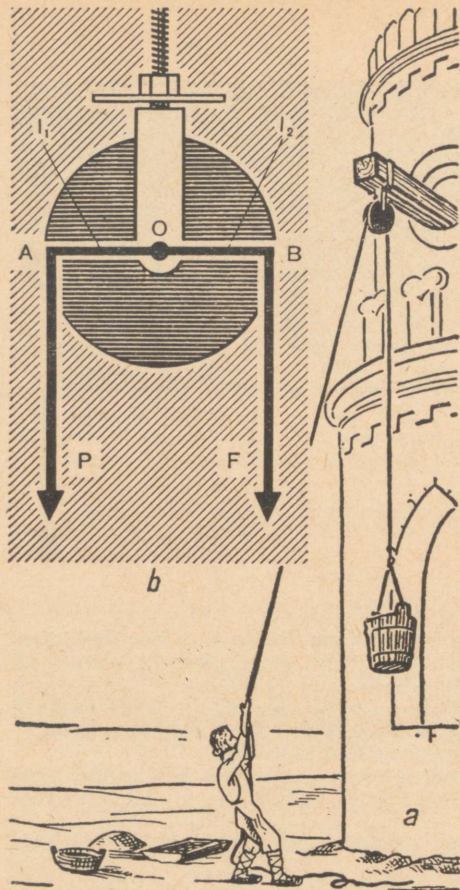
## 28. LIKUMATU PLOKK.

Nööri abil mingit koormust tõstes ei ole meil tingimata tarvis tõmmata nööri ülespoole. Me võime panna nööri üle mingi põikpuu ja tõmmata siis nööri selles suunas, mis meile on mugavam. Seejuures tõuseb koormus üles kuni põikpuuni.

Et vähendada nööri hõõrdumist, võib põikpuu osa, millest nöör üle läheb, teha ümara ja sileda. Nööri võib aga panna ka üle plokiratta (joon. 50, a), mis nööri liikumisel hakkab pöörlema.

Joonisel 50, a on näidatud, kuidas sellist plokki võib kasutada koormuste tõstmiseks. Plokk riputatakse konksu abil mingi kõrgel asetseva liikumatu eseme külge. Üle plokki pannakse nöör. Nööri üks ots seotakse tõstetava koormuse külge, nööri teist otsa aga tõmmatakse allapoole. Ploki telg jääb seejuures liikumatuks, s. t. koormuse tõstmisel plokki telg ei tõuse maapinna suhtes kõrgemale ega lasku ka madalamale. Sellist plokki nimetatakse liikumatuks plokiks.

Liikumatu plokki võib vaadelda kangina, kus jõu õlad on võrd-



Joon. 50.

sed ratta raadiusega. Joonisel 50, b on  $P$  ja  $F$  mõjuvad jõud;  $OA = l_1$  ja  $OB = l_2$  aga nende jõudude õlad.

Jõud  $P$  on tõstetava koormuse kaal, jõud  $F$  aga tõmbejõud, millega inimene tõmbab üle ploki pandud nööri. Koormuse tõstmisel on jõudude  $P$  ja  $F$  rakenduspunktide poolt läbitud teed võrdsed, sest nii palju, kui nihkub meie poolt tõmmatava nööri ots alla, tõuseb ka koormus üles.

Jõud  $P$  pöörab ploki kellaosuti liikumisele vastassuunas, jõud  $F$  aga kellaosuti liikumise suunas. Sellise kangi tasakaalu tingimuseks on jõudude  $P$  ja  $F$  momentide võrdsus:  $Pl_1 = Fl_2$ . Kuna selle kangi õlad on võrdsed ( $l_1$  ja  $l_2$  on võrdsed ploki raadiusega), siis jõud  $P$  on võrdne jõuga  $F$ .

Jõudude  $P$  ja  $F$  võrdsus näitab, et koormuse tõstmisel liikumatu plokiga tuleb nööril rakendada koormuse kaaluga võrdset jõudu. (Hõõrdumist seejuures ei arvestata.)



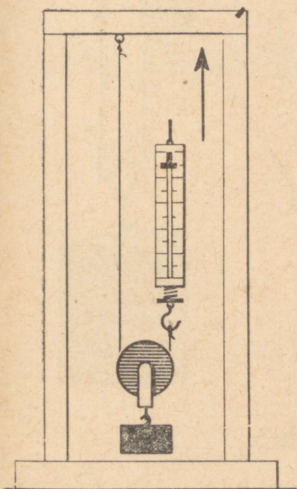
Järelikult, liikumatu plokk ei anna meile võitu jõus. Ta ei anna võitu ka töös, sest võrdsete jõudude poolt võrdsetel kaugustel tehtud töö on võrdne.

Seega, liikumatu plokk võimaldab muuta ainult tõmbejõu suunda: nõõri võib tõmmata kas alla või kõrvale, koormus aga tõuseb üles. Jõu mõjumise suuna muutmisel on paljudel juhtumitel suur praktiline tähtsus. Koormust tõstes on nõõri palju mugavam allapoole tõmmata, kui sedasama koormust tõsta ilma plokita.

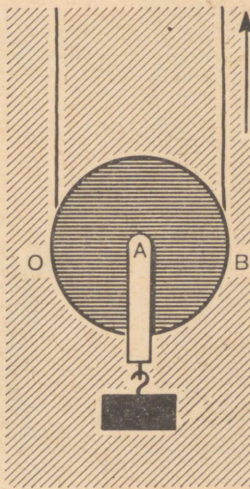
Liikumatu plokk leiab laialdast rakendamist tehnikas, põllumajanduses ja igapäevases elus. Plokke kasutatakse tõstekraanade, ekskavaatorite jm. juures.

## 29. LIIKUV PLOKK.

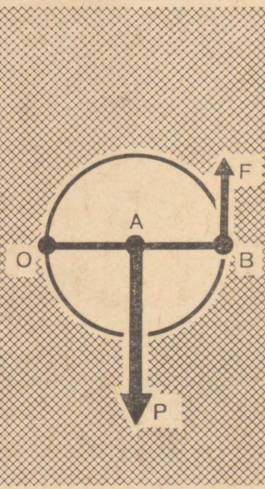
Koormust võib üles tõsta ka liikuva plokki abil. Nõõri üks ots on kinnitatud liikumatult, nõõri teist otsa tõmmatakse aga paralleelselt esimesega ülespoole. Nõõri silmusel ripub plokk, mille külge on kinnitatud tõstetav koormus. Kuna koormus ripub kahe paralleelse nõõri otsas, siis kumbki nõõr kannab poole kogu koormuse raskusest. On ilmne, et töölisel tuleb koormuse ülevaheldamiseks rakendada jõudu, mis on võrdne ainult poolega koormuse kaalust. Seda järeldust võime kontrollida ka katseliselt. Kui me tõstame plokki külge kinnitatud koormust (joon. 51), siis dünamomeeter näitab, et koormust ülevaheldev jõud on võrdne poolega koormuse ja plokki kaalust.



Joon. 51.



Joon. 52.



Joon. 53.

Kuna koormuse liikumisel liigub ka plokk, siis sellist plokki nimetatakse liikuvaks plokiks.

Katse teel saadud järeldust oleksime võinud ette öelda, kui liikuvat plokki oleksime vaadelnud kangina, mille üks õlg on teisest kaks korda pikem.

Joonisel 52 on kujutatud liikuv plokk, joonisel 53 aga vastav kang:  $O$  — kangi toetuspunkt,  $OA$  — jõu  $P$  õlg ja  $OB$  — jõu  $F$  õlg.  $P$  — koormuse kaal;  $F$  — veojõud.

Kuna  $OB$  on kaks korda suurem  $OA$ -st, siis jõud  $F$  on kaks korda väiksem jõust  $P$ :

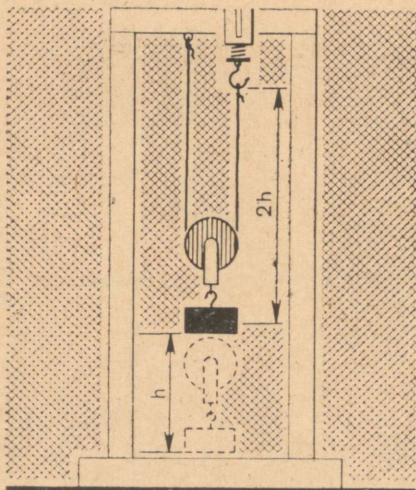
$$F = \frac{P}{2}.$$

Seega, koormuse tõstmisel liikuva plokki abil tuleb rakendada jõudu, mis on kaks korda väiksem koormuse raskusest. Järelikult, liikuv plokk võimaldab võita jõus kaks korda.<sup>1</sup>

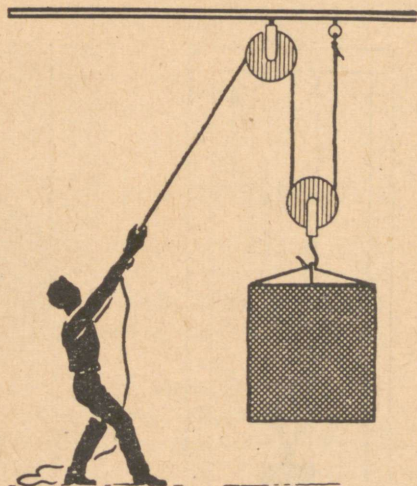
Möödame ja võrdleme nüüd omavahel jõudude  $P$  ja  $F$  poolt tehtud töid. Selleks teeme järgmise katse.

Hakkame liikuva plokki abil tõstma kaaluvihti. Et tõsta vihti kõrgusele  $h$ , tuleb see nööri ots, mille külge on kinnitatud dünamomeeter, tõsta kõrgusele  $2h$  (joon. 54). Seega, võitnud küll jõus kaks korda, kaotame tees kaks korda. Järelikult, töös me võitu ei saanud.

<sup>1</sup> Praktiliselt on jõud, millega tõmmatakse nööri, mõnevõrra arvestatust suurem, sest me ei arvestanud plokki kaalu ja hõõrdumist.

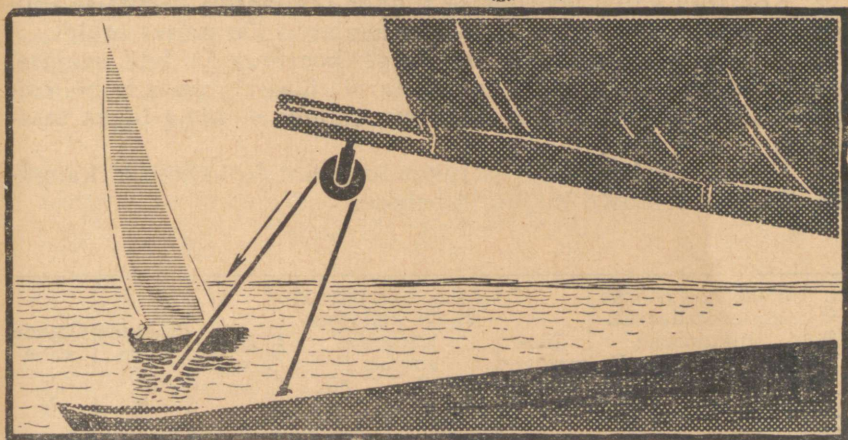
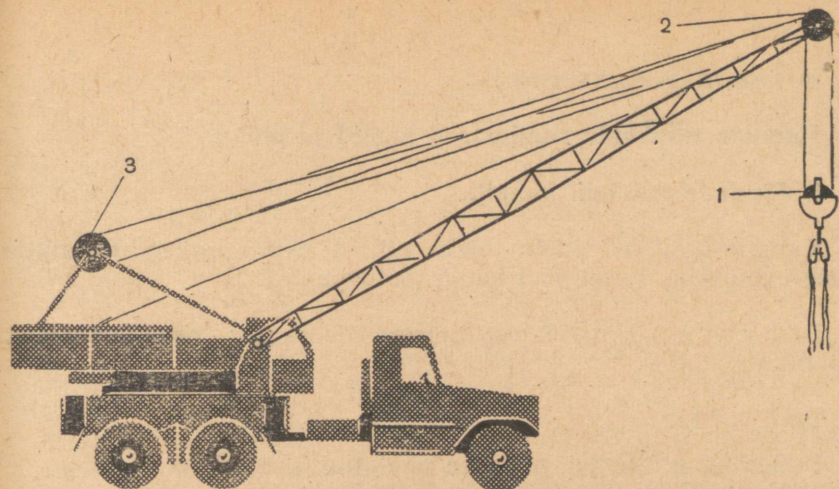


Joon. 54. Liikuv plokk töös võitu ei anna.



Joon. 55. Liikuva ja liikumatu plokki kombinatsioon.





Joon. 56. Autokraanas kasutatakse ühte liikuvat (1) ja kahte liikumatut (2 ja 3) plokki.

Joon. 57.

**Liikuv plokk nagu ka kõik eespool vaadeldud mehhanismid töös võitu ei anna.**

Koormuse tõstmisel liikuva ploki abil ei ole töölisel aga tingimata tarvis tõmmata nööri üles.

Kinnitanud palgi külge liikumatu ploki ja pannud sellest üle nööri, mille silmuses asetseb liikuv plokk, võib tööline tõmmata nööri allapoole, koormuse tõuseb aga üles (joon. 55).

Liikuvaid plokkide kasutatakse paljudes seadeldistes, kus väikese jõuga on vaja ületada suurt jõudu, näiteks raskete koormuste tõstmise juures jm.

Joonistel 56 ja 57 on näidatud, kuidas liikuvat plokki kasutatakse autokraana juures ja purjepaadi taglases.

### 30. LABORATOORNE TÖÖ 3.

#### Jõudude tasakaalu tingimused kangil ja plokil.

##### I. Jõudude tasakaal kangil.

Kangile mõjuvad kaks jõudu nii, et nende rakenduspunktid asetsevad teine teisel pool kangi toetuspunkti.

Töövahendid: kang; koormuste kogu; dünamomeeter; joonlaud; statiiv.

Töö käik.

1. Sea kang üles nii, nagu on näidatud joonisel 38.
2. Kontrolli kangi pöörlemise suunda (kellaosuti liikumise suunas või vastassuunas) iga temale rakendatud jõu mõjul eraldi.
3. Riputa kangi vasaku õla külge koormus ja leia seejärel kangi paremal õlal punkt, kus on tarvis üles riputada teine, esimesest kaks korda raskem koormus, selleks et kang oleks tasakaalus.
4. Mõõda pöörlemistelje ja rakenduspunktide vahelised kaugused. Katse tulemused kirjuta tabelisse.

| Mõõtmise nr. | Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas $F$ |                 | Jõu-moment ( $G \cdot cm$ ) | Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas $P$ |                 | Jõu-moment ( $G \cdot cm$ ) | Jõudude suhe $\frac{F}{P}$ | Õlgade suhe $\frac{I_1}{I_2}$ |
|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|              | Jõud (G)                                                       | Õla pikkus (cm) |                             | Jõud (G)                                               | Õla pikkus (cm) |                             |                            |                               |
| 1.           |                                                                |                 |                             |                                                        |                 |                             |                            |                               |
| 2.           |                                                                |                 |                             |                                                        |                 |                             |                            |                               |
| 3.           |                                                                |                 |                             |                                                        |                 |                             |                            |                               |

5. Korda katset mitu korda, muutes õlgade pikkusi ja koormusi kangi tasakaalu korral.

6. Missugune seos on mõjuvate jõudude ja tasakaalus oleva kangi õlgade vahel?

##### II. Jõudude tasakaalu tingimus liikuval plokil.

Töövahendid: kaks plokki, niit, statiiv, koormuste kogu, dünamomeeter, joonlaud.



## Töö käik.

1. Sea statiivi külge üles kombinatsioon liikuvast ja liikumatust plokist (vt. joon. 55). Niidid, mis lähevad liikuvast plokist üles, peavad olema paralleelsed.

2. Vali koormus, mis tasakaalustaks liikuvat plokki.

3. Tuleta meelde liikuvale plokile kui kangile mõjuvate jõudude õlgade suhet.

4. Mõõda liikuva plokki diameeter täpsusega 0,5 cm.

5. Riputa liikuva plokki konksu otsa koormus.

6. Tasakaalusta liikuva plokki külge riputatud koormus dünamomeetriga, kinnitades selle liikumatust plokist ülemineva niidi otsa külge.

7. Kirjuta dünamomeetri näidud ja liikuva plokki külge riputatud koormuste raskused üles. Leia jõud, mis tasakaalustab koormuse plokil. See jõud on võrdne dünamomeetri näiduga, millest on maha arvestatud koormuse kaal, mis tasakaalustab koormamata plokki.

8. Tee kolm katset kaalu poolest erinevate koormustega.

9. Katse tulemused kirjuta tabelisse.

| Mõõtmise nr. | Koormuse kaal (G) | Õlg (cm) | Jõumoment (G·cm) | Jõud, mis tasakaalustab koormuse (G) | Õlg (cm) | Jõumoment (G·cm) |
|--------------|-------------------|----------|------------------|--------------------------------------|----------|------------------|
| 1.           |                   |          |                  |                                      |          |                  |
| 2.           |                   |          |                  |                                      |          |                  |
| 3.           |                   |          |                  |                                      |          |                  |

10. Kas sinu poolt tehtud katse tulemused kinnitavad koormuse kaalu ja seda tasakaalustava jõu momentide võrdsust?

## Harjutus 16.

1. Koormus tõsteti liikuva plokki abil 1,5 m kõrgusele. Kui palju tuli seejuures nõõri vaba otsa ülespoole tõmmata?

2. Liikuva plokki abil tõsteti koormus 7 m kõrgusele. Kui palju tööd tegi selle tõstmise juures tööline, kui ta rakendas nõõri otsale jõudu 16 kG?

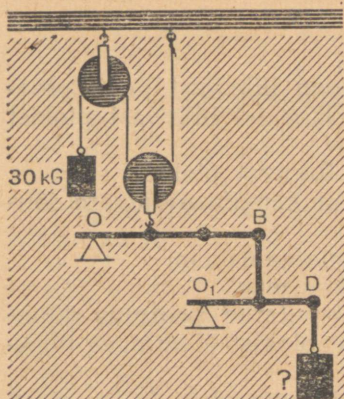
3. Kas põrandal seisev õpilane, kes kaalub 45 kG, saab liikumatu plokki abil üles tõsta koormuse kaaluga 54 kG?

4. Kuidas kasutada liikuvat plokki selleks, et võita vahemaas?

5. Mõttele välja kangide ja plokkide kombinatsioon, mille abil oleks 20-kilogrammiga jõuga võimalik tõsta üles 160 kG.

6. Kui raske koormus tuleb riputada kangi otsa  $D$  (joon. 58), et kang oleks tasakaalus?

Märkus. Ülesande lahendamisel kangide ja plokkide kaalu, aga samuti ka hõõrdumist arvesse ei võeta.



Joon. 58.

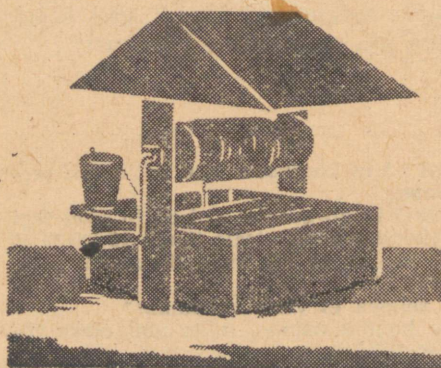
7. Kangi lühema otsa külge on riputatud koormus 5 kG. Õpilane, rõhudes kangi pikemale otsale, vajutab selle alla 10 cm võrra, tehes seejuures 0,25 kGm tööd.

Määra:

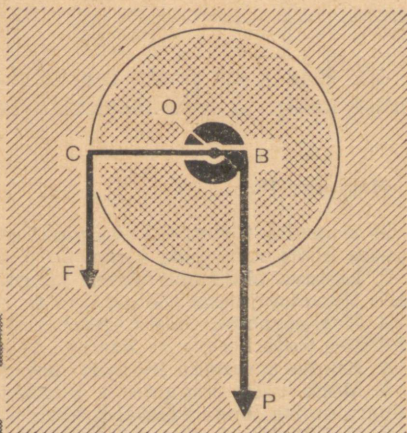
- jõud, millega õpilane rõhus kangile;
- kui kõrgele tõusis koormus.

### 31. PÖÖR.

Pööra kõige olulisemaks osaks on telje külge kinnitatud völli. Völli külge on omakorda kinnitatud nõör, mis völli pöörlemisel keerdub tema ümber ja sellega tõstab koormuse üles. Völli pööratakse väнда või suure ratta abil. Joonisel 59, a on kujutatud kaevupöör.



a



b

Joon. 59.



Selgitame pööra kasutamise põhimõtet, kasutades selleks skeemaatilist joonist (joon. 59, b). Joonisel on tähega  $O$  tähistatud pööra telg, vahemaa  $OB$  on võlli raadius,  $OC$  vända poolt kirjeldatava ringi raadius,  $P$  on veega täidetud ämbri kaal ja  $F$  — jõud, mida rakendab inimene, kes tõstab ämbrit.

Kui läbi punktide  $C$ ,  $O$  ja  $B$  tõmbame sirge, siis saame kangi skeemi, kus mõjuvate jõudude õlgadeks on võlli ja vända raadiused. Tähistame võlli raadiuse tähega  $r$  ja vända raadiuse tähega  $R$ . Kuna raadiused  $r$  ja  $R$  ei ole võrdsed, siis ei ole võrdsed ka jõud  $F$  ja  $P$ , mis on rakendatud vastavalt punktides  $C$  ja  $B$ .

Kangi tasakaalu tingimuste kohaselt on pööra võll tasakaalus siis, kui vändale ja võllile rakendatud jõudude  $F$  ja  $P$  momendid on võrdsed. Kirjutame selle tingimuse üles:

$$F \cdot R = P \cdot r.$$

Siit leiame jõu  $F$ :

$$\boxed{F = P \cdot \frac{r}{R}} \quad \text{või} \quad \boxed{\frac{F}{P} = \frac{r}{R}}$$

**Võlli vändale rakendatud jõud on nii mitu korda väiksem koomuse kaalust, kui mitu korda võlli raadius on väiksem vända liikumisel moodustuva ringjoone raadiusest.**

Kuna pöör kujutab endast kangi üht erijuhtumit, siis võib kohe öelda, et pöör tööts võitu ei anna.

Pöör esineb koostisosana paljudes keerulistes masinates. Nii näiteks kasutatakse pööra ekskavaatori juures, samuti aga ka ehitusplatsidel kasutatavates paljudes mehhanismides jm.

### Harjutus 17.

1. Arvuta välja ja kujuta joonisel pöör, milleabil võib 10 kG suuruse jõuga tõsta koormust raskusega 150 kG.

2. Pööra võlli diameeter on 20 cm, vända liikumisel moodustuva ringjoone raadius aga 50 cm. Kui suurt jõudu on vaja rakendada ämbritäie vee kaevust väljatõstmiseks, kui pang koos veega kaalub 12 kG?

3. Pööra võlli raadius on 20 cm, vända liikumisel moodustuva ringjoone raadius aga 80 cm. Pööra kasutatakse ämbritäie vee kaevust väljatõstmiseks. Kui vânt läbib teepikkuse 0,6 m, tehakse seejuures tööd 3 kGm.

Leia:

a) vändale mõjuva jõu suurus;

b) ämbri ja vee kaal;

c) kui kõrgele tõusis ämber, kui vânt läbis teepikkuse 0,6 m.

### 32. MEHHAANIKA «KULDREEGEL».

#### MEHCHANISMI KASUTEGUR.

Eespool nägime, et kang, plokk ja pöör töös võitu ei anna. Sajanditepikkune praktika on näidanud, et **ükski mehhanism töös võitu ei anna**. Mitmesuguseid mehhanisme kasutatakse ainult selleks, et sõltuvalt töö tingimustest võita kas jõus või teepikkuses.

Juba vanaaja teadlastele oli tuntud alljärgnev mehhanismide kohta kehtiv reegel: **nii mitu korda kui võidame jõus, kaotame teepikkuses.**

Seda reeglit nimetati mehhaanika «kuldreegliks».

Praktikas on mehhanismi poolt tehtav töö alati veidi väiksem tööst, mis on vajalik mehhanismi liikumapanemiseks, sest osa tööst läheb takistuse ületamiseks mehhanismis ja tema üksikute osade töölerakendamiseks.

Kui näiteks kasutada koormuse tõstmiseks liikuvat plokki, siis tuleb teha veel täiendav töö ploki enda ja nööri tõstmiseks ning ületada plokis tekkiv hõõrdumine.

Järelikult, ükskõik millise mehhanismi me ka ei võtaks, alati moodustab tema abil saadav kasulik töö ainult osa kogu tehtud tööst.

**Arvu, mis näitab, kui suure osa kogu tehtud tööst moodustab kasulik töö, nimetatakse mehhanismi kasuteguriks.**

Seega,

$$\text{kasutegur} = \frac{\text{saadud kasulik töö}}{\text{kogu kulutatud töö}}$$

Kasutegur väljendatakse harilikult protsentides.

Kuna kasulik töö on alati väiksem kulutatud tööst, siis mistahes mehhanismi kasutegur on alati väiksem ühest ehk, kui väljendada kasutegur protsentides, väiksem kui 100 %.

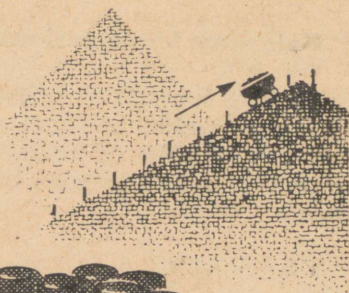
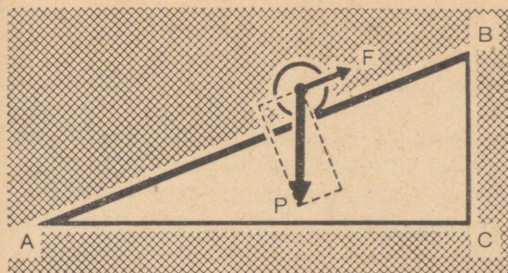
### 33. KALDPIND.

Selle asemel, et tõsta koormus otse vajalikule kõrgusele, kasutatakse sageli kaldpinda, mida mööda see koormus kas veeretatakse või tõmmatakse samale kõrgusele. Vaatleme, mille poolest on kaldpinna kasutamine kasulik.

Kaks näidet kaldpinna kasutamise kohta on kujutatud joonisel 60 (vagoneti liikumine ja vaatide veeretamine). Ülesmäge minevat teelõiku võib samuti vaadelda kui kaldpinda.

Skemaatiliselt võib mistahes kaldpinda kujutada täisnurkse kolmnurgana (joon. 60), kus  $BC$  on kaldpinna kõrgus,  $AB$  — kaldpinna pikkus,  $P$  — keha kaal,  $F$  — jõud, mille mõjul keha liigub mööda kaldpinda üles. Tähistame kaldpinna pikkuse tähega  $l$  ja kõrguse tähega  $h$ .





Joon. 60.

Keha tõstmisel kõrgusele  $h$  tehakse töö, mis on võrdne keha kaalu  $P$  ja tõste kõrguse korrutisega:

$$A = P \cdot h.$$

Töö, mida tehakse keha nihutamisel mööda kaldpinda, on võrdne liikumapaneva jõu ja kaldpinna pikkuse korrutisega:

$$A = F \cdot l.$$

Vastavalt mehhaanika «kuldreeglile» ei anna ükski mehhanism võitu töös. Järelikult on need kaks tööd omavahel võrdsed<sup>1</sup>.

$$P \cdot h = F \cdot l.$$

Moodustame sellest võrdusest võrde:

$$\frac{P}{F} = \frac{l}{h}.$$

Võrdest näeme, et kaldpinda kasutades võidame me nii mitu korda jõus, kui mitu korda on kaldpind pikem tema kõrgusest.<sup>2</sup>

Kaldpindade kasutamise kohta võib igapäevasest elust tuua väga palju mitmesuguseid näiteid: kõrgahjude kaldteed, mida mööda tõstetakse maaki ja koksi kõrgahjudesse; raudteejaamades vagunit sorteerimiseks kasutatavad raudteekingud; staapelid, mida mööda laevaehitustehastes laevu vette lastakse jne.

<sup>1</sup> Oletame, et hõõrdumine puudub.

<sup>2</sup> Hõõrdumist seejuures ei arvestata.

### 34. LABORATOORNE TÖÖ 4.

#### Kaldpinna kasuteguri määramine.

Töövahendid: umbes 50—75 cm pikkune ja 10—20 cm laiune hõõveldatud laud; umbes 20 cm kõrgune alustugi; puuklots, mille külge on keeratud konks dünamomeetri kinnitamiseks; mitmesuguseid koormusi kaaludega 0,5 kG, 1 kG, 2 kG; dünamomeeter.

#### Töö käik.

1. Pane laud kaldu. Mõõda saadud kaldpinna pikkus ja kõrgus. Kinnita dünamomeeter klotsi külge ja vea klotsi ühtlaselt mööda kaldpinda üles.

2. Korda tehtud katset mitu korda, koormates klotsi vihtidega. Seejuures ära muuda kaldpinna kõrgust. Tulemused kirjuta tabelisse:

| Jrk. nr. | Tõmbejõud<br>(kG) | Kaldpinna<br>pikkus (m) | Tõmbejõu<br>töö (kGm) | Klotsi ja<br>vihti kaal<br>(kG) | Kaldpinna<br>kõrgus (m) | Kasulik<br>töö (kGm) | Kasutegur | Kasuteguri<br>keskmine<br>väärtus |
|----------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------|
|          |                   |                         |                       |                                 |                         |                      |           |                                   |

3. Saadud andmete abil leia kaldpinna kasutegur protsentides.

#### Harjutus 18.

1. Kelgumäe pikkus on 20 m ja kõrgus 4 m. Kui palju tuleb teha tööd, et sellele mäele vedada 15 kG raskune kelk? Kui suurt jõudu on vaja selleks rakendada? Hõõrdumist mitte arvestada.

2. Tee tõuseb iga 50 m kohta 3 m võrra. Kui suurt allaveeremisjõudu peab ületama auto mootor, kui auto kaalub 2 T? Kui palju tööd tehakse 50 m pikkusel teelõigul?

3. Mõõda kaldteed, mille pikkus on 10 m ja kõrgus 2,5 m, tuleb veeretada üles 200 kG raskune vaat. Kas on võimalik seda teha, kui rakendada jõudu 30 kG?



### 35. PÖÖRLEVA LIIKUMISE KIIRUS.

Pöörlevat liikumist, millega me tutvusime paragrahvis 2, kasutatakse väga palju mitmesuguste masinate ja tööpinkide juures. Pöörlev liikumine esineb ka meile tuntud mehhanismide kangil, ploki ja pööra juures.

Paragrahvis 2 nägime, et pöörleva liikumise puhul liiguvad keha punktid mööda ringjooni. Nende ringjoonte keskpunktid asetsevad kõik ühel ja samal teljel, mida nimetatakse pöörlemisteljeks.

Ühed kehad pöörlevad kiiremini, teised aeglasemalt. Kella sekundiosuti teeb näiteks ühe pöörde ühe minutiga, minutiosuti ühe tunniga, tunniosuti aga 12 tunniga. Maakera teeb ühe pöörde ümber oma telje ühe ööpäevaga, tiiru ümber Päikese aga aastaga. Maa kunstlik kaaslane teeb ööpäevaga 14—16 tiiru ümber Maa. Automootori võll teeb aga minutis 4000 pööret.

Pöörete arvu järgi minutis (tähistatakse lühidalt  $\frac{p}{\text{min}}$ ) võib otsustada keha pöörleva liikumise nurkkiiruse üle.

Füüsikas mõõdetakse nurkkiirust keha poolt ajaühikus pööratud nurga suuruse järgi. Kui näiteks ratas teeb  $60 \frac{p}{\text{min}}$ , siis ühes sekundis teeb ta ühe pöörde, s. t. pöördub ümber pöörlemistelje  $360^\circ$  võrra. Mida rohkem pöördeid minutis teeb keha, seda suurema nurga võrra ta pöördub ühe sekundi jooksul ja järelikult seda suurem on keha nurkkiirus. Praktikast nimetataksegi seejärel pöörleva liikumise nurkkiiruseks pöörete arvu minutis.

Järgnevas tabelis on esitatud mõningaid andmeid kehade pöörleva liikumise nurkkiiruste kohta.

**Tehnikas esinevate nurkkiiruste tabel.**

| Tuuleturbiini D-12 ratas (tuule kiirus $8 \frac{m}{s}$ ) ..... |       | $60 \frac{p}{\text{min}}$ |
|----------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| Veeturbiini tööratas .....                                     | umbes | 100 „                     |
| Traktori C-80 mootori võll .....                               | kuni  | 1000 „                    |
| Lennuki propeller .....                                        | „     | 1200 „                    |
| Sõiduauto «Moskvitš 402» mootori võll .....                    | „     | 4200 „                    |
| Elektrimootori võll .....                                      | „     | 6000 „                    |
| Separaaatori «Uraal-3» trummel .....                           | „     | 8250 „                    |
| Kudumismasina värtlen .....                                    | „     | 18000 „                   |

Kiirust, millega liigub pöörleva keha mingi punkt, nimetatakse selle punkti joonkiiruseks. Joonkiiruse mõõtühikuks on meeter sekundis ( $\frac{m}{s}$ ).

Mida suurem on pöörleva keha nurkkiirus, seda suurem on ilmselt ka keha punktide joonkiirus. Joonkiirus sõltub aga veel ka selle ringjoone raadiusest, mida mööda liigub punkt. Ühe ja

sama pöörete arvu juures on selle punkti joonkiirus suurem, mis liigub suurema raadiusega ringjoont mööda.

Avaldame joonkiiruse nurkkiiruse ja ringjoone raadiuse kaudu.

Olgu  $v$  — joonkiirus,  $n$  — pöörete arv minutis ja  $r$  — ringjoone raadius, mida mööda liigub meie poolt vaadeldava keha punkt.

Pöörleva keha punkt, mis liigub mööda ringjoont raadiusega  $r$ , läbib ühe pöördega tee  $s_1$ , mis on võrdne ringjoone pikkusega:

$$s_1 = 2\pi r.$$

Ühe minutiga teeb pöörlev keha  $n$  pööret, ringjoonel liikuv punkt läbib aga selle aja jooksul tee  $s$ , mis on  $n$  korda suurem ringjoone pikkusest:

$$s = 2\pi r n.$$

Jagades läbitud tee  $s$  ajaga  $t = 1 \text{ min.} = 60 \text{ sek.}$ , saame joonkiiruse:

$$\boxed{v = \frac{s}{t}} \quad \text{ehk} \quad \boxed{v = \frac{2\pi r n}{60}}$$

Näide. Kui suure joonkiirusega liiguvad silindrikujulise detaili piirdepinnal asetsevad osakesed selle detaili töötlemisel treipingil, kui detaili pöörlemise nurkkiirus on  $300 \frac{\text{p}}{\text{min}}$  ja tema põhja raadius on 2 cm?

Lahendus:

$$v = \frac{2\pi r n}{60}; \quad v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 3000}{60} = 628.$$

$$\text{Vastus: } v = 6,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

### 36. RIHM- JA HAMMASÜLEKANNE.

Paljudes masinates kasutatakse mehhanisme (neid nimetatakse ülekandemehhanismideks), mis annavad liikumist ja jõudu mootorilt üle masina töötavatele osadele või ühelt masina osalt teisele.

Jalgrattaga sõitmisel rõhub jalgrattur jalgade jõuga pedaali- dele, pannes need pöörlema. Pedaalide pöörlev liikumine kantakse keti abil üle (kettülekanne) jalgratta tagumisele rattale.

Laialdaselt kasutatakse ka teisi ülekannete viise, näiteks rihm- ülekannet. Rihmülekannet võib näha kooli töökojas tööpinkide juures, jalaga õmblusmasinate juures, aga samuti ka mitmesuguste põllumajanduses kasutatavate masinate juures jm.

Vaatleme nüüd sagedamini esinevaid ülekannete liike.



a) **Rihmülekanne.** Lihtsaim rihmülekanne on esitatud joonisel 61. Üle kahe ratta *A* ja *B*, mis on kinnitatud paralleelsetele võlli-  
dele, on pandud rihm. Liikumine antakse ühelt rattalt edasi tei-  
sele hõõrdumise olemasolu tõttu rihma ja rataste vahel.

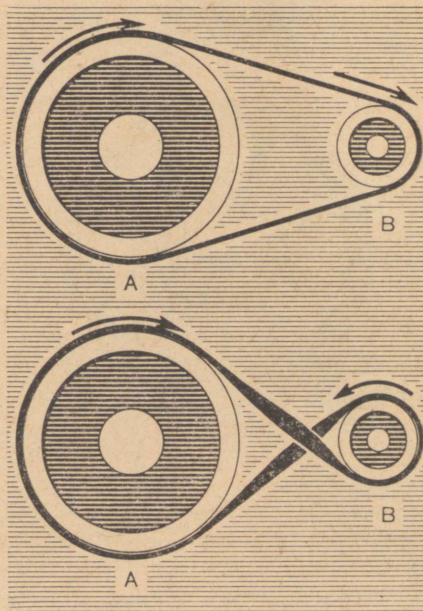
Ratast *A*, mis annab liikumist edasi, nimetatakse **veorataks**, ratast *B* aga, mis võtab liikumist vastu, nimetatakse **veetavaks** rattaks.

Kui veoratas tõmbab rihma mingi kindla jõuga, siis selle jõuga mõjub rihm ka veetavale rattale. Rihmülekanne puhul antakse ühele rattale mõjuv jõud edasi teisele rattale rihma abil.

Rihmülekanne töötab sujuvalt ja peaaegu käratult. Laiade rataste ja rihmade puhul on võimalik üle kanda suuri jõude. See-  
juures ei tohi aga rihm ratastel libiseda. Libisemise vältimiseks tõmmatakse rihm võimalikult pingule ning määratakse erilise klee-  
puva ainega.

Kui veetav ratas *B* tahetakse panna pöörlema vastupidises suu-  
nas veoratta *A* pöörlemisele, siis pannakse rihm risti, nii nagu  
kujutatud joonisel 61, all.

Veoratta ja veetava ratta pöörete arvud on sõltuvuses nende  
diameetrite pikkustest. Kui diameetrid on võrdsed, siis teevad  
mõlemad rattad ühe ja sama ajavahemiku vältel ühepalju pöör-  
deid. Kui rataste diameetrid aga ei ole võrdsed, siis nende pöörete  
arvud on pöördvõrdelised diameetritega.



Joon. 61.

See tuleneb sellest, et veoratta ja veetava ratta piirete punktide joonkiirused on võrdsed rihma punktide liikumise kiirustega:

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

millest

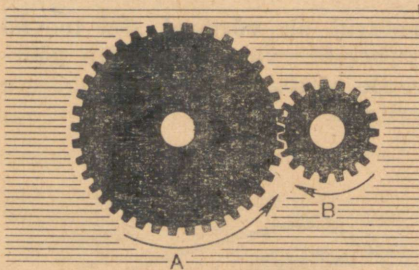
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{2r_2}{2r_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

kus  $D_1$  ja  $D_2$  on rataste diameetrid.

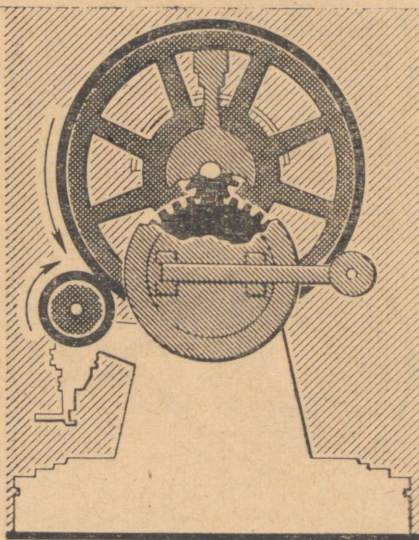
b) **Hammasülekanne.** Kui võllid, mille vahel toimub liikumise ülekanne, asetsevad üksteise lähedal, siis kasutatakse liikumise ülekandmiseks hammasrattaid.

Ühe ratta hambad (joon. 62) annavad vahetu hambumise teel teise ratta hammastega edasi pöörlemist ja jõudu ühelt võllilt teisele.

Et selgitada, millise pöörete arvuga hakkavad liikuma võllid hammasülekanne puhul, vaatleme näidet. Oletame, et vedaval hammasrattal on 75 hammast, veetaval aga 25. Kui vedav ham-

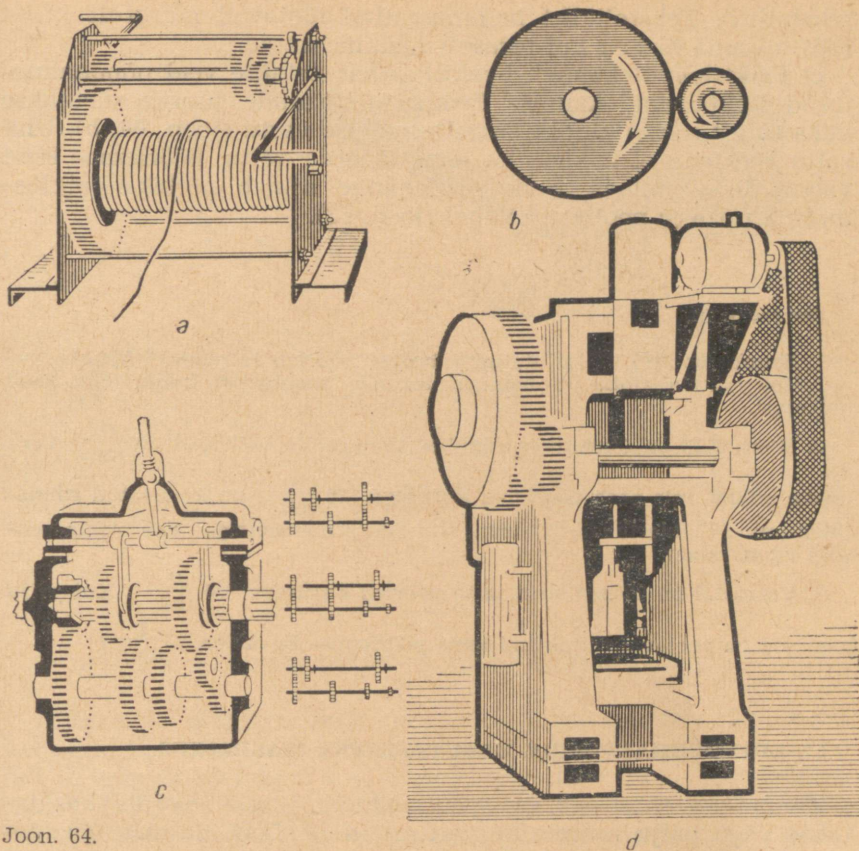


Joon. 62.



Joon. 63.





Joon. 64.

masratas pöörduv ühe hamba võrra, siis veetav hammasratas pöörduv samuti ühe hamba võrra. Järelikult, kui 75 hambaga hammasratas teeb ühe täispöörde, teeb 25 hambaga hammasratas kolm täispööret. Teisiti sõnastatult, **hammasülekanne puhul on hammasrataste pöörete arvud pöördvõrdelised nende rataste hammaste arvudega.**

Hammasülekanne on lihtne, töökindel ja kauakestev. Teda kasutatakse väga mitmesugustes masinates ja mehhanismides: kellades, treipinkides, õmblusmasinates (joon. 63), autodes (joon. 64, c), vintsides (joon. 64, a) jm.

Joonisel 64, d on kujutatud mehhaaniline press metallist esemete stantsimiseks. Elektrimootorist (paremal pool oleval) antakse liikumine kõigepealt edasi rihmülekanne teel, seejärel aga hammasülekanne teel (üleval vasakul).

Hammasrataste valmistamiseks kasutatakse tänapäeval sageli

tekstoliiti<sup>1</sup>. Tekstoliidist hammasrattad töötavad müratult ja on töös niisama täpsed kui terasest hammasrattad.

c) **Friktsioonülekanne**<sup>1</sup>. Praktikas kasutatakse veel nõndanime- tatud friktsioonülekannet. Friktsioonülekan- de juures surutakse kaks ratast mingi kindla jõuga teineteise vastu (joon. 64, b). Ühe ratta pöörlemisel hakkab ka teine hõörde tõttu pöörlema, kuid vastupidises suunas. Selline ülekanne esineb näiteks õmblus- masina ratta ja pooliratta vahel (joon. 63).

### Harjutus 19.

1. Kumb joonisel 61 kujutatud ratastest pöörleb kiiremini? Miks?  
2. Too näiteid rihm- ja hammasülekan- de kasutamise kohta oma kooli töökojast.

3. Kaks võlli on ühenduses «lõputa» rihmaga. Veovõll teeb  $150 \frac{p}{min}$ . Vee- tavale võllile, mis peab pöörlema kiirusega  $375 \frac{p}{min}$ , on kinnitatud rihma- ratas, mille diameeter on 250 mm. Kui suure diameetriga peab olema veo- võlli rihmaratas?

4. Veorattal on 20 hammast ja ta pöörleb kiirusega  $200 \frac{p}{min}$ . Kui palju hambaid on veetaval rattal, kui tema pöörlemise kiirus on  $50 \frac{p}{min}$ ?

### 37. LIHTMEHHANISMIDE KASUTAMISEST MASINATES.

Tänapäeva tööstuses, põllumajanduses ja transpordis kasuta- takse väga palju mitmesuguseid masinaid. Igas masinas või töö- pingis on aga palju lihtmehhanisme.

Vaatleme näiteks ekskavaatori ehitust. Ekskavaatorit kasu- tatakse kanalite kaevamiseks, ehitusplatsidel süvendite tegemi- seks jm. Selle keerulise masina lähema tundmaõppimiseta võib juba öelda, et töötamise ajal tegutseb ekskavaator kangina (joon. 65). Kangideks on ekskavaatori nool ja tema kopp koos varrega.

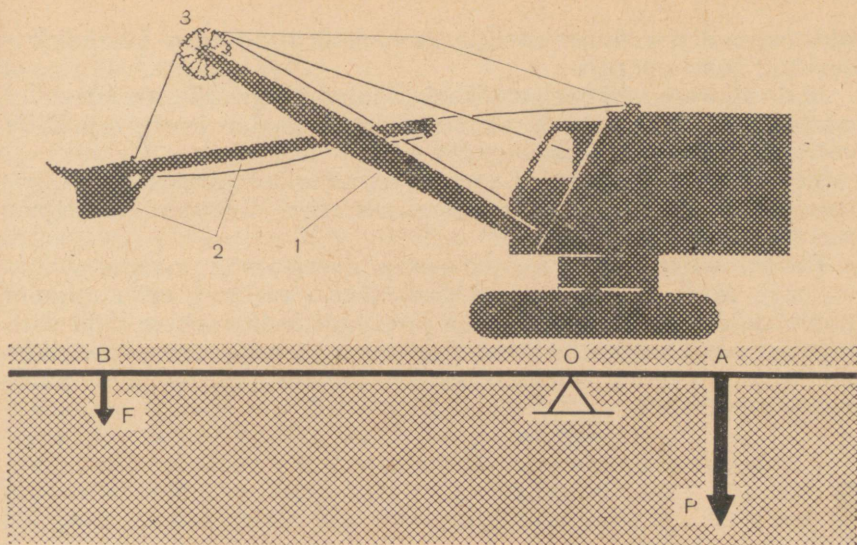
Noole juhtimiseks ja ekskavaatori kopa tõstmiseks kasutatakse plokke.

Noole ja kopa tõstmiseks ning allalaskmiseks on ekskavaatori kabiinis vints, mis kujutab endast pööra ja hammasülekan- nete ühendust. Vintsi võll pannakse pöörlema mootori abil.

<sup>1</sup> Tekstoliiti valmistatakse mitmekihilisest tekstiilmaterjalist (kan- gast), mis on erilise lakiga suure rõhu all kokku kleebitud.

<sup>1</sup> Friktsioon tuleneb ladinakeelsest sõnast *frictio* — hõõrdumine, s. t. on võimalik hõõrdumise olemasolu tõttu.





Joon. 65.

### 38. KEHADE POTENTSIAALNE JA KINEETILINE ENERGIA.

**1. Energia mõiste.** Ülestõstetud kivile mõjub jõud, mis tõmbab seda kivi maa poole. See jõud on raskusjõud. Magneti lähedal asetsevale terasest kuulikesele mõjub magneti tõmbejõud. Kui võimaldada kivil kukkuda maa peale või kuulikesel tõmbuda magneti külge, siis neile mõjuvad tõmbejõud teevad mõlemal juhtumil tööd.

Surume traadist vedru kokku ja seome ta siis niidiga kinni nii, et vedru jääks kokkusurutud olekusse. Kui kokkusurutud vedru lahti lasta, siis võib ta teha tööd, näiteks tõsta üles mingi koormuse. Tähendab, kokkusurutud vedrul, nii nagu ka ülestõstetud kivil või magneti lähedal asetseval terasest kuulikesel, on võime teha tööd.

**Kehadel, mis võivad teha tööd, on olemas energiat.**

Eespool vaadeldud näidetes on nii ülestõstetud kivil, magneti lähedal asetseval terasest kuulikesel kui ka kokkusurutud vedrul energiat, sest nende liikumisel tehakse tööd. Mida suurem on töö hulk, mida võib teha keha või kehade süsteem, seda suurem on ka nende energia.

**2. Potentsiaalne energia.** Potentsiaalse energia<sup>1</sup> näideteks on

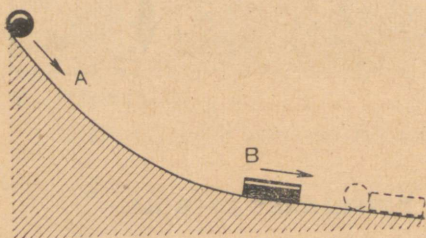
<sup>1</sup> Sõna *potentsiaal* tuleneb ladinakeelsest sõnast *potentsia*, mis tähendab võimet.

ülestõstetud koormuse energia, kokkusurutud vedru või kokkusurutud gaasi energia.

Mida suurem on koormuse kaal ja mida kõrgemale see koormus on tõstetud, seda suurem on tema potentsiaalne energia ja seda rohkem tööd võib ta ka langedes teha.

Väga suur potentsiaalne energia on näiteks tammide taha ülespaisutatud veel. Allalangemisel paneb vesi liikuma elektrijaa-made võimsad turbiinid.

Kokkusurutud gaasil potentsiaalne energia sõltub tema surveastmest. Mida tugevamini on gaas kokku surutud, seda rohkem potentsiaalset energiat tal on ja järelikult seda rohkem tööd võib ta paisumisel teha. Kokkusurutud auru ja gaasi energiale, nagu me hiljem näeme, põhineb soojusmasinate (aurukatelde, automootorite jt.) töö.



Joon. 66.

Vaadeldud näidetest selgub, et **potentsiaalne energia sõltub kehade või tema osade vastastikusest asendist** (maa kohale ülestõstetud keha, kokkukeeratud spiraalvedru, kokkusurutud gaas jne.).

Potentsiaalne energia võib ilmned a ainult teatud tingimuste korral. Ülestõstetud kellapomm või üleskeeratud vedru paneb kellamehhanismi liikuma ainult siis, kui pommile on antud võimalus langeda, vedrul aga end lahti keerata. Kokkusurutud gaas võib panna automootori kolvi liikuma ainult sel juhtumil, kui gaas paisub.

**3. Kineetiline energia.** Mitte ainult kehad, mis seisavad paigal ja mõjutavad teineteist, vaid ka liikuvad kehad võivad teha tööd, s. t. neil on samuti energiat.

Joonisel 66 on kujutatud metallkuulike A, mis veereb mööda kaldrenni alla. Põrganud vastu liikumatut silindrit B, nihutab kuulike seda edasi, tehes seejuures tööd. Selgub, et liikaval kuulil on energiat.

Voolav vesi paneb elektrijaamades pöörlema turbiinid ja teeb seejuures tööd. Järelikult on ka voolaval veel energiat. Samuti on energiat liikaval õhul — tuulel.



**Energiat, mis on kehal tema liikumise tõttu, nimetatakse kineetiliseks energiaks<sup>1</sup>.**

Järelikult tuulel ja veel on kineetilist energiat.

Mida suurem on keha mass ja tema liikumise kiirus, seda suurem on keha kineetiline energia. Selles on kerge veenduda, kui teha eespool kirjeldatud katset kahe metallkuulikese ja silindriga, võttes seejuures kuulikesed erineva massiga ning lastes neil erinevatelt kõrgustelt alla veereda. Selgub, et mida suurem on kuulikese mass ja tema liikumise kiirus, seda kaugemale nihutab ta silindrit ja järelikult seda rohkem tööd ta teeb.

Vaadeldud energia liike, mis ilmnevad kehade mehhaaniliste nihkumiste puhul, nimetatakse ühise nimetusega *mehhaaniliseks energiaks*.

Energia teisi liike (elektrienergia, keemiline energia jt.) õpite tundma edaspidi, füüsika teiste osade õppimisel.

Kõikidel looduses esinevatel kehadel on kas potentsiaalset või kineetilist energiat, kuid sageli ka mõlemaid koos. Näiteks on lendaval lennukil kineetilist energiat, samal ajal aga Maa suhtes ka potentsiaalset energiat.

Vaatleme teist näidet — pommiga seinakella tööd. Et kell käiks, on tarvis tõsta pomm üles, s. t. anda pommile potentsiaalset energiat. Kui pomm hakkab langema, siis paneb ta kella mehhanismi liikuma. Alla langedes annab pomm nii kineetilist kui ka potentsiaalset energiat. Tööpoolest, kui ta juba liigub, siis on tal ka kineetilist energiat, aga kuna pomm ei ole jõudnud veel Maa pinnale, siis on tal samal ajal ka potentsiaalset energiat.

**Mehhaanilist energiat (kineetilist ja potentsiaalset) mõõdetakse samades mõõtühikutes mis töödki, s. t. džaulides ja kilogramm-meetrites.**

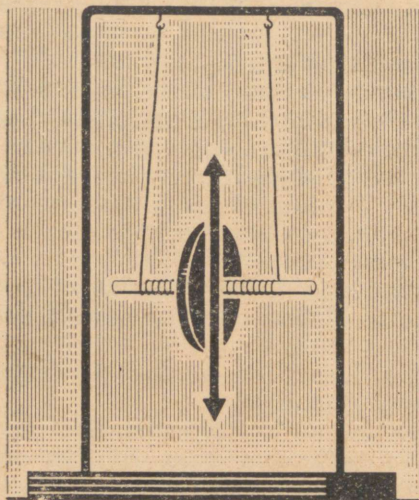
### **39. ÜHE MEHHAANILISE ENERGIA LIIGI MUUNDUMINE TEISEKS.**

Looduses, tehnikas ja igapäevases elus võib pidevalt tähele panna ühe mehhaanilise energia liigi muundumist teiseks: potentsiaalse energia muundumist kineetiliseks energiaks ja kineetilise energia muundumist potentsiaalseks energiaks.

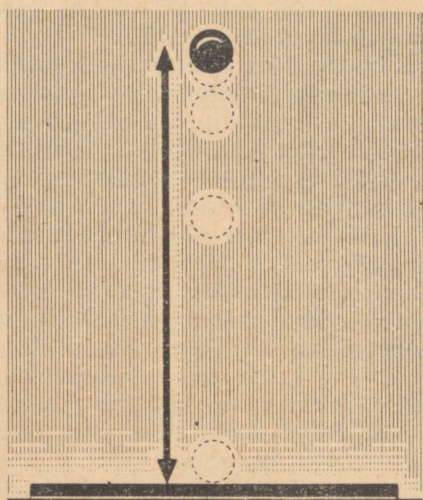
Vaatleme neid muundumisi katseseadisel, mis on kujutatud joonisel 67.

Tõstame katseseadise ketta üles, kerides seejuures niidi ketta völli. Ülestõstetud kettal on teatud potentsiaalne energia. Kui lasta ketas lahti, siis hakkab ta pööreldes langema. Langemise vältel ketta potentsiaalne energia väheneb, kuid samal ajal kasvab tema kineetiline energia. Langemise lõpul on kehal nii palju kineetilist energiat, et ta võib tõusta peaaegu samale kõrgusele

<sup>1</sup> Kreekakeelsest sõnast *kinema* — liikumine.



Joon. 67.



Joon. 68.

tagasi, kust ta langema hakkas.<sup>1</sup> Tõusnud üles, hakkab ketas uuesti langema ning seejärel jälle tõusma. Kui ketas selle katse juures liigub alla, siis tema potentsiaalne energia muundub kineetiliseks energiaks, kui tõuseb üles, siis kineetiline energia muundub potentsiaalseks energiaks.

Keerulisemad on energia muundumised ühest liigist teise kahe elastse keha kokkupõrkel, näiteks kummipalli langemisel vastu põrandat või teraskuulikese langemisel vastu terasplaati.

Tõstame terasplaadi kohal üles teraskuulikese (joon. 68). Mida kõrgemale me kuulikese tõstame, seda rohkem potentsiaalset energiat me temale anname. Laseme seejärel kuulikese käest lahti. Kuulikese langemise kestel tema potentsiaalne energia väheneb, kineetiline energia aga kasvab, sest kuulikese liikumise kiirus suureneb.

Kui kuulike põrkab vastu plaati, siis nii kuulike kui ka plaat muudavad oma kuju (deformeeruvad), kuulikese kineetiline energia muundub deformeerunud plaadi ja deformeerunud kuulikese potentsiaalseks energiaks. Pärast kokkupõrget võtavad plaat ja kuulike elastsusjõudude toimele oma esialgse kuju tagasi, kuulike eraldub plaadist ning nende potentsiaalne energia muundub uuesti kuulikese kineetiliseks energiaks — kuulike põrkub üles peaaegu niisama suure kiirusega, mis tal oli põrkemomendil. Kui

<sup>1</sup> Osa energiast kulub hõõrdumise ületamiseks, seepärast ketas ei jõua enam täpselt lähtekõrgusele tagasi.



kuulike liigub üles, siis tema kiirus, järelikult ka kineetiline energia, väheneb, potentsiaalne energia aga suureneb. Kuulike tõuseb pärast kokkupõrget plaadiga üles peaaegu endisele kõrgusele. Selleks momendiks on kogu tema kineetiline energia muundunud uuesti potentsiaalseks energiaks.

**Ükskõik milline nähtus looduses ka ei toimuks, alati kaasneb temaga ühe energialiigi muundumine teiseks.**

Selles võite veenduda iga kord, kui õpite tundma mitmesuguseid füüsikalisi nähtusi.

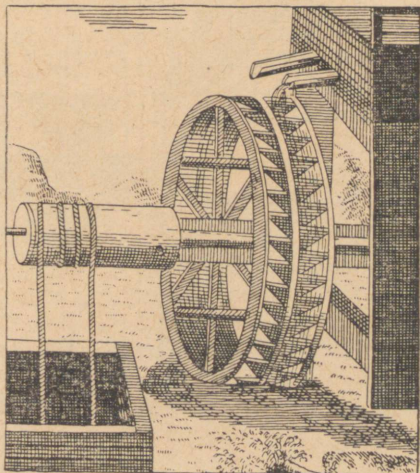
#### 40. VEEJÕUMASINAD.

Kuna voolaval veel on kineetilist energiat, siis võib ta teha kasulikku tööd. Et kasutada jõgede kineetilist energiat, tõkestatakse nad kõrgete tammidega. Mida kõrgem on tamm, seda kõrgemale tõuseb vee tase ja seda rohkem potentsiaalset energiat on vee igal kilogrammil. Kuibõševi linna juures asuval V. I. Lenini nimelisel Volga hüdroelektrijaamal on tammi kõrgus 30 m, Angara jõel asuval Bratski hüdroelektrijaamal on aga tamm üle 100 m kõrge.

Läbides elektrijaama turbiinid, paneb vesi need pöörlema ning annab seega oma energia nendele üle.

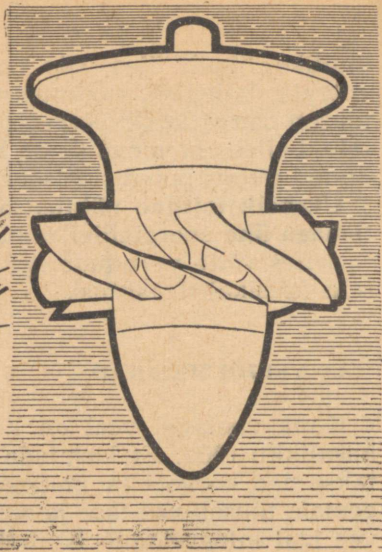
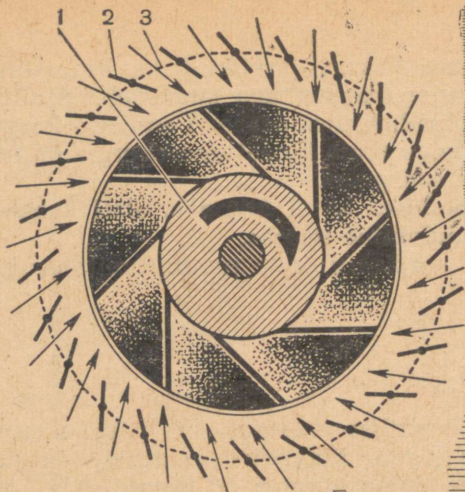
Vee mehhaanilist energiat nimetatakse sageli «valgeks söeks». «Valge süsi» paneb tööle mitmesugused veejõumasinad.

Üheks lihtsamaks ja vanemaks veejõumasinaks on *vesiratas* (joon. 69). Langedes vesiratta labidatele, paneb vesi oma raskusega ratta pöörlema ja teeb seejuures tööd.



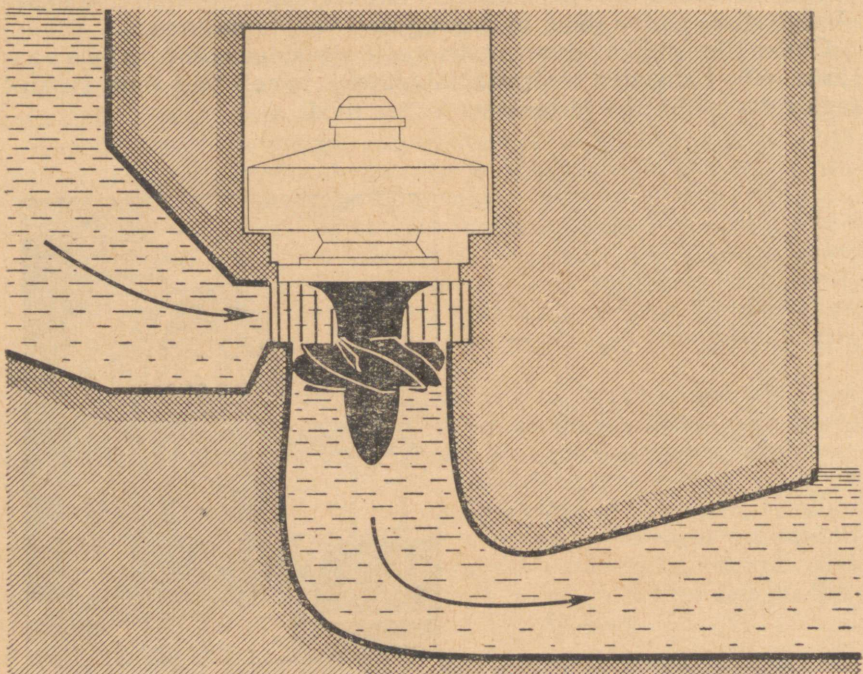
Joon. 69.





Joon. 70. Turbiini tööratas labidatele vee juhtimise skeem. 1 — tööratas (vaade ülalt); 2 — juhtratta labidad; 3 — labidate asend siis, kui turbiin ei tööta.

Joon. 71. Hüdrolektriijaama turbiini tööratas.



Joon. 72. Turbiini paigutuse skeem hüdrolektriijaamas.



. Tänapäeval kasutatakse tehnikas väga palju moodsaid veejõumasinaid — veeturbiine.

Joonisel 70 on kujutatud turbiini labidatele vee juhtimise skeem. Turbiini liikuv tööratas 1 asetseb pööratavate labidatega 2 varustatud juhtratta sees. Juhtratta labidate pööramisega reguleeritakse turbiinist läbivoolava vee hulka. Juhtratta labidate abil suunatakse suure kiirusega voolav vesi tööratas labidatele (joon. 71), millega pannaksegi tööratas pöörlema. Seejuures annab vesi oma kineetilise energia tööratasale.

Turbiini tööratas ühendatakse elektrivoolu andva elektrigeneraatori võlliga.

Joonisel 72 on antud turbiini paigutuse skeem hüdroelektrijaamas.

V. I. Lenini nimelises Volga hüdroelektrijaamas on 20 turbiini igaüks võimsusega 115 000 kW. Bratski hüdroelektrijaamas paigaldatakse aga turbiinid, millest igaühe võimsus on 225 000 kW. Need on väga suured turbiinid, nende kaal on ligikaudu 1500 T. Sellise turbiini tööratas üks tiib kaalub juba üksinda 20 T. Suurte turbiinide tööratas diameeter ulatub kuni 10 meetrini.

Veeturbiini võll pöörleb suhteliselt väikese kiirusega, ligikaudu 68 pöört minutis.

#### 41. TUULEJÕUMASINAD.

Ka tuul — liikuv õhk — omab kineetilist energiat. Tuuleenergia ületab arvestuste kohaselt tunduvalt kõigi kütuseliikide energia.

Tuuleenergiat kasutatakse tuulejõumasinate.

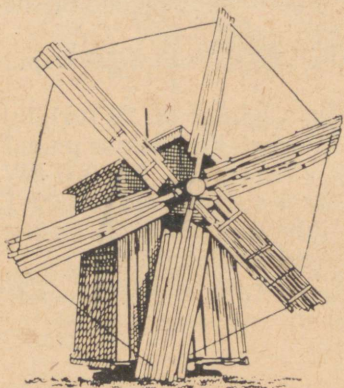
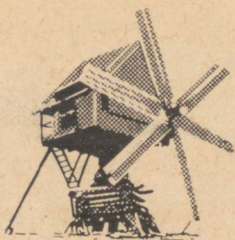
Tuulejõumasinaid tunti juba ammu. Joonisel 73 on kujutatud tuuleveski. Kaasaegne tuuleturbiin on kujutatud joonisel 74.

Liikuvad õhumassid avaldavad tuulejõumasinate tiibade kaldpindadele rõhku ja panevad need pöörlema. Tiibade pöörlev liikumine antakse ülekandesüsteemi abil mingit tööd tegevale mehhanismile.

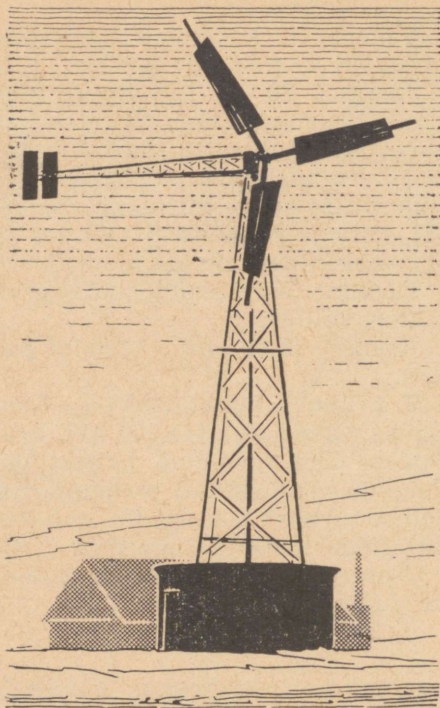
Tuulejõumasinaid kasutatakse vee tõstmiseks kaevust, vee pumpamiseks sovhooside, kolhooside ja raudteejaamade veetornidesse, elektrienergia saamiseks jm.

#### Harjutus 20.

1. Too näiteid potentsiaalset energiat omavate kehade kohta.
2. Too näiteid kineetilist energiat omavate kehade kohta.
3. Kirjelda energia muundumist järgmistel juhtumitel:
  - a) vee kukkumisel koskedes;
  - b) palli viskamisel vertikaalselt üles;
  - c) käekella vedru üleskeeramisel;
  - d) uksevedru puhul.



Joon. 73.



Joon. 74.

4. Kui palju potentsiaalset energiat on ühel kuupmeetril veel, mis asetseb V. I. Lenini nimelise Dnepri hüdroelektrijaama tammi ülemise ääre kõrgusel, kui tammi kõrgus on 50 m?

5. Kas inimene teeb mehhaanilist tööd, kui ta läheb mööda treppi ülemisele korrusele? Kas teeb ta mehhaanilist tööd, kui tõuseb samale korrusele liftiga?

6. Kumba jõe, kas mägiõõ või tasandikul voolava jõe vee iga kuupmeeter sisaldab rohkem kineetilist energiat?

7. Kus on vee iga kuupmeetri potentsiaalne energia suurem, kas jõe tekkekohas või jõe suudmes?

#### 42. TÖÖDE MEHHAANISEERIMINE.

Juba vanasti kasutasid inimesed plokke, kange ja pöörasid mitmesuguste tööde kergendamiseks ja kiirendamiseks, eriti aga suurte raskuste tõstmiseks ja nihutamiseks.

Musklite jõu asendamist masinate jõuga ning masinate ja mehhanismide juurutamist tootmisse nimetatakse **mehhaniseerimiseks**.



Mehhaniseerimine tõstab tööviljakust. Sotsialistlikus ühiskonnas kergendab mehhaniseerimine tööd, lühendab tööpäeva ning parandab töötajate materiaalset olukorda. Kapitalistlikes maades soodustab mehhaniseerimine tööliste eksploateerimist ning põhjustab tööpuuduse kasvu.

Grandioossed ehitused, mida me püstitame, oleksid mõeldamatud kõige laialdasema mehhaniseerimiseta. Nii näiteks tuli kanalite ehitamisel, tammide ja paljude teiste ehituste puhul välja kaevata ja vedada sadu miljoneid kuupmeetreid pinnast ning monteerida väga raskeid masinaid.

Võimsate ekskavaatorite, traktorite, pinnasepumpade ja teiste masinate ning mehhanismideta oleks olnud täiesti võimatu selliste suurte tööde tegemine nii lühikese ajaga. Näiteks teeb üks sammuv ekskavaator vahetuse jooksul niisama palju tööd kui 8—10 tuhat töölisi.

Meie maal ei mehhaniseerita mitte ainult üksikuid tööloike, vaid teostatakse kompleksset mehhaniseerimist ning automatiseerimist (masinad teevad kõik tööd).

Väga hästi on näiteks mehhaniseeritud suurte maanteede ehitamine.

Nagu teada, läheb tee ehitamisel vaja pinnast. Pinnas kaevatakse välja ekskavaatoriga ning laaditakse isekallutajaile. Isekallutajad veavad pinnase vajalikku kohta. Seejärel tasandavad ning tihendavad spetsiaalsed masinad kohaleveetud pinnase. Käsitsitöö on siin täiesti likvideeritud. Sellistel juhtumitel öeldakse, et töö on täiesti mehhaniseeritud.

Suure hulga traktorite, autode, kombainide ja teiste põllumajandusmasinate kasutuselevõtmine lubas ennenägematult lühikese ajaga üles harida miljoneid hektareid uudismaid ning tõsta tunduvalt meie maa elanikkonna elatustaset.

Linnades, tööstuskeskustes ja paljudes külades on käesoleval ajal elumajade ja tootmishoonete ehitamine peaaegu täielikult mehhaniseeritud. Spetsiaalsetes tehastes valmistatakse raudbetoonist plaate, paneele ja blokke, millest seejärel mitmesuguste mehhanismide abil pannakse kiiresti kokku ehitatav hoone. Elamuehituse mehhaniseerimine võimaldab paljudel miljonitel meie maa töötajatel saada mugavad korterid.

## SOOJUS JA TÖÖ.

### 43. KEHADE SOOJENEMINE HÕÖRDUMISEL, TAGUMISEL JA SOOJUSÜLEKANDE KORRAL.

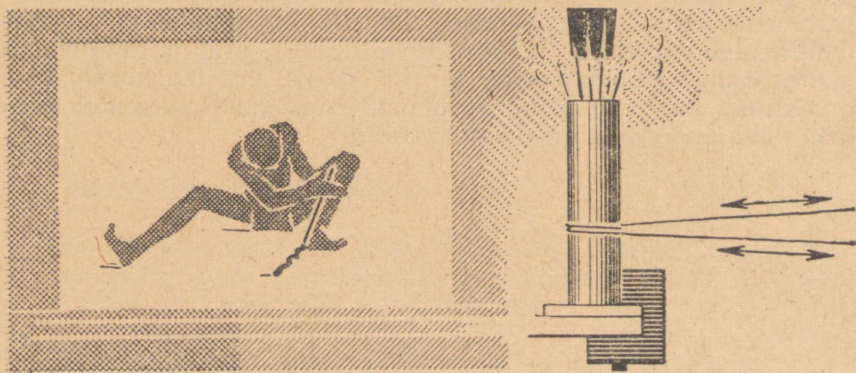
Igapäevastest vaatlustest on kõigile hästi teada, et hõõrdumisel keha soojeneb.

Nii näiteks soojeneb hõõrdumise tagajärjel saag, kui sellega töötada. Eriti soojeneb saag siis, kui sae tee on kitsas. Hõõrdumise tõttu soojenevad ka halvasti määritud rattavõllid. Noa teritamisel käial soojeneb nii nuga kui ka käi. Külmad meteoorid, mis lendavad suure kiirusega kosmosest Maa atmosfääri, hakkavad õhus hõõrdumise tõttu hõõguma ja sageli põlevad enne ära, kui jõuavad maapinnale.

Painutades korduvalt jämedat traati, märkame, et traat painde kohalt kuumeneb.

Kui hõõruda kahte kuiva puutükki teineteise vastu, siis võivad need hõõrdumise tõttu isegi põlema süttida. Selline tule saamise viis oli inimestele tuntud juba ürgajal.

Kehade soojenemist hõõrdumisel võib jälgida ka alljärgneva katse abil.



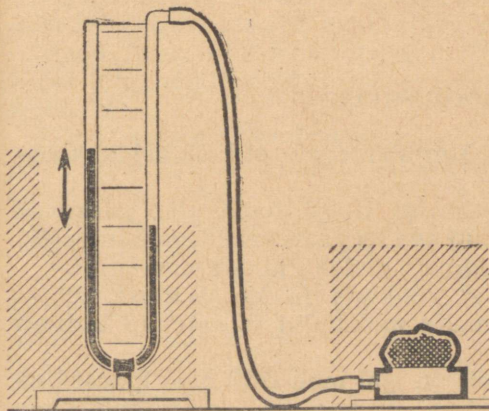
Joon. 75.



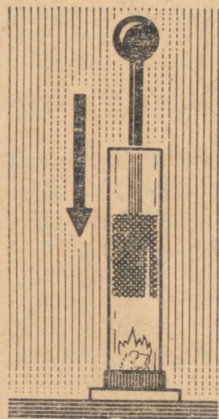
Kinnitame aluse külge õhukeseseinalise valgevast toru, millesse valame veidi eetrit. Seejärel suleme toru tihedalt korgiga. Paneme nüüd toru ümber nõöri ja hakkame siis nõöri kiiresti tõmbama kord ühes, kord teises suunas joonisel 75 näidatud viisil. Hõõrdumise tõttu toru soojeneb, eeter hakkab keema ning aur surub korgi pealt ära.

Toru ja nõöri vahelise hõõrdumise ületamiseks tegime me tööd. Selle tulemusena hakkas eeter keema ning osa temast aurustus.

Keha soojeneb ka tagumisel, mida võib samuti näidata katseliselt. Joonisel 76 on kujutatud lapik metallkarp, mis on ühendatud kummitoru abil vedelikmanomeetriga, milles vedelikuna kasutatakse pliiritust.



Joon. 76.



Joon. 77.

Paneme karbi peale tüki pliidi ja märgime üles vedeliku nivoo manomeetris. Võtame nüüd karbi pealt pliitüki ära, paigutame ta alasile ning lööme siis tükile mitu korda raske vasaraga. Kui pärast seda panna pliitükk uuesti karbile, siis manomeetri parempoolses torus vedelik langeb alla, vasakpoolses aga tõuseb üles. See tuleb sellest, et pärast tagumist, s. t. pärast teatud hulga töö äratagemist, plii soojenes, soojendas ka karpi ning selles olevat õhku. Selle tulemusena õhu rõhk karbis suureneski.

Teeme veel ühe katse. Võtame paksuseinalise silindrikujulise klaasanuma, milles liigub kolb. Anuma põhjale paneme tüki eetriga immutatud vatti. Kui nüüd anumasse olev õhk kiiresti kokku suruda, siis vatt süttib põlema (joon. 77).

Selle katse puhul anumasse olev õhk soojeneb selle töö arvel, mis tehakse õhu kokkusurumisel.

Me teame, et kehade soojenemine võib toimuda aga ka soojusülekande korral. Mitte mingisugust tööd selle juures aga ei tehta. Kui näiteks panna kuumale pliidile külma veega täidetud teekann, siis nii vesi kui ka kann soojenevad. Samuti soojeneb toas olev õhk sooja ahju või kuumade radiaatorite tõttu jne.

Üldiselt, kahe erineva temperatuuriga keha kokkupuutumisel üks keha soojeneb, teine aga jahtub. See protsess toimub seni, kuni mõlema keha temperatuurid saavad võrdseteks. Mehhaanilist tööd kõigil neil juhtumel ei tehta.

Tehtud katsed ja näited kinnitavad, et **keha võib soojeneda kas tehtud töö või soojusülekande tõttu.**

Soojusülekanne võib toimuda kolmel teel: **soojusejuhtivuse, konvektsiooni ja kiirguse** teel.

Kõik need soojusülekande liigid on õpitud juba VI klassis (VI kl. õpik, § 83—87).

#### **44. KEHADE SISEENERGIA. SOOJUSHULK.**

**1. Keha siseenergia mõiste.** Me juba teame, et kõik kehad koosnevad molekulidest.

Molekulid on pidevas liikumises. Gaasi molekulid pörkuvad liikumisel üksteise vastu, samuti aga ka gaasi sisaldava nõu vastu. Ühest kokkupõrkest teiseni liiguvad molekulid sirgjooneliselt.

Vedelikes võivad molekulid võnkuda ja ka üksteise suhtes ümber asetuda. Tahketes kehtades molekulid ja aatomid üldiselt aga ainult võnguvad.

Kuna molekulid liiguvad, siis on igal molekulil oma kineetiline energia. Ühe molekuli kineetiline energia on loomulikult väga väike, kuid paljude molekulide summaarne kineetiline energia kehas on väga suur.

Me teame, kui kaks teineteist mõjutavat keha asetsevad teineteisest teatud kaugusel, siis nendel kehtadel on potentsiaalset energiat.

Kuna mistahes keha molekulid mõjutavad üksteist, siis on selle keha molekulidel peale kineetilise energia veel ka potentsiaalset energiat.

Molekulide kineetiline energia ei sõltu sellest, kas keha ise liigub või on paigal. Täpselt samuti ei sõltu ka molekulide vastastikune potentsiaalne energia sellest, kas kehal on mingite teiste kehade suhtes potentsiaalset energiat või mitte.

Nii näiteks on kivi molekulide vastastikune potentsiaalne energia alati ühesuurune, sõltumata sellest, kas kivi lebab maapinnal või on tõstetud selle kohale ning omab seega teatud potentsiaalset energiat maapinna suhtes.

Molekulide kineetiline ja potentsiaalne energia on **keha siseenergiaks.**



Keha molekulide energia, nagu juba eespool nimetatud, ei sõltu keha liikumisest ega ka selle keha asendist teiste kehade suhtes. Seepärast keha molekulide energiat nimetataksegi keha siseenergiaks.

**2. Keha siseenergia muutumine.** Keha siseenergia võib muuta. On näiteks tähele pandud, et kui vedelikku soojendada, siis toimub difusioon temas kiiremini. See aga näitab, et soojendamisel hakkavad keha molekulid kiiremini liikuma, s. t. molekulide kineetiline energia suureneb.

Keha jahtumisel molekulide liikumise kiirus väheneb, mistõttu väheneb ka keha siseenergia.

Keha võib teha tööd oma molekulide energia arvel, s. t. oma siseenergia arvel, mis seejuures muidugi väheneb.

Teeme järgmise katse. Hakkame pumpama õhku tugevasse korgiga suletud klaasanumasse, millesse on valatud veidi vett. Anumas on peale õhu veel veeauru. Teatud rõhu saavutanud õhk surub korgi anuma pealt ära, anumasse ilmub aga seejuures udu (joon. 78).

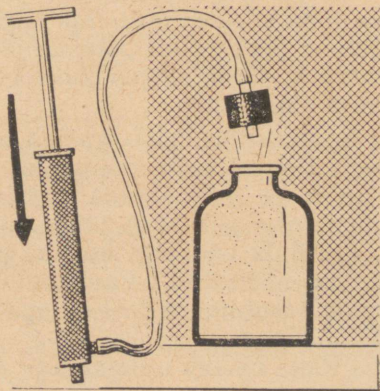
Udu koosneb väikestest veetilgakestest ning ta tekib veeaurust selle temperatuuri langemisel. Järelikult, kui kokkusurutud õhk surus korgi anuma pealt ära ja paisus, s. t. tegi tööd, siis tema (ja koos temaga ka veeauru) temperatuur langes. Temperatuuri langus näitab aga kokkusurutud õhu siseenergia vähenemist.

Kui pärast udu ilmumist sulgeda nõu korgiga ja hakata uuesti pumpama temasse õhku, siis udu kaob. Meie poolt tehtud töö tulemusena suurenes nõusse kokkusurutud õhu siseenergia, tema temperatuur tõusis ja udus olevad veetilgakesed aurustusid uuesti.

Tehtud katsest ja arutlustest võib teha järgmise järelduse.

Keha siseenergia võib muutuda nii tehtud töö kui ka soojusülekande tõttu (tööd tegemata).

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



Joon. 78.

1. Saagides saega kooli töökojas, pööra tähelepanu sae soojenemisele. Kuidas selgitada seda nähtust?

2. Miks masinate laagrite püksid võivad üles sulada, kui neid küllaldaselt ei määrita?

3. Vagunite ülevaatamisel katsub õlitaja käega vaguni telgede pukse. Kuidas ta seejuures saab kindlaks teha seda, milline puks vajab täiendavat õlitamist?

4. Kas sa oled juhtunud märkama, kuidas jalgrattapump kuumeneb pumpamise juures? Kuidas seda nähtust selgitada?

5. Too näiteid kehade soojenemise kohta: a) soojusülekande teel; b) konvektsiooni teel; c) kiirguse teel.

#### 45. SOOJUSHULGA ÜHIKUD.

Et kütta ahju kuumaks, tuleb panna ahju küllaldane kogus puid. Kui puid panna ahju vähe, siis soojeneb ka ahi vähe ning tuba jääb külmaks. Iga puuhalg annab põledes ahjule kindla koguse energiat ehk, nagu me nüüd ütleme, kindla koguse soojust. Mida suurem on põletatavate puude mass, seda suurem on ka soojushulk, mille saab ahi, ja seda kuumemaks ahi läheb.

Ei saa aga ainult temperatuuri tõusu või languse põhjal otsustada soojushulga üle, mille keha saab soojenemisel või annab ära jahtumisel.

Tõepoolest, kuumaksatud triikmasin, mida ei anna puudutadagi, külma tuba ei soojenda, soe ahi või keskkütte radiaatorid soojendavad aga hästi tuba.

Hakkame kahe ühesuguse põleti abil soojendama kahte nõu. Ühte nõusse paneme 1 kg, teise 2 kg vett. Vee algtemperatuur olgu mõlemas nõus ühesuurune. Märkame, et ühe ja sama ajavahemiku vältel soojeneb teises nõus olev vesi vähema kraadide arvu võrra, olgugi et mõlemad nõud saavad ühesugustest põletitest võrdse hulga soojust.

On kergesti selgitatav, et mida suurem on nõus oleva vee mass ja mida kõrgem on temperatuur, milleni soojendatakse vett, seda kauem peab põleti põlema, järelikult, seda suurem soojushulk on kulutatud vee soojendamiseks. See järeldus on õige ka mistahes teise aine kohta.

Soojushulka nagu ka iga teist energialiiki võib mõõta meile juba tuntud mõõtühikutega: kilogramm-meetrite ja džaulidega. Ainult et soojushulka hakkasid teadlased mõõtma juba palju aega enne seda, kui füüsikasse ilmus energia mõiste, ja leiti, et soojushulk on keha siseenergia mõõduks. Seepärast võeti soojushulga mõõtmiseks kasutusele spetsiaalne ühik — *k a l o r*<sup>1</sup> (cal), mida kasutatakse veel tänapäevalgi.

<sup>1</sup> Kalor tuleneb ladinakeelsest sõnast *calor* — soe, palav,



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

Tehnikas kasutatakse soojushulga mõõtmiseks suuremat mõõtühikut — kilokalorit (kcal).

**Kilokalor on soojushulk, mis on vaja ühe kilogrammi vee soojendamiseks ühe kraadi võrra.**

1 kcal = 1000 cal.

Füüsikaliste suuruste rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis (SI) on soojushulga mõõtühikuks võetud džaul.

1 J = 0,239 cal = 0,102 kGm.

#### 46. AINE ERISOOJUS.

Teades, et soojushulga ühikuks on kalor, ja teades ka selle suurust, võime kergesti välja arvutada soojushulga, mis läheb vaja ükskõik kui suure veekoguse soojendamiseks mistahes kraadide arvu võrra.

Vaatleme näidet.

Kui palju kaloreid kulub 500 g vee soojendamiseks 100° võrra?

|       |                    |          |       |                       |
|-------|--------------------|----------|-------|-----------------------|
| 1 g   | vee soojendamiseks | 1° võrra | kulub | 1 cal                 |
| 500 g | „                  | 1°       | „     | 500 „                 |
| 500 g | „                  | 100°     | „     | 50 000 „ ehk 50 kcal. |

Antud juhul suurenes ka võetud veekoguse siseenergia 50 kilokalori võrra.

Kas võib aga nii arvutada ka seda soojushulka, mis on vajalik mitte vee, vaid mõne teise aine, näiteks plii, raua, petrooleumi jne. soojendamiseks?

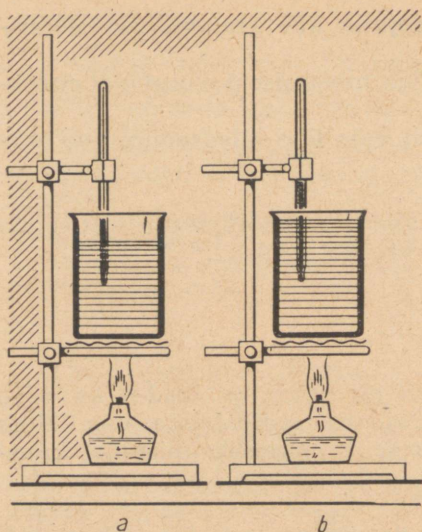
Teeme järgmise katse.

Kallame ühte nõusse vett, teise samasugusesse nõusse aga petrooleumi. Vee ja petrooleumi massid võtame võrdsed. Hakame nüüd soojendama mõlemat nõu ühesugustel põletitel, kuid enne katse algust ühtlustame vee ja petrooleumi algtemperatuurid. Mõõtes teatud ajavahemiku möödumisel (näiteks 5 minuti pärast) soojendatava vee ja petrooleumi temperatuurid, näeme, et petrooleumi temperatuur on vee temperatuurist palju kõrgem, olgugi et mõlemad vedelikud said põletitelt võrdse soojushulga (joon. 79).

Tehtud katsest järeldub, et võrdsete massidega vee- ja petrooleumikogused vajavad soojendamisel ühe ja sama kraadide arvu võrra erineva koguse soojust: petrooleum vähem, vesi rohkem.

See järeldus kehtib ka teiste ainete kohta: võrdse massiga erinevate ainete soojendamiseks ühe ja sama kraadide arvu võrra on vaja erinev kogus soojust.

Katsete teel on tehtud kindlaks, kui palju soojust kulub mingi aine 1 g soojendamiseks 1 kraadi võrra. Seda füüsikalist suurust on hakatud nimetama selle aine erisoojuseks.



Joon. 79.

Aine erisoojuseks nimetatakse soojushulka, mis läheb vaja selle aine ühe grammi soojendamiseks ühe kraadi võrra.

Aine erisoojust mõõdetakse ühikutes<sup>1</sup>  $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ .

Kalori definitsioonist me juba teame, et 1 g vee soojendamiseks 1° võrra läheb vaja 1 cal soojust. Sellest järeldub, et vee erisoojus on  $1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ .

Kui soojushulka vähendada kilokalorites, vee massi aga kilogrammides, siis vee erisoojus väljendub nii nagu ennegi arvuga 1, kuid tema nimetus on erinev, nimelt:  $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$ .

Mõningate teiste ainete erisoojused on antud alljärgnevas tabelis.

#### Mõningate ainete erisoojuste tabel.

| $\left( \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}} \text{ või } \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}} \right)$ |      |                  |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|------|
| Plii .....                                                                                                                | 0,03 | Alumiinium ..... | 0,21 |
| Vask .....                                                                                                                | 0,09 | Jää .....        | 0,43 |
| Valgevask .....                                                                                                           | 0,09 | Taimeõli .....   | 0,47 |
| Tsink .....                                                                                                               | 0,09 | Petrooleum ..... | 0,51 |
| Teras }                                                                                                                   |      | Puu (tamm) ..... | 0,57 |
| Raud }                                                                                                                    | 0,11 | Piiritus .....   | 0,58 |
| Malm }                                                                                                                    |      | Vesi .....       | 1,0  |
| Laboratoorne klaas .....                                                                                                  | 0,19 |                  |      |

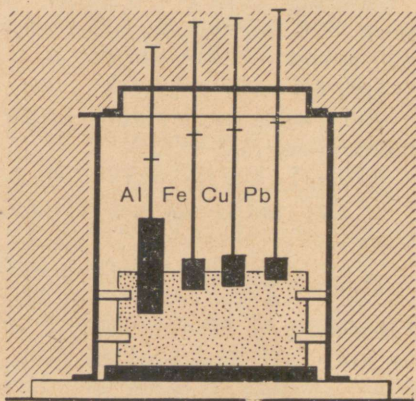
<sup>1</sup> Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kasutatakse kraadides väljendatud temperatuuride vahe tähistamiseks lühendit «deg». (Toim.)



Mida selle all mõista, et plii erisoojus on  $0,03 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ ? See tähendab seda, et 1 g plii soojendamiseks  $1^\circ$  võrra on vaja 0,03 cal soojust (või 1 g plii jahtumisel  $1^\circ$  võrra eraldub 0,03 cal soojust).

Kuna soojushulgaks me nimetame siseenergia suurust, mille keha saab või kaotab soojusülekande juures, siis aine erisoojust võib defineerida ka veel teisiti: **erisoojus näitab, kui palju muutub 1 g aine siseenergia selle aine soojenemisel või jahtumisel  $1^\circ$  võrra.**

Näiteks suureneb 1 g plii siseenergia tema kuumutamisel  $1^\circ$  võrra 0,03 cal.



Joon. 80. Katse, mis näitab metallide erisoojuste erinevust.

## Harjutus 22.

Füüsika kabinetis kasutatakse metallide erisoojuste demonstreerimiseks joonisel 80 kujutatud õppeabinõu. See õppeabinõu koosneb neljast võrdse massiga silindrist, mis on valmistatud vastavalt alumiiniumist, rauast, vasest ja pliist. Kõiki neid silindreid on võimalik lasta lihtsa seadise abil alla parafiinist plaadi serva vastu. Enne katse tegemist soojendatakse silindreid keevas vees.

Joonisel 80 on kujutatud see moment, mil silindrid on tunginud parafiini sisse ja juba jahtunud. Kuidas saab määrata, millise metalli erisoojus on suurem ja millise oma väiksem?

## 47. KEHA SOOJENDAMISEKS VAJALIKU VÕI JAHTUMISEL ERALDUVA SOOJUSHULGA ARVUTAMINE.

Igapäevases elus tuleb meil sageli teha tegemist soojuslike arvestustega. Nii näiteks tuleb hoone ehitamisel tingimata arvestada, kui palju soojust peab andma kogu küttesüsteem selle hoone soojendamiseks ja kui palju soojust hajub erinevatel aastaaegadel ümbritsevasse ruumi seinte, akende ning uste kaudu.

Põllumajanduses tuleb soojuslikke arvestusi teha lavade ja kasvuhoonete ehitamisel. Eriti sageli tuleb soojuslikke arvestusi teha mitmesugustes tehnilistes, bioloogilistes ja füüsikalistes laboratooriumides.

Toome näite selle kohta, kuidas tuleb teha lihtsamaid soojuslikke arvestusi. Märgime ainult, et keha jahtumisel teatud arvu kraadide võrra eraldub niisama palju soojust, kui palju on vaja selle keha soojendamiseks sama arvu kraadide võrra.

1. Leiame, kui palju soojust on vaja 400 g massiga vasetüki soojendamiseks  $20^{\circ}$  võrra?

Leheküljel 94 toodud tabelist leiame vase erisoojuse, see on  $0,09 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ . See tähendab, et 1 g vase soojendamiseks  $1^{\circ}$  võrra on vaja 0,09 cal soojust. 400 g vase soojendamiseks  $1^{\circ}$  võrra on vaja 400 korda rohkem soojust, s. t.

$$0,09 \text{ cal} \cdot 400 = 36 \text{ cal.}$$

400 g vase soojendamiseks  $20^{\circ}$  võrra on aga vaja veel 20 korda rohkem soojust, s. t.

$$0,09 \text{ cal} \cdot 400 \cdot 20 = 720 \text{ cal.}$$

2. Kui palju soojust eraldub 2 kg raua jahtumisel  $345^{\circ}$ -st  $18^{\circ}$ -ni?

Kõgepealt tuleb määrata, mitme kraadi võrra raud jahtub:  $345^{\circ} - 18^{\circ} = 327^{\circ}$ .

Erisoojuste tabelist leiame, et 1 kg raua jahtumisel  $1^{\circ}$  võrra eraldub 0,11 kcal soojust. 2 kg raua jahtumisel  $1^{\circ}$  võrra eraldub  $0,11 \cdot 2 = 0,22$  kcal soojust. Kui raud jahtub aga  $327^{\circ}$  võrra, siis eraldunud soojushulk on 327 korda suurem:

$$0,11 \text{ kcal} \cdot 2 \cdot 327 \approx 72 \text{ kcal.}$$

Nendes näidetes tuli soojendamiseks vajaliku või jahtumisel eralduva soojushulga leidmiseks korrutada keha erisoojus keha massiga ja temperatuuride vahega.

Kui erisoojus tähistada tähega  $c$ , keha mass tähega  $m$ , keha algtemperatuur tähega  $t_1^{\circ}$ , keha lõpptemperatuur tähega  $t_2^{\circ}$  ja soojushulk tähega  $Q$ , siis võib soojushulga leidmiseks anda järgmise valemi:

$$Q = cm(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})$$

### Harjutus 23.

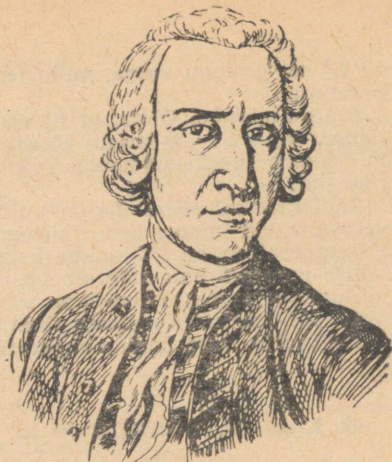
1. Alumiiniumi erisoojus on  $0,21 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ . Mida see tähendab?

2. Valgevase ja klaasitükki, mille massid on võrdsed, soojendatakse võrdse arvu kraadide võrra. Kumma keha soojendamiseks kulub rohkem soojust?

3. Milline vedelik leheküljel 94 olevas tabelis soojeneb kõige kiiremini, kui kõik tingimused on ühesugused?



**Georg Richman** (1711—1753) — silmapaistev vene õpetlane, akadeemik. Uuris soojuslikke ja elektrilisi nähtusi. Väga palju tegi soojusõpetuses, pannes aluse kalorimeetrialet. Koos M. V. Lomonossoviga pani aluse ka elektriliste nähtuste uurimisele Venemaal.



4. Millele kulub rohkem soojust: kas 1,5 kg vee soojendamiseks  $5^{\circ}$  võrra või 1 kg vee soojendamiseks  $10^{\circ}$  võrra?

5. Kui palju vett võib soojendada  $15^{\circ}$ -st  $60^{\circ}$ -ni, kui kulutada soojendamiseks 225 kcal soojust?

6. Mitme kilokalori võrra suureneb 20 000  $m^3$  suuruses basseinis oleva vee siseenergia, kui vett soojendada  $10^{\circ}$  võrra?

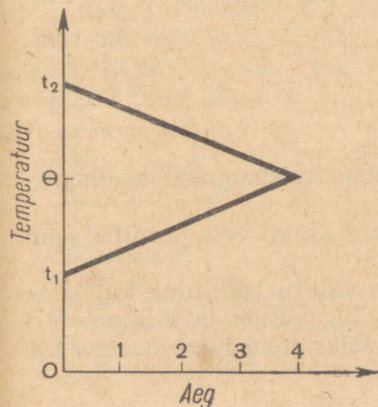
7. Kahest ühsugusest võrdse temperatuurini soojendatud vaskkuulikesest visati üks veega täidetud klaasnõusse, teine aga nõusse, milles oli massi poolest niisama palju petrooleumi. Kumb soojeneb rohkem, kas vesi või petrooleum?

8. Alumiiniumist kastrulisse, mille mass on 300 g, mahub 1 l vett. Kui palju soojust kulub selles kastrulis oleva vee keemaajamiseks, kui vee algtemperatuur on  $15^{\circ}$ ?

9. Arvuta, mitme kraadi võrra soojeneb 500 g vett, kui vette lasta 500 g vaske, mis jahtub vees  $80^{\circ}$ -st  $20^{\circ}$ -ni.

10. Richmanni<sup>1</sup> ülesanne. Segati  $m_1$  grammi vett, mille temperatuur

<sup>1</sup> Richmann andis esimesena valemi sellist tüüpi ülesannete lahendamiseks.



Joon. 81. Graafik vee soojendamise kohta sellesse vette pandud kuuma keha mõjul.

oli  $t_1^\circ$ ,  $m_2$  grammi veega, mille temperatuur oli  $t_2^\circ$ . Leia saadud segu temperatuur.

Näpunäide. Oleta, et  $t_2^\circ$  on väiksem kui  $t_1^\circ$ . Siis esimene veekogus jahtub segus  $t_1^\circ - \Theta$  kraadi võrra, teine aga soojeneb  $\Theta - t_2^\circ$  võrra. Niipalju kui esimene veekogus kaotas kalorites soojust, niisama palju sai teine kaloreid juurde.

11. Graafikul (joon. 81) on kujutatud külma vee soojenemise ja sellesse vette pandud kuum keha jahtumise protsessid sõltuvalt ajast. Külma vee algtemperatuur on  $t_1^\circ$ , kuum keha algtemperatuur aga  $t_2^\circ$ . Selgita, kuidas sellise graafiku abil määrata vee ja keha lõpptemperatuuri  $\Theta$ ; kas keha jahtumine ja vee soojenemine toimub ühesuguse kiirusega või mitte?

12. 100-grammise massiga tinatüki jahtumisel temperatuurini  $32^\circ\text{C}$  eraldus 1,8 cal soojust. Leida temperatuur enne jahtumist.

#### 48. LABORATOORNE TÖÖ 5.

**Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segunemisel.**

Töövahendid: kaks teeklaasi; mensuur; termomeeter.

Töö käik.

1. Vala ühte klaasi 100 g tulist, teise klaasi aga niisama palju külma vett. Mõõda nende temperatuurid.

2. Vala nüüd külm vesi klaasi, kus on tuline vesi, sega need hästi segi ning mõõda segu temperatuur.

3. Leia esiteks soojushulk, mille annab ära jahtumisel segu temperatuurini kuum vesi, ning seejärel soojushulk, mille saab külm vesi soojenemisel sellesama temperatuurini.

Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjuta tabelisse.

| Kuuma vee mass<br>$m_2$ | Kuuma vee algtemperatuur $t_2^\circ$ | Segu temperatuur $\Theta$ | Soojushulk, mille annab ära kuum vesi $Q_2$ | Külma vee mass<br>$m_1$ | Külma vee algtemperatuur $t_1^\circ$ | Soojushulk, mille saab külm vesi $Q_1$ |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
|                         |                                      |                           |                                             |                         |                                      |                                        |

4. Kui aega jääb üle, siis korda katset teistsuguste veekogustega.

5. Võrdle soojushulki, mille annab ära kuum vesi ja mille saab külm vesi. Kas erinevus on suur?

6. Kui arvestada, et mõõtmisvead on vältimatud, ning kui jätta arvestamata soojuskaod, mis lähevad õhu, nõude ja termomeetri soojendamiseks, siis millise järelduse võiks teha laboratoorse töö tulemuste võrdlemisel?



## 49. KÜTUSE ENERGIA. KÜTTEVÄÄRTUS.

Tööstuses, transpordis ja põllumajanduses kasutatava energia põhiaineteks on mitmesugused kütused: kivisüsi, nafta, turvas, puud, põlevkivi ja põlevad gaasid. Mitmesuguste mootorite konstrueerimisel tuleb inseneridel täpselt teada, kui palju soojust võib eralduda mootoris kasutatava kütuse põlemisel. Selleks tuleb aga katselisel teel leida, kui palju soojust eraldub kindla koguse kütuse põlemisel.

**Soojushulka, mis saadakse 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse kütuse kütteväärtuseks ehk kütuse kalorsuseks.**

Kütuse kütteväärtus määratakse kindlaks katselisel teel kaunis keeruliste seadiste abil, kuna on vajalik, et kütus põleks ära järgitult. Kütteväärtust  $q$  mõõdetakse ühikuga  $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ .

Mõned katselisel teel saadud kütteväärtused on esitatud alljärgnevas tabelis.

**Kütteväärtuste tabel ( $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ )**

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Kuivad puud .....    | umbes 3000 |
| Turvas .....         | 3400       |
| Pruunsüsi .....      | 4000       |
| Kivisüsi .....       | 7000—7500  |
| Piiritus .....       | 7200       |
| Puusüsi .....        | 8000       |
| Antratsiit .....     | 8000       |
| Looduslik gaas ..... | 8500       |
| Nafta .....          | 10 500     |
| Bensiin .....        | 11 000     |
| Petrooleum .....     | 11 000     |
| Vesinik .....        | 34 000     |

Sellest tabelist on näha, et näiteks turba kütteväärtus on  $3400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ . See tähendab seda, et 1 kg turba täielikul ärapõlemisel eraldub 3400 kcal soojust.

Kogu soojushulka, mis eraldub  $m$  kg kütuse põlemisel, arvutatakse valemi järgi

$$Q = qm$$

### Harjutus 24.

1. Mis on kütteväärtus?
2. Kütteväärtuste tabelis on sõna «nafta» järel arv 10 500. Mida see tähendab?

Milline nimetus tuleb kirjutada selle arvu juurde?

3. Kumb kütus — kas kuivad puud või pruunsüsi — annab põlemisel võrdsete tingimuste korral rohkem soojust? Selgita vastust.

4. Kui palju soojust annab täielikul ärapõlemisel 15 kg pruunsütt? 200 g piiritust?

5. Kui palju peab ära põletama kuivi puid, et saada 36 000 kcal soojust?

## 50. SOOJENDAJA KASUTEGUR.

Keha soojendamisel ei lähe mitte kogu soojendaja poolt antav energia ettenähtud eesmärgiks, s. t. keha soojendamiseks.

Kui näiteks soojendada pliidiil teekannuga vett, siis soojushulk, mille saab vesi, moodustab ainult väikese osa puude põlemisel saadavast soojushulgast. Suurem osa puude põlemisel saadavast soojushulgast läheb pliidi ja ümbritseva õhu, samuti aga ka teekannu soojendamiseks.

Toodud näites on kasulikult kulutatud energiaks ainult see soojushulk, mis kulus vee soojendamiseks.

Kogu kulutatud energiaks on aga meie näite puhul see soojushulk, mis saadi puude põlemisel.

Mida suurem on kasulik soojushulk, seda suurem on soojendaja kasutegur.

**Soojendaja kasuteguriks nimetatakse kasuliku soojushulga ja kogu kulutatud soojushulga suhet.**

Soojendaja kasuteguriks on lihtmurd, sest kasulik soojushulk on alati väiksem kogu kulutatud soojushulgast. Harilikult väljendatakse soojendaja kasutegur protsentides.

Näiteks, kui vee soojendamiseks primusel kulus 80 kcal soojust, petrooleum aga andis põlemisel 200 kcal soojust, siis

$$\text{kasutegur} = \frac{80 \text{ kcal}}{200 \text{ kcal}} = 0,4 \text{ ehk } 40\%.$$

## 51. LABORATOORNE TÖÖ 6.

**Soojendaja kasuteguri määramine.**

Töövahendid: piirituslamp piiritusega; kaalud; kaaluvihid; kolb; klaas veega; mensuur; termomeeter; statiiv.

Töökäik.

1. Vala kolbi 150—200 g vett ja mõõda tema temperatuur.

2. Leia piirituslambi ja piirituse mass enne katset.

3. Soojenda piirituslambil vett ja mõõda seejärel vee temperatuur. Mõõtmis- ja arvutustulemused kirjuta vastavasse tabelisse:



| Piiritus                           |                                  |                           |                                          | Vesi     |                    |                     |                                          |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------------------|----------|--------------------|---------------------|------------------------------------------|
| Piirituslambi ja piirituse algmass | Piirituslambi mass pärast katset | Ärapõlenud piirituse mass | Piirituse põlemisel eraldunud soojushulk | Vee mass | Vee algtemperatuur | Vee lõpptemperatuur | Soojushulk, mille sai vesi soojendamisel |
|                                    |                                  |                           |                                          |          |                    |                     |                                          |

4. Võrdle piirituse põlemisel saadud soojushulka vee soojendamiseks kulunud soojushulgaga. Miks need ei ole võrdsed?

5. Määra laboratoorsel tööil saadud andmete järgi piirituslambi kasutegur.

#### Harjutus 25.

1. Määra priimuse kasutegur, kui 4 l vee soojendamiseks 20°-st 100°-ni kulub 70 g petrooleumi.

2. Priimuse kasutegur on 30%. Kui palju on vaja põletada petrooleumi, et ajada keema 3 l vett, mille algtemperatuur on 15°?

3. Kui palju (kaalult) on vaja põletada looduslikku gaasi, et soojendada 80°-ni 3 l vett, mille algtemperatuur on 15°, kui gaasipõleti kasutegur on 70%?

#### 52. TÖÖÜHIKU JA SOOJUSHULGA ÜHIKU VAHELINE SEOS.

Pöördume veel kord kehade soojendamise katsete juurde (§ 43). Nõusse suletud õhk soojenes, kui me teda kokku surusime, s. t. kui me tegime temaga tööd. Teises katses soojendasime vasaralöökidega pliitükki.

Keha soojenemine näitab tema siseenergia suurenemist. Järelikult, tehtud töö tõttu suurenes õhu ja plii siseenergia.

Teame, et on veel teine tee keha siseenergia suurendamiseks — kehale soojuse ülekandmine mehhaanilist tööd tegemata.

Selleks võib nõus olevat õhku või pliidi lihtsalt soojendada põleti leegis sellesama temperatuurini, mille saime tööd tehes. Me võime järelikult keha siseenergiat muuta kindla suuruse võrra nii soojusülekande teel kui ka mehhaanilise töö tegemise abil (§ 44). Kui palju tööd tuleb teha selleks, et keha siseenergia suureneks niisama palju kui 1 kcal suuruse soojushulga mõjul?

Täpsete katsete abil<sup>1</sup>, millega tutvume hiljem, on tehtud kind-

<sup>1</sup> Tööühikute ja soojushulga ühikute vaheliste seoste leidmisel töötas palju ja viljakalt inglise õpetlane James Joule.



**James Perscott Joule** (1818—1889)  
— väljapaistev inglise füüsik. Ta  
määras esimesena katselisel teel  
kindlaks mehhaanilise töö suuruse,  
mis on samaväärne ühe kilokaloriga.  
Joule'i katsed aitasid põhjendada  
energia jäävuse ja muundumise  
seadust.

laks, et selleks tuleb teha 427 kGm tööd. See aga tähendab, et 427 kGm tööd on samaväärne soojushulgaga 1 kcal, s. t.

$$427 \text{ kGm} = 1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal.}$$

**Näide 1.** Mitu kilokalorit on 2135 kGm?

**Lahendus.** 427 kGm on 1 kcal, 2135 kGm on 427 kGm-st suurem 5 korda ( $\frac{2135}{427} = 5$ ), järelikult,  $2135 \text{ kGm} = 5 \text{ kcal}$ .

**Näide 2.** Mitme kilogramm-meetriga on võrdne 10 kilokalorit?

**Lahendus.** 1 kcal on võrdne 427 kGm-ga, 10 kcal on seega  $10 \times 427 \text{ kGm} = 4270 \text{ kGm}$ .

Leiame, mitme kaloriga on võrdne 1 J.

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kGm.}$$

$$1 \text{ kGm} = 9,8 \text{ J} (\S 19), \text{ seepärast}$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \cdot 9,8 \text{ J} = 4184,6 \text{ J.}$$

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal, järelikult,}$$

$$1000 \text{ cal} = 4184,6 \text{ J, millest}$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J,}$$

$$1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal.}$$

Tänapäeval on teaduses ja tehnikas võetud kasutusele töö ja soojushulga mõõtmiseks üks ja sama ühik — džaul.

### **53. ENERGIA JÄÄVUSE JA MUUNDUMISE SEADUS MEHHAANILISTES JA SOOJUSLIKES PROTSESSIDES.**

Energia muundumise nähtusi mehhaanilistes protsessides vaa-  
deldi õpiku kolmandas peatükis. Tuletame neist mõningaid meelde.

Kivi või palli üles visates anname me talle kineetilist energiat.



Tõusnud teatud kõrgusele, visatud keha peatub, seejärel aga hakkab langema tagasi alla. Peatumise momendil (trajektoori kõrgeimas punktis) kaotab keha kogu oma kineetilise energia, kuid kuna ta asetseb teatud kõrgusel maapinnast, siis on tal potentsiaalset energiat.

Langedes tagasi maapinnale, suureneb keha kiirus ja kineetiline energia seda rohkem, mida lähemale maapinnale ta tuleb, keha potentsiaalne energia aga seejuures väheneb.

Vaadeldud näide kinnitab, et kineetiline energia võib muunduda potentsiaalseks ja vastupidi, potentsiaalne energia võib muunduda kineetiliseks.

Kui mitte arvestada energia kadu õhutakistuse ületamiseks, siis ülesvisatud keha kukub maha sellesama energiavaruga, mis me talle andsime. (Seda saab katseliselt näidata.) Järelikult mehhaanilise energia hulk säilib isegi siis, kui mehhaaniline energia muundub ühest liigist teise.

See järeldus on õige ka kõigi teiste soojuslike protsesside puhul. Soojusülekande puhul annab näiteks soojem keha energiat ära, külmem keha aga saab energiat juurde.

Soojema keha poolt äraantav energiahulk on alati niisama suur kui see energiahulk, mille saavad kõik soojenevad kehad.

Konkreetselt näiteks selle kohta võiks olla kuuma ja külma vee segamise katse, mille me tegime laboratoorse tööna.

Paragrahvis 43 vaatlesime kehade soojenemise mitmesuguseid nähtusi, mis ilmnesisid hõõrdumisel ja tagumisel. Tehtud töö tõttu, s. t. mehhaanilise energia kulutamisel, kehad soojenesid ja nende siseenergia kasvas. Kui leida kulutatud mehhaaniline energia ja keha siseenergia kasv, siis osutuvad need suurused võrdseteks.

Kütuse põlemisel aurukatla ahjus muundub kütuse energia auru siseenergiaks. Auru siseenergia muundub omakorda aurukatlas kolvi liikumise mehhaaniliseks energiaks jne.

Seejuures saab alati määrata, kus ja milleks kulus kütuse energia üks või teine osa.

Õppides tundma nähtusi, mis ilmnesisid energia ühe liigi muundumisel teiseks, avastati looduse üks põhiseadustest — **energia jäävuse ja muundumise seadus**.

See seadus ütleb, et **kõikides looduses toimuvates nähtustes energia ei teki ega kao, vaid ainult muundub ühest liigist teise**.

Loodusnähtuste uurimisel juhinduvad teadlased alati sellest seadusest.

Sellele seadusele toetuvad oma arvestustes ka insenerid ja tehnikud, kes konstrueerivad ning ehitavad mitmesuguseid masinaid. Mehhaanika «kuldreegel», millest meil oli juttu § 32, kujutab endast energia jäävuse ja muundumise seadust lihtmehhanismide kohta.

Energia jäävuse ja muundumise seadus avastati XIX sajandi



keskpaiku. Erilised teened selle seaduse avastamisel olid saksa õpetlasel Robert Mayeril ja Hermann Helmholtzil ning inglise õpetlasel James Joule'il.

Suur vene õpetlane M. V. Lomonossov nägi juba sada aastat enne energia jäävuse ja muundumise seaduse avastamist ette selle seaduse olemasolu. Lomonossov avastas teise jäävuse seaduse — aine jäävuse seaduse, millega me tutvume keemia kurses.

Aine jäävuse seadus koos energia jäävuse ja muundumise seadusega kinnitab, et maailmal, milles me elame, ei ole algust ega lõppu — ta eksisteerib igavesti.

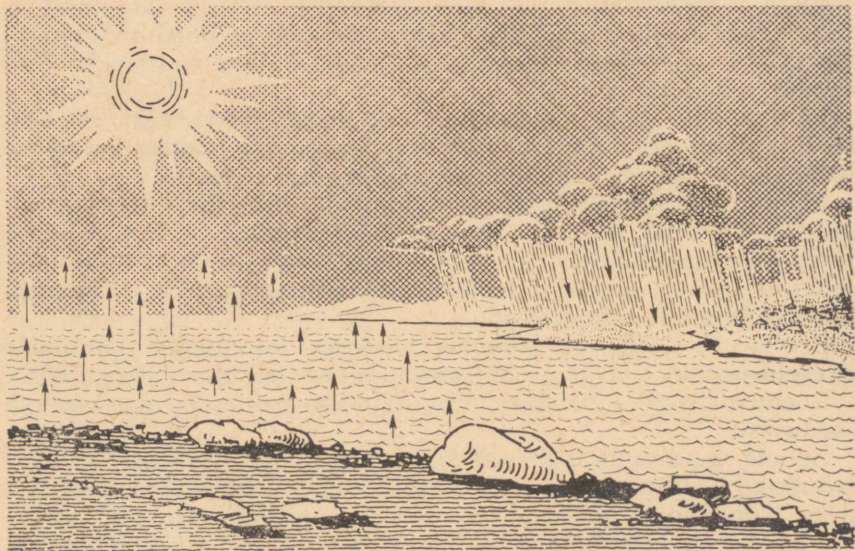
Religioosne õpetus jumalast kui maailma loojast on puhtal kujul väljamõeldis, mille teadus kummutab.

#### 54. PÄIKE KUI MAA PEAMINE ENERGIAALLIKAS.

Enamiku tänapäeval kasutatavate energialiikide allikaks Maal on Päike.

Tarvitseb endale vaid ette kujutada, mis juhtuks siis, kui Päike ei valgustaks enam iga päev Maad! Me teame selliseid kohti maakeral, kus mitmeid kuid ei paista Päike. See on Arktika ja Antarktika. Seal on igavene jää ja lumi.

Maakeral me võime kõikjal leida päikesekiirte töö jälgi. Tänu sellele, et päikesekiired ei soojenda maapinda ühtlaselt, tekib tuul.



Joon. 82. Vee ringkäik looduses.



Tuulte ja nende poolt kohalekantud niiskuse mõjul purunevad järk-järgult suured mäemassiivid. Merede, järvede ja jõgede vesi aurustub päikesekiirte soojuse tõttu. Aur tõuseb üles ning sellest moodustuvad pilved. Tuul kannab pilved laiali erinevatesse maa-kohtadesse, kus need sademetena alla langevad. See suur katke-matu vee ringlus toimub kõik päikeseenergia arvel. Kuid sellega päikeseenergia tähtsus veel ei piirdu. Me teame, kui suurel mää-ral sõltub toimede ja loomade elu valgusest ja soojusest. Taime-des toimub päikeseenergia muundumine keemiliseks energiaks. Seda taimede keemilist energiat kasutavad aga inimesed, tarvi-tades taimi toiduks või kütuseks. Kivisüsi, mis on veel tänapäe-valgi üheks peamiseks energiaallikaks, kujutab endast vanasti suurtel maa-aladel lopsakalt kasvanud metsade kivistunud jäänu-seid.

Soodes moodustub kõdunevatest taimedest turvas, mida laial-daselt kasutatakse kütusena.

Taimedest toituvate loomade ja ka inimeste energia — see on muundunud päikeseenergia. Maale langeva päikesekiirguse võim-sus on palju kordi suurem tänapäeval inimkonna poolt kasutata-vast energiast. Päikeseenergia arvel on aasta keskmine tempera-tuur maakeral ligikaudu  $15^{\circ}$ .

Katselisel teel on leitud, et maapinna iga ruutsentimeeter, mis on risti päikesekiirtega, saab minutis umbes kaks kalorit soojust, kui jätta arvestamata energiakaod atmosfääris. See tähendab, et maapinna ühele ruutmeetrile langevate päikesekiirte võimsus on ligikaudu 1,4 kilovatti. Kui meil oleks võimalus kasutada kas või 1 % sellest päikeseenergiast, mis langeb meie linnades majade katustele, siis kataksime nende linnade vajadused kõigi energia-liikide osas ja jääks veel ülegi.

Mitte väga ammu õppis inimkond kasutama uut võimsat ener-giaallikat — aatomienergiat. See energia ei ole seotud Päikesega.

## AINE ÜLEMINEK ÜHEST AGREGAATOLEKUST<sup>1</sup> TEISE.

### 55. KRISTALLILISED JA AMORFSED KEHAD.

Aine võib olla kolmes olekus: **tahkes, vedelas või gaasilises**. Kõigile on hästi tuntud vee kolm võimalikku olekut: jää, vesi ja veeaur. Soojendamisel võib tahke aine muutuda vedelaks (näiteks jää sulab) ja see omakorda gaasiliseks (näiteks vesi aurustub).

Jahtumisel võib aga gaasist saada vedelikku ja vedelikust tahket ainet.

Tahked kehad on kas **kristallilised** või **amorfseid**.

Kristallilistes kehtades moodustavad aatomid või molekulid korrapärased rühmad — **kristallid**. Iga kristallilise aine kristallidel on ainult sellele ainele iseloomulik kristalli kuju. Näiteks keedusoola kristallid on kuubikujulised, vilgukivi kristallid aga õhukeste lehtede kujulised jne.

Kristalliliste ainete hulka kuuluvad kõik metallid, enamik mineraale, jää, naftaliin ja paljud teised ained.

Metallid koosnevad väga väikestest üksteisega tugevasti liitunud kristallidest. Nende kristallide servi võib selgesti näha murdunud metallitüki vaatlemisel mikroskoobiga.

Amorfsetes kehtades asetsevad molekulid korrapäratult. Seoses sellega erinevad ka amorfsete kehade omadused oluliselt kristalliliste ainete omadustest. Amorfsete kehade hulka kuuluvad klaas, parafiin, kirjalakk, mitmesugused vaigud jt.

### 56. KRISTALLILISTE AINETE SULAMINE JA TAHKESTUMINE.

Tahkete kristalliliste ainete omaduste õppimist alustame sulamisest.

**Aine üleminekut tahkest olekust vedelasse nimetatakse sulamiseks.**

Ühed kristallilised ained sulavad madalal temperatuuril, teised kõrgel. Jää sulab näiteks 0° juures (kui õhurõhk on 760 mm elavhõbedasammast).

<sup>1</sup> Aine agregaatolek on üldine nimetus aine kolmele füüsikalisele olekule: tahkele (kristallilisele), vedelale ja gaasilisele.



Naftaliini kristallid sulavad  $80^{\circ}$  juures. Kui asetada katseklaas tahke naftaliiniga keeva vette, siis naftaliin sulab ning me saame vedela naftaliini.

Tina- või pliitükke võib sulatada teraslusikal, kui kuumutada lusikat piirituslambi leegil. Malm ja teras sulavad aga väga kõrge temperatuuril, umbes  $1500^{\circ}$  juures.

**Temperatuuri, mille juures toimub sulamine, nimetatakse sulamispunktiks.**

Kui sulanud ainet jahutada, siis muutub ta uuesti vedelast olekust tahkeks — tahkestub.

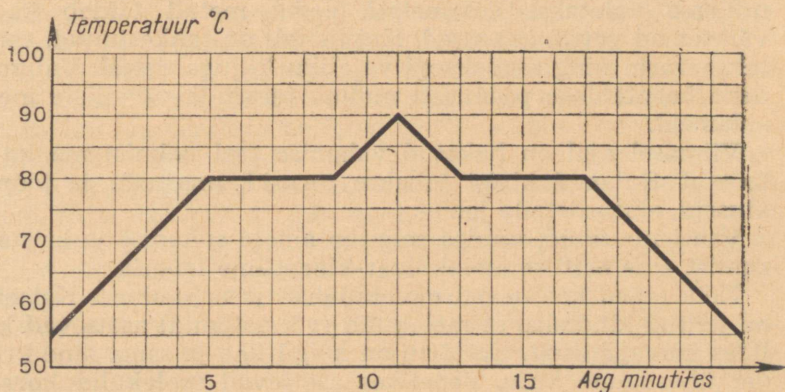
Kristalliliste ainete tahkestumist nimetatakse **kristalliseerumiseks**.

**Temperatuuri, mille juures toimub kristalliseerumine, nimetatakse kristalliseerumispunktiks.**

Katsed näitavad, et **kristallilised ained tahkestuvad samal temperatuuril, mille juures nad ka sulavad**. Näiteks vesi kristalliseerub (ning jää sulab)  $0^{\circ}$  juures, puhas raud sulab ja kristalliseerub  $1530^{\circ}$  juures jne.

Vaatleme naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafikut joonisel 83.

Naftaliini temperatuuri jälgimine algas momendil, mil naftaliini temperatuur oli  $55^{\circ}$ . Edasisel soojendamisel naftaliini temperatuur tõusis kuni  $80^{\circ}$ -ni.  $80^{\circ}$  juures hakkas naftaliin sulama. Kogu sulamise aja kestel naftaliini temperatuur ei muutunud, kuigi naftaliini soojendamine jätkus. Pärast seda, kui kogu naftaliin oli sulanud, s. t. oli muutunud vedelaks, hakkas tema temperatuur uuesti tõusma. Temperatuur tõusis kuni  $90^{\circ}$ -ni. Seejärel põletati kustutati ja vedel naftaliin hakkas jahtuma. Kui naftaliini temperatuur oli langenud  $80^{\circ}$ -ni, algas kristalliseerumisprotsess.



Joon. 83.

Niikaua, kuni kogu naftaliin polnud tahkestunud, tema temperatuur ei muutunud. Alles pärast tahkestumist hakkab naftaliini temperatuur langema.

Sellised nähtused ilmnevad ka ükskõik millise teise tahke kristallilise keha juures, ainult et teiste temperatuuride puhul.

Katselisel teel on kindlaks tehtud, et

1) tahked kristallilised ained sulavad ja tahkestuvad ühel ja samal, igale ainele omasel kindlal temperatuuril;

2) erinevatel kristallilistel ainetel on sulamis- ja tahkestumistemperatuurid erinevad;

3) sulamise ja tahkestumise ajal kristallilise aine temperatuur ei muutu.

Järgnevast tabelist nähtub, kui erinevad võivad olla ainete sulamistemperatuurid.

#### Mõnede ainete sulamistemperatuurid (C°).

|           |      |                 |           |
|-----------|------|-----------------|-----------|
| Vesinik   | —257 | Alumiinium      | 658       |
| Hapnik    | —219 | Kuld            | 1063      |
| Lämmastik | —210 | Vask            | 1083      |
| Piiritus  | —114 | Raud, tehniline | 1170—1440 |
| Elavhõbe  | —39  | Raud, puhas     | 1530      |
| Jää       | 0    | Plaatina        | 1770      |
| Tina      | 232  | Tantaal         | 3030      |
| Plii      | 327  | Volfram         | 3370      |
| Tsink     | 429  |                 |           |

Metallide omadusele kuumutamisel sulada ja jahtumisel tahkestuda on rajatud valutoodete tootmine. Selle tootmisviisi eesmärgiks on saada metallist keerulise kujuga esemeid, kasutamata seejuures aeganõudvat mehhaanilist töötlemist. Selleks valmistatakse mitmesugustest mittepõlevatest materjalidest õõnsad vormid, millesse valatakse sulametall. Vedel metall täidab ka kõige väiksemad vormi õnarused. Kui metall on tahkestunud, eemaldatakse vorm ning saadaksegi vajaliku kujuga detail. Valumetallidena kasutatakse peamiselt malmi, terast ja värviliste metallide sulameid.

Viimasel ajal on hakatud valamise teel valmistama ka kivist tooteid. Sulanud kivist tehakse torusid, masinate ja tööpinkide aluseid, ehitusdetaile jm.

Vaatleme nüüd, kuidas selgitab ainete sulamist ja kristalliseerumist aine ehituse molekulaar-kineetiline teooria.

Kõik ained koosnevad molekulidest ja aatomitest. Katsete abil on tehtud kindlaks, et molekulid (või aatomid) asetsevad kristallides korrapäraselt. Seetõttu on kõigil ühe ja sama aine kristallidel ühesugune kuju. Vedelikes asetsevad molekulid korrapäramalt kui kristallides ning võivad vabalt üksteise suhtes ümber asetuda.



Sulamistemperatuuril molekulide korrapärane asetus kristallides lõhutakse. Kristallid kaotavad oma kuju, aine sulab ning muutub vedelaks.

Kristalliseerumistemperatuuril tekivad jahutatavas sulas aines algul väikesed kristallid, mis järk-järgult kasvavad, kuni kogu aine on tahkestunud.

Amorfsetel ainetel, erinevalt kristallilistest, ei ole kindlat sulamist- ega tahkestumistemperatuuri. Temperatuuri tõusmisel nad järk-järgult pehmenevad, kuni muutuvad vedelaks.

Amorfsete ainete tahkestumisel kristalle ei teki. Molekulid kaotavad siin järk-järgult oma liikuvuse, mistõttu aine üha enam tiheneb. Seejuures säilitavad molekulid vedelikele omase korrapärase asetuse. Tahked amorfsed kehad — need on väga tihedad vedelikud.

### Harjutus 26.

1. Miks kasutatakse külmades rajoonides välistemperatuuri mõõtmiseks elavhõbetermomeetrite asemel piiritustermomeetreid?
2. Kas tina sulab, kui ta visata sula pliisse?
3. Kas alumiiniumist keedunõus võis sulatada tsinki?
4. Miks ei hakka jää kohe sulama, kui viia ta külma käest sooja tuppa?

## 57. LABORATOORNE TÖÖ 7.

### Naftaliini soojendamise ja sulamise jälgimine.

Töövahendid: lai katseklaas; termomeeter; naftaliin; keeduklaas; piirituslamp.

Töö käik.

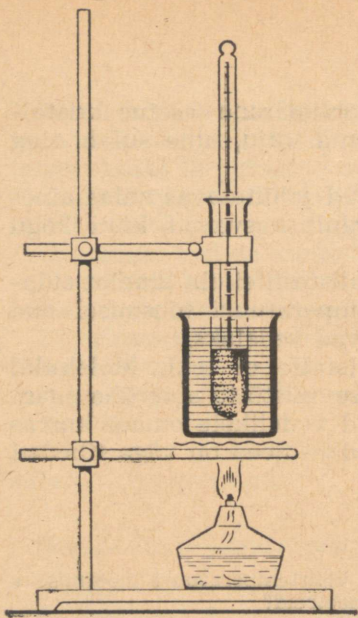
1. Pane katseklaasi naftaliini ja pista sellesse termomeeter. Seejärel aseta katseklaas veega täidetud keeduklaasi ja soojenda siis keeduklaasi piirituslambi nõrga leegi kohal (joon. 84).

2. Kui naftaliin on soojenenud 55 kraadini, siis hakka iga minuti järel märkima vihikusse üles naftaliini temperatuuri seni, kuni naftaliini temperatuur on tõusnud 90°-ni. Seejärel võta katseklaas kuumast veest välja ja lase tal õhu käes jahtuda. Jätka samal ajal temperatuuri ülesmärkimist iga minuti tagant. Tee seda seni, kuni naftaliin on jahtunud 60°-ni.

3. Vaatlusandmete põhjal joonest millimeeterpaberil graafik, mis näitab naftaliini temperatuuri muutumist sõltuvalt soojendamise ajast (sellise graafiku näide on toodud joonisel 83).

4. Märgi graafikul ära naftaliini sulamis- ja kristalliseerumistemperatuurid. Võrdle neid. Millise järelduse võid teha selle võrdluse põhjal?

5. Jälgi naftaliini temperatuuri sulamis- ja kristalliseerumisprotsessi jooksul.



Joon. 84.

6. Ütle ja märgi graafikule naftaliini olek sel ajal, kui naftaliini temperatuur ei muutunud.

7. Ütle need olekud, milles naftaliin oli üheaegselt sulamis- ja tahkestumisprotsessi ajal.

#### 58. SULAMIS- JA KRISTALLISEERUMISSOOJUS.

Sulamise ja tahkestumise graafikult (joon. 83) selgus, et naftaliini sulamise vältel tema temperatuur ei muutunud. Alles pärast seda, kui kogu naftaliin oli sulanud, hakkas temperatuur tõusma.

Piirituslamp põles aga ka siis, kui naftaliin sulas. Tähendab, naftaliin sai energiat, kuid ometi tema temperatuur ei tõusnud. Milleks kulus siis energia, mille sai naftaliin?

Me võime vastata sellele küsimusele, kui meenutame, et sulamisel toimub aine kristallide lagunemine. Selleks kulubki energia.

Järelilikult, energia, mille saab aine sulamistemperatuuril, ei lähe mitte aine temperatuuri tõstmiseks, vaid selle aine üleviimiseks vedelasse olekusse.

**Soojushulka, mis on vajalik 1 g aine üleminekuks tahkest olekust vedelasse olekusse sulamistemperatuuril, nimetatakse sulamissoojuseks.**

Katsete põhjal on tehtud kindlaks, et jää sulamissoojus on  $80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ . See tähendab, et 1 g  $0^\circ$ -se jää muutmiseks veeks, mille



temperatuur on 0°, on vaja 80 cal soojust, 1 kg jää sulatamiseks on aga vastavalt tarvis 80 kcal soojust.

Mõnede ainete sulamissoojused on toodud alljärgnevas tabelis.

**Ainete sulamissoojused**  $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}} \text{ või } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$

|                  |      |
|------------------|------|
| Alumiinium ..... | 92,4 |
| Jää .....        | 80   |
| Raud .....       | 66   |
| Vask .....       | 42   |
| Piiritus .....   | 26   |
| Tina .....       | 14   |
| Plii .....       | 6,3  |
| Elavhõbe .....   | 2,8  |

Vaatleme nüüd, kummas olekus — vedelas või kristallilises — on 1 g ainel sulamistemperatuuril rohkem siseenergiat. Teades, mis on sulamissoojus, võime sellele küsimusele kergesti vastata.

Kuna näiteks 1 g 0°-se jää sulamisel 0°-se temperatuuriga veeks kulub 80 cal soojust, siis, järelikult, on ka 1 g vee energia 80 cal võrra suurem 1 g jää siseenergiast.

Järelikult, **sulamissoojus näitab, kui palju suureneb 1 g aine energia selle aine üleminekul tahkest olekust vedelasse olekusse temperatuuri muutumiseta.**

Pöördume veel kord tagasi naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafiku juurde (joon. 83). Vaatleme nüüd graafiku seda osa, mis näitab naftaliini jahtumist.

Sula naftaliini jahtumisel tema temperatuur langeb. Niipea aga, kui temperatuur on jõudnud kristalliseerumispunkti, hakkab temperatuuri alanemine, kuigi naftaliin annab kahtlemata ka siis oma siseenergiat edasi teda ümbritsevatele kehadele, sest tema temperatuur on kõrgem nende kehade temperatuurist. Naftaliini temperatuur jääb seni muutumatuks, kuni naftaliin tahkestub. Niipea aga, kui naftaliin on täielikult tahkestunud, hakkab temperatuur uuesti alanema.

Miks naftaliini temperatuur kristalliseerumise ajal ei alane?

See on sellepärast nii, et vedelal naftaliinil on kristalliseerumise temperatuuril suurem siseenergia kui samal naftaliinil tahkes olekus. Naftaliini üleminekul vedelast olekust tahkesse olekusse liigne siseenergia eraldub ja kompenseerib jahtumisest tingitud energiakao. Tahkestuva naftaliini temperatuur jääb muutumatuks seni, kuni lõpeb kristalliseerumisprotsess. Sellest momendist alates hakkab temperatuur jälle alanema, sest siseenergia kadu ei asendu millegagi.

**Täpsete katsete abil on tehtud kindlaks, et aine kristalliseerumisel eraldub niisama palju soojust, kui palju kulus tema sulamiseks.**

Nii näiteks kulub 1 g 0° juures oleva jää sulatamiseks 80 cal soojust. 1 g 0° juures oleva vee kristalliseerumisel väheneb tema siseenergia 80 cal võrra — vesi eraldab soojushulga, mis on võrdne 80 kaloriga.

Suurte jõgede ja järvede lähedal on kevadel, kui jää kiiresti sulab, sageli märgata ajutist jahenemist, sest suur soojushulk, mis on vaja jää sulamiseks, võetakse ümbritsevast õhust. Samades paikades ei ole talve tulekul aga algul külma, sest vee külmumisel eraldub soojushulk, mis on võrdne sulamissoojusega.

### Harjutus 27.

1. Kui palju kaloreid kulub 4 kg 0°-se jää sulatamiseks?
2. Mitu kalorit on tarvis 20 g tina sulatamiseks, kui tina temperatuur enne kuumutamist oli 12°?
3. Sulav jää toodi ruumi, mille temperatuur oli 0°. Kas hakkab jää selles ruumis sulama?
4. Kui palju soojust eraldub 125 kg vee jäätumisel 0° juures?
5. Vette, mida oli 5 l temperatuuriga 40°, pandi 3 kg 0°-st jääd. Kui palju jääd sulab veeks?
6. Aseta pliidile kaks ühesugust plekknõu. Ühte nõusse vala 200 g vett, teise pane aga 200 g lund. Jälgi kella abil, kui palju aega kulub selleks, et vesi hakkaks mõlemas nõus keema. Kirjuta töö kohta lühike aruanne ja selgita katse tulemusi.
7. 1 kg massiga valgevasest kaaluviht kuumutati 100°-ni ja asetati siis jõesse tehtud süvendisse. Jää temperatuur on 0°. Mitu grammi jääd sulab veeks kaaluvihi jahtumisel 0°-ni?
8. Valuvormi valatud tonn terast jahtus kristalliseerumistemperatuurilt (1170°) toatemperatuurini (18°). Kui palju soojust eraldus selle terasekoguse jahtumisel?

### 59. SULAMID JA NENDE KASUTAMINE TEHNIKAS.

Sulametalles võib üksteisega segada. Nii saadakse **sulamid**.

Sulameid kasutatakse laialdaselt tehnikas, sest paljudel sulamitel on väga väärtuslikud omadused. Kõigile on hästi tuntud teras, mis on raua ja süsiniku sulam. Kui terasele lisada veel mõnda teist metalli: kroomi, niklit, molübdeeni, titaani jm., siis saadakse kas veelgi suurema kõvadusega teras, roostevaba teras või teras, mis on vastupidav väga kõrgetele temperatuuridele. Vastupidavate sulamite hulka kuuluvad ka alumiiniumi sulamid teiste metallidega. Nendest on kõige rohkem kasutamist leidnud duralumiinium, mis koosneb 94% alumiiniumist, 5% vasest, 0,5% magneesiumist ja 0,5% mangaanist. Duralumiiniumi sulamistemperatuur on 650°. Tema erikaal on kolm korda väiksem terase erikaalust, tõmbetugevus aga niisama suur kui parematel terasesortidel. Duralumiiniumist ja sellega sarnastest sulamitest valmistatakse tooteid, mis peavad olema kerged ja vastupidavad, nagu näiteks autod, lennukite ja laevade osad.



Sulamite sulamistemperatuur on tavaliselt väiksem tema peamiste koostisosade sulamistemperatuurist.

On sulameid, mille sulamistemperatuur on väga madal. Näiteks sulam, mis koosneb kahest osast vismutist ( $t_{\text{sul}}^{\circ} = 271^{\circ}$ ), ühest osast tinast ( $t_{\text{sul}}^{\circ} = 232^{\circ}$ ) ja ühest osast pliiist ( $t_{\text{sul}}^{\circ} = 327^{\circ}$ ), sulab  $95^{\circ}\text{C}$  juures. Niisugusest sulamist valmistatud teelusikas sulab keevas vees. Sellistest sulamitest valmistatakse harilikult aurukatelde kaitsekorgid. Sellised korgid kuumenevad kiiresti ja sulavad katlas, kui veepind langeb alla lubatud taseme ja korgid jäävad veest välja. Korkide sulamisel pääseb aur katlast küttekoldesse, kustutab seal tule ning hoiab seega ära katla lõhkemise.

Kergesti sulavaid sulameid kasutatakse ka mitmesugustes tulekaitseadeldistes.

Praktikas laialdaselt kasutatav jootetina koosneb kahest osast pliiist ja ühest osast tinast. Jootetina sulamistemperatuur on  $180^{\circ}$ , s. o. tunduvalt väiksem kui plii ja tina sulamistemperatuur.

Kergesti sulavat sulamit, mida nimetatakse babiidiks, kasutatakse laagrite valamisel. Babiidist on näiteks valatud autode ja traktorite võllide laagrid. Kui määrimine osutub puudulikuks, siis võlli ja laagri vahelise hõörde tõttu laager kuumeneb ning babiidist laager sulab. Võll jääb seejuures terveks.

## 60. AURUMINE JA KONDENSEERUMINE.

**1. Vedeliku aurumine.** Märja lapiga puhastatud klassitahvel kuivab väga kiiresti, sest vesi muutub auruks — aurub. Täpselt samuti kuivab põrand pärast pesemist, kuivama riputatud märg pesu, kogemata põrandale valatud vesi, tint, millega äsja kirjutati paberile.

Kui puhastada bensiiniga riideid, siis on bensiini lõhna tunda kogu toas. See on tingitud sellest, et bensiin aurub ja tema aurud segunevad toa õhuga.

**Kõik vedelikud auruvad.** Katsed näitavad, et vedeliku aurumine toimub igal temperatuuril.

Aurumisel lendavad aine molekulid vedelikust välja. See vedelikust väljalennanud molekulide kogumik moodustabki auru.

Aurumisel vedeliku siseenergia väheneb. Mitte iga molekul, mis asetseb vedeliku pinnakihis, pole võimeline vedelikust eralduma. Vedeliku pinnakihi molekulid tõmbuvad vedeliku seesmistes kihtides asetsevate molekulide külge. Ainult need molekulid, millel on suur kineetiline energia (liiguvad suure kiirusega), võivad ületada seda külgetõmbejõudu ja lennata vedelikust välja. Väljalennuks vajaliku kineetilise energia saavad molekulid vedelikes teistelt molekulidelt, millega nad oma liikumisel kokku põrkuvad.

Kuna vedelikust auruna väljuvate molekulide energia on suu-

rem vedelikku jäävate molekulide energiast, siis auruva vedeliku siseenergia väheneb ja vedeliku temperatuur langeb.

Vedeliku jahtumist aurumisel võib jälgida järgmise katse põhjal. Õhukeseseinaline klaaskolb ühendatakse kummivooliku abil vedelik-manomeetriga (joon. 85). Kolvi põhjale pannakse riidetükk ja sellele kallatakse natuke eetrit. Eetri aurumisel jahtub kolvis olev õhk ning õhu rõhk kolvis langeb. Seda näitab ka vedelikunivoo tõus manomeetri parempoolses harus.

Kui nuusutada kätt eetri või piiritusega, siis tunneb käsi külma.

Veest välja tulles tunneme isegi kuumal suvepäeval külma, sest vesi, mis aurub meie keha pinnalt, võtab meilt teatud hulga soojust.

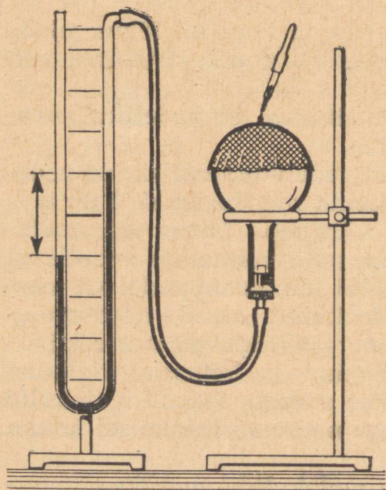
**Mida suurem on vedeliku pind, seda kiiremini vedelik aurub.**

Näiteks võib klaasi valatud vesi seista kaua toas, sest aurumine toimub siin aeglaselt. Kui valada aga samasugune kogus vett põrandale, siis aurub see võrdlemisi kiiresti.

**Ühel ja samal temperatuuril auruvad ühed vedelikud kiiremini, teised aeglasemalt.**

Seda nähtust võime jälgida järgmise lihtsa katse põhjal. Paneme pintsliga klaasile või lauale mitmesuguseid vedelikke: eetrit, piiritust, vett ja mingit õli, märkame, et eeter ja piiritus auruvad väga kiiresti, vesi aeglasemalt, õli aga veelgi aeglasemalt.

Mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda suuremal arvul molekulidel on nii suur kineetiline energia, mis on vajalik vedelikust väljalendamiseks. Järelikult, **temperatuuri tõusmisel vedeliku aurumine suureneb**. Seda võib tähele panna ka igapäevases elus. Värske värv või pärast vihma maapinnale tekkinud veeloidud kuivavad päikese käes kiiremini kui varjus.



Joon. 85.



Üheaegselt aurumisega toimub aga alati ka vastupidine protsess — auru muutumine vedelikuks. Nimelt võivad auru molekulid oma liikumisel sattuda uuesti vedeliku pinna lähedale ning tõmbuda vedeliku molekulide külge. Kui vedeliku aurumine toimub kinnises nõus, siis vedelikust väljalennanud molekulide arv saab võrdlemisi kiiresti võrdseks vedelikku tagasipöörduvate molekulide arvuga — vedeliku ja auru vahel tekib liikuv tasakaal. Liikuva tasakaalu korral vedeliku hulk anumas ei muutu, kuigi vedelik pidevalt aurub.

Kui vedeliku aurumine toimub lahtises nõus, siis vedeliku ja auru vahel liikuvat tasakaalu ei teki, sest auru molekulid hajuvad järk-järgult õhus laiali. Teatud hulk molekulide pöördub aga ka sel korral tagasi vedelikku, aeglustades sellega vedeliku aurumist.

**Tuule käes toimub aurumine alati kiiremini**, sest tuul kannab tekkiva auru kiiresti laiali. Seepärast kuivab kevadel maapind lagedamatel ja kõrgematel kohtadel alati kiiremini kui metsas, sest nendel kohtadel on rohkem tuult, metsas aga puud takistavad tuult ning maa jääb seal kauaks ajaks niiskeks.

Samal põhjusel aitavad ka metsakaitsevööndid säilitada niiskust.

## 2. Tahke keha aurumine.

Auruvad ka tahked kehad. Paljude tahkete kehade aurumist võib avastada lõhna järgi. Sel viisil on kerge avastada näiteks naftaliini ja kampri aurumist. Aurub ka jää. Seepärast ongi võimalik külma käes pesu kuivatada.

Eriti näitlik on joodikristallide aurumine. Kui soojendada nõrgal leegil kolbi, milles on joodikristalle, siis need kristallid hakkavad auruna. Joodi aurud on tumevioletse värvusega ning seetõttu hästi nähtavad.

3. **Auru kondenseerumine.** Kõigile on hästi teada, et aurust tekivad sageli vedeliku väikesed tilgakesed. Suveõhtul, kui õhk muutub külmemaks, langeb maha kaste. Kaste ei ole midagi muud kui õhus leiduv veeaur, mis jahtumisel langeb väikeste veetilgakestena rohule ja lehtedele.

Auru muutumist vedelikuks nimetatakse **kondenseerumiseks**.

Eriti suurtes kogustes toimub auru kondenseerumine looduses. Veeaurud, mis tõusevad maapinnalt üles, moodustavad kõrgemates ja külmemates õhukihtides paljudest väikestest veepiisakestest koosneva pilve.

## Harjutus 28.

1. Täida väike katseklaas veega ning vala siis see vesi taldrikule.

Täida nüüd seesama katseklaas uuesti veega ning pane siis nii katseklaas kui ka taldrik mõnda vaiksesse kohta (näiteks kappi), selleks et lasta veel ära aurata. Kirjuta üles katse algus (kuupäev ja tund).

Järgnevalt märgi üles aeg, mis kulub kogu vee taldrikult äraauramiseks, ja aeg, mis kulub katseklaasist  $\frac{1}{4}$  temas oleva vee äraauramiseks.



Mööda katseklaasi ja taldriku diameeter ning määra vedeliku pinna suurus kummaski nõus. Võrdle vedeliku aurumise aega tema pinna suurusega. Tee katsest järeldus ja kirjuta see vihikusse.

2. Võta herneterasuurune tükk naftaliini, pane see mingile alusele ning hõõru naftaliin pulbriks.

Märgi üles katse algus ning määra kindlaks, kui palju aega kulub kogu selle naftaliini aurumiseks.

3. Missuguse ilmaga kuivavad veeloigid kiiremini: vaikselt või tuulise? sooja või külma ilmaga?

4. Mis tuleb teha, et tint kuivaks paberil kiiremini, kui käepärast ei ole kuivatuspaberit?

5. Milline tähtsus on higil, mis tekib kuumaga keha pinnale?

6. Miks kuivas õhus on kergem taluda kuuma kui niiskes?

7. Et saada suvel kuumaga jahedat vett, valatakse vesi nõrgalt põletatud savianumasse, millest vesi aeglaselt läbi imbub. Sellistes anumates on vesi märgatavalt külmem kui ümbritsev õhk. Miks?

8. Külmutuskappides, mida toodab tehas «Gazoapparat», kasutatakse toiduainete hoiukambri jahutamiseks auruvat vedelat ammoniaaki. Millega seda jahtumist selgitada?

## 61. KEEMINE.

Valame klaaskolbi külma vett ja hakkame siis kolbi piirituslambi või gaasipõleti leegil soojendama, mõõtes seejuures termomeetriga vee temperatuuri. Tähelepanelikul vaatlemisel võime näha, et kohalt, mida leek kõige rohkem soojendab, hakkab vesi ülespoole tõusma. Need on soojenenud veeosakesed, mille erikaal on väiksem kui külmal veel ning mis seetõttu tõusevad pinnale.

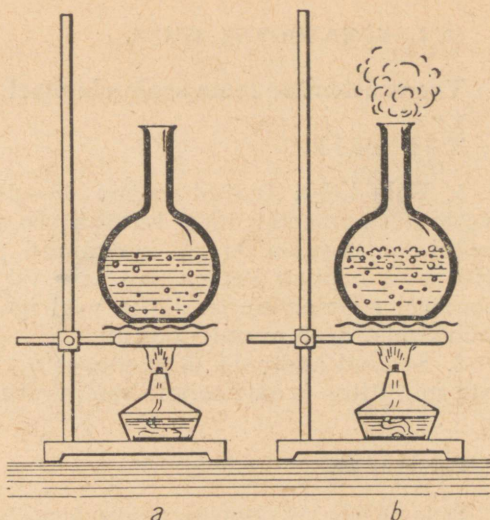
Vee temperatuur tõuseb konvektsiooni tõttu võrdlemisi ühtlaselt kõigis kolvi osades. Juba vee nõrgal soojendamisel ilmuvad kolvi seintele väikesed gaasimullikesed (joon. 86, a). Need mullikesed sisaldavad peamiselt õhku, mida alati lahustunud leidub vees. Kuna soe vesi ei saa sisaldada nii palju lahustunud gaase kui külm vesi, siis külma vee soojendamisel liigne õhk eraldub mullikestena nõu seintele. Vee edasisel soojendamisel muutuvad mullid suuremaks ning nende hulk kasvab. Mullid muutuvad suuremaks seetõttu, et nendesse aurub vesi ja auru hulk nendes järjest suureneb.

Arhimedese seaduse järgi mõjub igale mullile üleslükkejõud. Kui üleslükkejõud ületab jõu, mis hoiab mulli anuma seinä küljes kinni, siis mull tõuseb veepinnale.

Järk-järgult tõusevad peaaegu kõik kolvi põhja ja seinä küljes asetsevad mullid veepinnale. Vette jäävad ainult need mullid, mis moodustusid kohtades, kus seinä ja mulli vaheline külgetõmbejõud on väga suur (uurded, õnarused jm.). Kui temperatuur on tõusnud 100°-ni (normaalsel rõhul), hakkab vesi keema. Seintele ja põhjale jäänud õhumullid muutuvad keemise tsentrumiteks, mille juurest tõusevad veepinnale pikad veeauruga täidetud mullide ahelad. Pinnale liginedes mullid suurenevad, sest vee



Joon. 86. Õhumullikeste moodustumine veega täidetud klaasnõu seintel vee soojendamisel (a). Vee keemine (b).



rõhk nendele väheneb. Kui mullid jõuavad pinnale, siis nad lõhkevad ning nendes olev veeaur tõuseb üles õhku — vesi keeb (joon. 86, b).

Keemise ajal vee temperatuur kolvis ei tõuse, olgugi et piirituslamp põleb ja vesi saab kogu aeg energiat juurde.

**Energia, mille vedelik saab keemisel, kulub molekulidevaheliste külgetõmbejõudude ületamiseks.**

Mida suurem on molekulidevaheline külgetõmbejõud, seda kõrgemal temperatuuril vedelik keeb ning seda rohkem energiat tuleb tema aurustamiseks kulutada. Alljärgnevas tabelis on esitatud mitmesuguste vedelike keemistemperatuurid.

**Mitmesuguste ainete keemistemperatuurid normaalsel õhurõhul ( $^{\circ}\text{C}$ ).**

|                    |       |                |      |
|--------------------|-------|----------------|------|
| Vesinik .....      | —253  | Vesi .....     | 100  |
| Hapnik .....       | —183  | Elavhõbe ..... | 357  |
| Vedel ammoniaak .. | —33,4 | Plii .....     | 1755 |
| Eeter .....        | 35    | Vask .....     | 2360 |
| Piiritus .....     | 78    | Raud .....     | 2840 |

Tabelist on näha, et ained, mis tavalistel tingimustel on gaasid, muutuvad tugeval jahtumisel vedelikeks. Nende keemistemperatuurid on väga madalad. Näiteks vedel hapnik keeb normaalse rõhu puhul —183° juures. Vastupidi, need ained, mis tavalistel tingimustel on tahked, muutuvad sulatamisel vedelikeks, mis keevad väga kõrgetel temperatuuridel. Näiteks keedusool keeb 1440° juures.

**Vee vaatlemine tema soojendamisel ja keemisel.**

Töö käik.

1. Vala kolbi teatud kogus 40—50°-list keetmata vett. Pane vette termomeeter ning kinnita see statiivi külge. Hakka nüüd kolbi soojendama. Märgi iga minuti järel üles vee temperatuur. Kui vesi hakkab keema, siis lasse tal keeda 5 minutit ja lõpeta seejärel soojendamine. Jätka veel iga minuti järel temperatuuri märkimist 4—5 minuti jooksul.

2. Saadud andmete järgi joonesta graafik, märkides rõhtteljele aja minutites ja püstteljele temperatuuri kraadides.

**Harjutus 29.**

Pane pliidile või priimusele väike kaaneta kastrul või mingi muu plekk-nõu veega ja soojenda vett keemiseni.

Jälgi tähelepanelikult, mis toimub soojendamise ajal vees.

Pööra tähelepanu sellele, et vahetult enne keemise algust muutub vesi häguseks. Miks?

Hoia vee keemise ajal puhas taldrik kaldu veeanuma kohal. Mida näed? Selgita. Kirjuta töö kohta lühike kokkuvõte.

**63. KEEMISTEMPERATUURI SÕLTUVUS RÕHUST.**

1. **Keemine madalal rõhul.** Ajame väikeses keeduklaasis vee keema ning laseme tal siis jahtuda 80—70°-ni. Asetame nüüd selle keeduklaasi koos veega õhuhõrenduspumba kupli alla ja hakkame kupli alt õhku välja pumpama. Näeme, et teatud rõhurenduse puhul hakkab vesi klaasis uuesti keema, olgugi et vee temperatuur on madalam kui 100° (joon. 87).

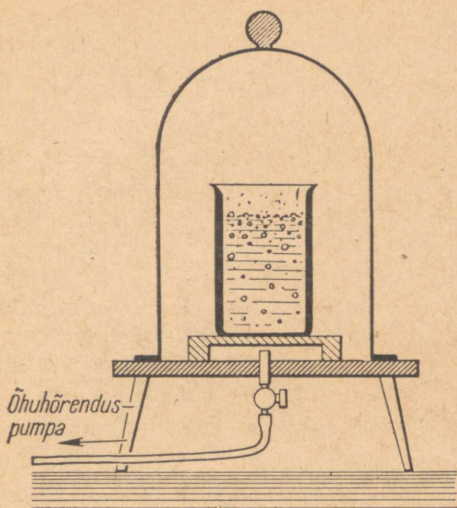
Kui soojendada vett ümmarguses kolvis keemiseni, võtta kolb kiiresti tulelt ära ning sulgeda ta kohe (vee keemise ajal) korgiga, siis keemine lakkab. Vesi hakkab samas kolvis uuesti keema, kui pöörata kolb ümber ning valada kolvi põhjale külma vett (joon. 88) või veelgi parem, panna kolvi põhjale lund. Jahtumisel kolvis olevad aurud kondenseeruvad, mille tõttu rõhk kolvis alaneb ning vesi hakkab uuesti keema, kuigi temperatuur on madalam kui 100°.

Järelikult, vedelikule mõjuva rõhu vähenemisel vedeliku keemistemperatuur alaneb.

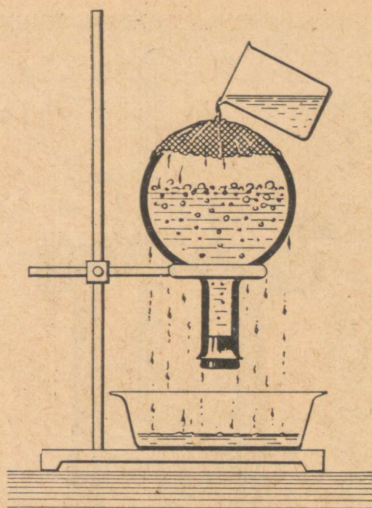
Nii näiteks hakkab vesi kõrgetes mägedes (kus õhurõhk on normaalsest rõhust tunduvalt väiksem) keema 90°, 80° või veelgi madalama temperatuuri juures.

Keemist madaldatud rõhul kasutatakse sageli tehnikas, eriti keemiatööstuses. Suhkrutööstuses keedetakse suhkrulahust liigse





Joon. 87.



Joon. 88.

vee eraldamiseks normaalsest rõhust madalamal rõhul. Sel juhul on keemistemperatuur madal ning suhkur ei kõrbe.

**2. Keemine kõrgendatud rõhul.** Kui keeta vett lahtises anum, siis keemisel tekkinud aur pääseb anumast vabalt välja ning veele mõjub kogu aeg atmosfääri rõhk. Sel juhul vee keemistemperatuur jääb muutumatuks.

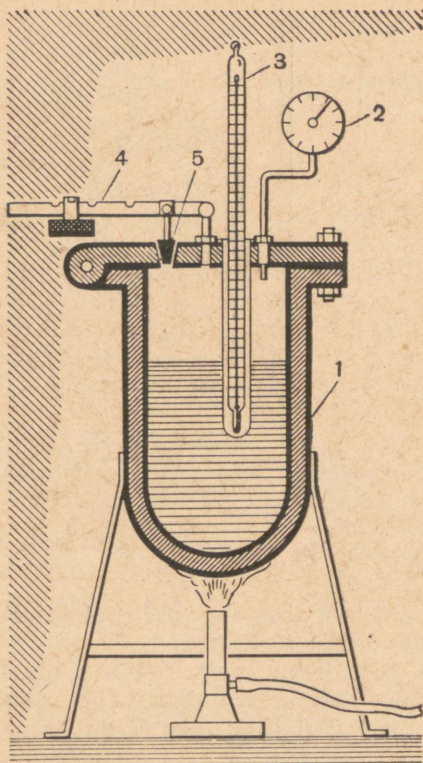
Kui aga keeta vett kinnises anum, siis aur koguneb vee kohale ning rõhk veele järjest suureneb, mistõttu keemistemperatuur tõuseb.

Seda nähtust on hea jälgida erilise katseseadise abil.

See seadis kujutab endast paksuseinalist metallkatelt (joon. 89), mille kaant saab poltide ja mutrite abil tihedalt sulgeda. Katla soojendamisel tekib temas veeaur. Kuna aarul väljapääsu pole, siis rõhk veele järjest suureneb ning vesi ei hakka keema isegi 100°-st kõrgematel temperatuuridel. Auru rõhku mõõdetakse manomeetriga, temperatuuri aga termomeetriga. Termomeeter on paigutatud katla kaane külge joodetud ning mineraalõliga täidetud torusse.

Katla kaane külge on kinnitatud ka kaitseventiil 5. Kang 4 koos tema külge riputatud koormusega avaldavad rõhku ventiili korgile ega lase sellel väljuda ventiili avausest.

Kui auru rõhk katlas ületab kangi rõhu, siis ventiil avaneb ja aur hakkab väljuma. Sellest momendist alates auru rõhk katlas enam ei tõuse. Vesi keeb. Keemise vältel näitab termomeeter kogu aeg püsivat temperatuuri. Et auru rõhku katlas suurendada, tuleb koormust nihutada kangi välimise otsa poole.



Joon. 89. Katseseadis vee keemise uurimiseks kõrgendatud rõhul. 1 — katel, 2 — manomeeter, 3 — termomeeter, 4 — kaitseventiili kang, 5 — kaitseventiil.

Selle tagajärjel suureneb kangi rõhk ventiili korgile ning auru väljumine katlast lakkab. Auru hulk ning rõhk katlas kasvavad. Rõhu suurenemise tõttu vee keemine lakkab. Vesi hakkab katlas uuesti keema hoopis kõrgema temperatuuri juures.

Igal katlal on oma kindel piirrõhk, mis tavaliselt märgitakse manomeetrile ja kaitseventiili kangile punase joonega.

Kõrgrõhukatlaid kasutatakse laialdaselt tehnikas, näiteks soojuselektrijaamades.

Arstid, kirurgid kasutavad kõrgrõhu auru oma instrumentide desinfitseerimiseks, sest mitte kõik haigusttekitavad mikroorganismid ei hävi 100° juures, vaid nende hävitamiseks on vaja palju kõrgemat temperatuuri. Haiglates desinfitseeritakse kuuma auruga ülerõivaid, pesu, sidumismaterjale jne.

**Niisiis, mida kõrgem on rõhk, seda kõrgem on ka vedeliku keemistemperatuur.**

Alljärgnevas tabelis on toodud mõningaid andmeid vee keemistemperatuuri ja veeauru rõhu vahelise sõltuvuse kohta.



| Veeauru rõhk<br>atmosfäärides<br>(tehnilistes) | Vee keemis-<br>temperatuur<br>(C°) | Veeauru rõhk<br>atmosfäärides<br>(tehnilistes) | Vee keemis-<br>temperatuur<br>(C°) |
|------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|
| 0,006                                          | 0                                  | 3                                              | 132,9                              |
| 0,023                                          | 20                                 | 16                                             | 200,4                              |
| 0,012                                          | 50                                 | 180                                            | 335,3                              |
| 1                                              | 99,1                               | 218                                            | 374                                |
| 1,2                                            | 104,3                              | —                                              | —                                  |

### Harjutus 30.

1. Väga kõrgetes mägedes pole võimalik lahtises nõus liha pehmeks keeta. Miks?

2. Kuidas saab soojendada vett üle 200° ning kuidas ajada ta keema 50° juures?

3. Kirurgilisi instrumente steriliseeritakse erilistes aurukateldes, nn. meditsiinilistes autoklaavides 130°-st kõrgematel temperatuuridel. Kui suure rõhu all on aur nendes kateldes?

4. Auruveduri katlas on aur 16 at rõhu all. Milline on selle auru temperatuur?

5. Loomasööta aurutatakse ligikaudu temperatuuril 104°. Millisele väikseimale rõhule peab olema arvestatud söödaauruti katel?

6. Vesi keeb 16 at rõhu all. Kui palju peab tõstma vee temperatuuri, et ta hakkaks 180 at rõhu all uuesti keema?

7. Arvuta koormuse suurus, mis tuleb riputada aurukatla kaitseventiili korgile (joon. 89), kui ventiili avause läbilõike pindala on 2 cm<sup>2</sup>, auru rõhk katlas on 4 at ning kaitseventiili kangile mõjuvate jõudude õlgade suhe on 8 : 1.

### 64. AURUSTUMIS- JA KONDENSEERUMISSOOJUS.

1. **Aurustumissoojus.** § 61 kirjeldatud katses (joon. 86, b) keeb vesi niikaua, kui põleti põleb, s. t. niikaua, kui kulutatakse kütuse energiat. Niipea kui me põleti kustutame, lakkab ka vee keemine. Vee keemisel toimub vedeliku muundumine auruks. Järelikult, selleks et muuta vedelikku auruks temperatuuri tõstmata, on tarvis vedelikule anda teatud hulk soojust.

Kui vedelik hakkab keema rõhu vähenemise tõttu, nagu me seda nägime § 63 kirjeldatud katsetes, siis jahtub vedelik kiiresti. Vedeliku kiire jahtumise põhjus seisneb selles, et vedelik kulutab oma siseenergiat auramiseks.

**Aurustumissoojuseks nimetatakse soojushulka, mis kulub 1 g vedeliku aurustamiseks teataval jääval temperatuuril.**

Katsetega on tehtud kindlaks, et vee aurustumissoojus 100° juures on 539  $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$  ehk, teisiti, 1 g vee aurustamiseks 100° juures kulub 539 cal soojust.

Mõnede teiste ainete aurustumissoojused on antud alljärgnevas tabelis.

Mõnede vedelike aurustumissoojused keemistemperatuuril ja normaalsel rõhul.

$\left( \frac{\text{cal}}{\text{g}} \quad \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Vesi .....      | 539 |
| Ammoniaak ..... | 327 |
| Piiritus .....  | 204 |
| Eeter .....     | 84  |
| Elavhõbe .....  | 69  |

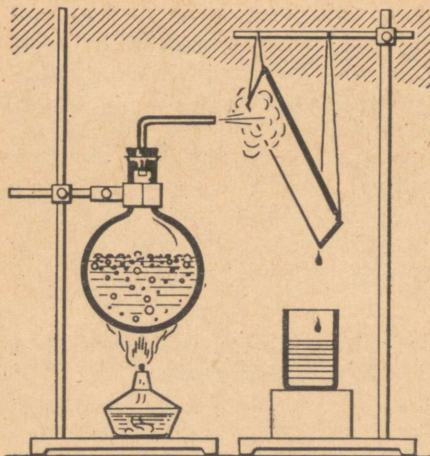
Aurustumissoojus näitab, kui palju suureneb 1 g aine energia tema aurustumisel jääval temperatuuril.

Nii vajatakse 1 g veeauru saamiseks 1 g veest 100° C juures 539 cal energiat.

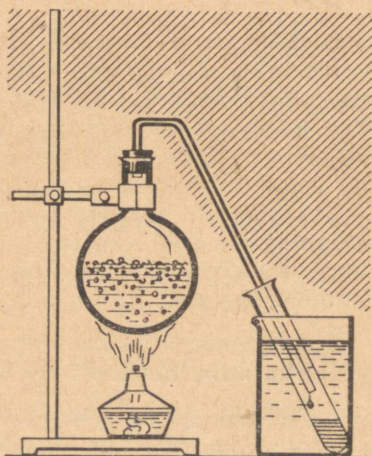
2. **Kondenseerumissoojus.** Kui veeauru juga suunata vastu külma eset (joon. 90), siis aur, puutudes kokku selle külma esmega, jahtub ja muutub veeks — kondenseerub.

Teeme järgmise katse. Kallame keeduklaasi külma vett ning paneme sellesse katseklaasi, millesse omakorda juhime kolvist veeauru (joon. 91). Näeme, et veeaur, sattudes katseklaasi, kondenseerub, keeduklaasis olev vesi aga soojeneb.

See katse näitab, et auru kondenseerumisel eraldub energiat.



Joon. 90.



Joon. 91.



Täpsed katsed näitavad, et auru kondenseerumisel eraldub nii-sama palju soojust, kui palju kulus selle auru tekkimisekski.

Järelikult, 1 g 100°-se veeauru kondenseerumisel sellesama temperatuuriga veeks väheneb auru energia 539 cal võrra.

Auru kondenseerumisel vabanevat energiat võib kasutada mitmesugusteks praktilisteks vajadusteks. Suurtes elektrijaamades soojendatakse turbiinides ärakasutatud auruga vett. Selliselt soojendatud vett kasutatakse aga hoonete küttesüsteemides, saunades, pesumajades ja paljudeks teisteks elutarbelisteks vajadusteks.

3. **Aurustumissoojuse sõltuvus temperatuurist.** Ühe ja sama vedeliku aurustumissoojus on erinevatel temperatuuridel erinev. Allpool on toodud tabel, mis näitab vee aurustumissoojuse sõltuvust temperatuurist.

| Temperatuur (°C)                                   | 0°  | 50° | 100° | 150° | 200° | 250° | 300° | 350° | 374° |
|----------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Aurustumissoojus ( $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ ) | 595 | 568 | 539  | 506  | 468  | 408  | 330  | 210  | 0    |

Tabelist nähtub, et vedeliku temperatuuri tõusmisel aurustumissoojus väheneb.

Mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda nõrgemini on vedeliku molekulid omavahel seotud ning seda vähem on vaja kulutada energiat vedeliku aurustamiseks. Sellega selgitataksegi aurustumissoojuse vähenemist temperatuuri tõusmisel.

### Harjutus 31.

1. Kuidas sellest aru saada, et vedela ammoniaagi kondenseerumissoojus on  $327 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ ?

2. Leheküljel 122 on toodud tabel mõnede ainete aurustumissoojuste kohta. Leia, millise aine siseenergia suureneb kõige rohkem. Selgita vastust.

3. Miks 100°-se temperatuuriga auru põletus on ohtlikum kui sama temperatuuriga vee põletus?

4. Kui palju soojust kulub 150 g 100°-se vee aurustamiseks?

5. Kui palju soojust kulub 5 kg 0°-se vee soojendamiseks 100°-ni ja siis selle vee aurustamiseks?

6. Kui palju energiat eraldab 1 kg auru, mille temperatuur on 100°, kui muuta see aur veeks ja jahutada saadud vesi 0°-ni? Väljenda see energia kilogramm-meetrites ja džaulides.

7. Külmutusseadmetes kasutatakse jää saamiseks vedelat ammoniaaki, mis aurustatakse. Kui palju ammoniaaki on tarvis aurustada, et muuta 10 kg vett, mille temperatuur on 20°, jääks 0° juures?

8. Radiaatoris kondenseerus 3 tunni jooksul veeks 6 kg 100°-st auru. Radiaatorist väljuva vee temperatuur oli 70°. Kui palju soojust (kalorites) sai tuba keskmiselt ühes tunnis?

9. Tänapäeval kasutatava aurukatla tootlikkus on 220 t auru tunnis. Kui palju peab saama katel tunnis soojust, kui arvestada, et 1 kg auru tekkimiseks kulub 807 kcal soojust? Kui palju naftat vajatakse katla kütmiseks, kui soojuskadu on 25%?

10. Aurukatlas tekib aur 16 at rõhu all. Mitu kilogrammi sellist auru võib saada, kui põletada küttekoldes 1 kg sütt, mille kütteväärtus on  $7500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ ? Soojuskadu on 20%. Puuduvad andmed võta tabelist.

11. Kui palju tuleb kulutada petrooleumi, et lumetükk, mille mass on 20 kg ja temperatuur  $-40^{\circ}\text{C}$ , muutuks veeks, mille temperatuur on  $100^{\circ}\text{C}$ , ja selle vee 1 kg muutuks auruks  $100^{\circ}\text{C}$  juures. Soojendaja kasutegur on 75%. Lume erisoojus on 0,4.



## SOOJUSMASINAD.

### 65. KÜTUSE ENERGIA MUUNDUMINE MEHHAANILISEKS ENERGIAKS.

Kütuse põlemisel võib saada küllalt suuri energiahulki. Kütuse energiat kasutatakse laialdaselt elektrienergia saamiseks, metallide sulatamiseks, klaasimassi keetmiseks, vee soojendamiseks mitmesugustes tööstuslikes seadmetes ja hoonete küttesüsteemides, toidu valmistamiseks jm.

Varem (§ 43) me veendusime, et kehade soojenemine võib toimuda ka hõõrdumisel, tagumisel või nende kuju muutumisel. Neil juhtumel toimub kehade soojenemine mehhaanilise energia arvel, mis muundub keha siseenergiaks.

Mehhaanilise energia üleminek keha siseenergiaks on üldise looduseaduse — energia jäävuse ja muundumise seaduse üheks erijuhtumiks.

Energia jäävuse ja muundumise seaduse põhjal toimub ka vastupidine protsess — keha siseenergia üleminek mehhaaniliseks energiaks.

Me juba vaatlesime mitmeid nähtusi, mille puhul toimub selline üleminek. Me vaatleme metallvarda soojenemisel või jahtumisel selle varda otste liikumist. Järelikult, varda siseenergia muundub tema liikuvate otste kineetiliseks energiaks. Samuti muutub termomeetri elavhõbedasamba kõrgus elavhõbeda temperatuuri muutumisel.

Vedelikus või gaasis toimub soojendamisel konvektsioon — tekivad voolused, mille tõttu vedelik või gaas seguneb.

Gaas või aur, mida soojendatakse kinnises katseklaasis, surub paisumisel korgi katseklaasi pealt ära (joon. 75).

Kõik need näited kinnitavad, et kehade soojuspaisumisel tehakse mehhaanilist tööd soojendamisel kehadele antava või kehade endi poolt äraantava siseenergia mehhaaniliseks energiaks muundumise arvel.

Et mehhaanilist tööd tehakse tõepoolest siseenergia arvel, on hästi näha § 44 kirjeldatud katsest (joon 78). Kui pudelis olev õhk teeb tööd pudeli pealt korgi ärälükkamisel, siis ta jahtub. Jahtumine toimubki seetõttu, et osa pudelis oleva õhu siseenergiast muundub mehhaaniliseks energiaks.

## 66. SOOJUSMASINAD.

**Soojusmasinateks** nimetatakse masinaid, mis muundavad kütuse energia mehhaaniliseks energiaks.

On olemas mitut liiki soojusmasinaid: aurumasin, sisepõlemismootor, auruturbiin, reaktiivmootor.

Aurumasin ja auruturbiin muundatakse kütuse energia mehhaaniliseks energiaks aurukateldest saadava kuuma veeauru abil. Sisepõlemismootorites ja reaktiivmootorites muundatakse aga kuumade gaaside siseenergia mehhaaniliseks energiaks. Kuumad gaasid tekivad kütuse (bensini, nafta, põleva gaasi jt.) põlemisel mootori sees.

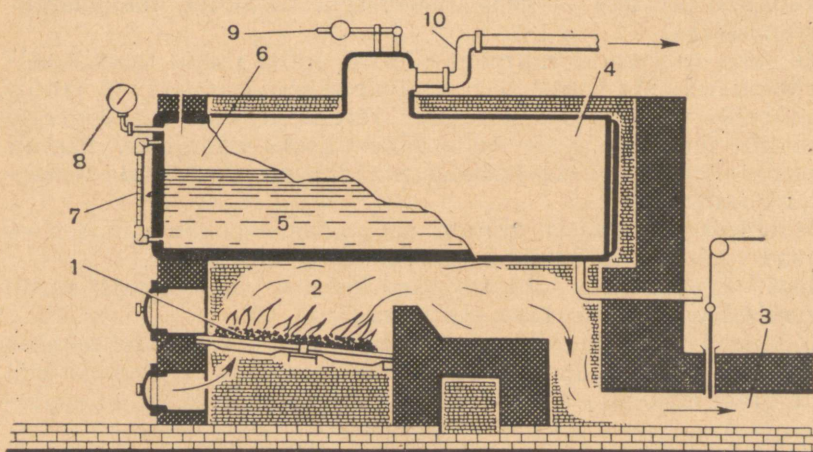
Soojusmasinas tööd tegevat keha (aur või gaas), nimetatakse **töötavaks kehaks**. Kütuse energia mehhaaniliseks energiaks muundumise protsessis töötav keha algul soojeneb, seejärel teeb tööd saadud soojushulga arvel ja seejuures jahtub.

## 67. AURUMASIN.

Aurumasin leiutati juba XVIII sajandil. Ta on üheks esimeseks soojusmasinaks. Vaatleme aurumasinat ehitust ja töötamise põhimõtet.

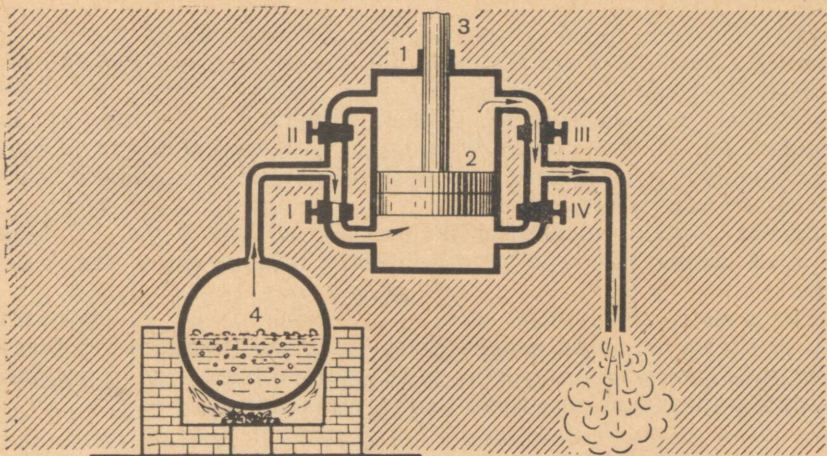
Töötavaks kehaks aurumasin on veeaur, mille rõhk on suurem atmosfääri rõhust. Sellist auru saadakse aurukatlast.

Joonisel 92 on kujutatud lihtsa aurukatla ehituse skeem. Auru-



Joon. 92. Lihtsaim aurukatel. 1 — põlev kütus; 2 — küttekolle; 3 — suitsulõõr siibriga; 4 — katel (teraslehtedest kinnine nõu); 5 — katlas olev vesi; 6 — ruum, kuhu koguneb aur; 7 — veemõõtja; 8 — manomeeter; 9 — kaitseventiil; 10 — aurujuhe.





Joon. 93. Lihtsaima aurumasina skeem. 1 — silinder; 2 — kolb; 3 — kolvi-  
vars; 4 — aurukatel. I, II — kraanid, mille abil suunatakse aur silindrisse;  
III, IV — kraanid, mille abil lastakse aur silindrist välja.

katla põhiosaks on kinnine tugev terasest paak, mille sisse on valatud vesi. Katla all on küttekolle.

Kui teha küttekoldesse tuli, siis hakkab katlas olev vesi soojenema ning tema pinnalt hakkab eralduma üha rohkem ja rohkem auru. Kuna auru hulk järjest suureneb, siis ka tema rõhk kasvab. Katlast saadava auru rõhk sõltub katla seinte paksusest. Tänapäeval kasutatavates kateldes ulatub auru rõhk katla seintele kuni

$$140 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Et auru rõhk ei purustaks katelt, on katla külge monteeritud kaitseventiil. Kaitseventiili koormuse kaal ja asend valitakse selline, et aur võiks katlale ohtliku rõhu puhul katlast väljuda.

Aurukatlast juhitakse aur aurumasinasse.

Aurumasina põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 93. Tõeliselt on aurumasinad ehitatud veidi teisiti, kui allpool selgitatud. Joonisel 93 kujutatud masina skeem aitab meil ainult paremini mõista tegeliku aurumasina töötamist.

Aurumasina põhiosaks on malmist või terasest silinder 1, milles tihedasti liigub kolb 2. Kolvi külge on kinnitatud vars 3, mida nimetatakse kolvivarreks.

Katlast võib auru silindrisse lasta kraanide I ja II abil ning silindrist välja kraanide III ja IV abil.

Kolvi liikumapanemiseks tuleb avada üks kraanidest, mis laseb auru silindrisse, näiteks kraan I. Aur tungib sel juhul silindri alumisse ossa ning hakkab avaldama kolvile survet alt üles. Et silindri



ülemises osas ei tekiks vastumõju, tuleb üheaegselt kraaniga *I* avada ka kraan *III*, mis ühendab silindri ülemist osa välisõhuga.

Selleks et panna kolbi liikuma vastupidises suunas (kui kolb on tõusnud juba üles), tuleb sulgeda kraanid *I* ja *III* ning avada kraanid *II* ja *IV*. Aur suundub nüüd katlast kraani *II* kaudu silindri ülemisse ossa, äratarvitatud aur väljub aga silindri alumisest osast kraani *IV* kaudu atmosfääri.

Avades eespool nimetatud järjekorras kraane *I* ja *III* ning *II* ja *IV*, võime panna kolvi vaheldumisi liikuma kord üles, kord alla.

Tehes kolvi nihutamisel tööd, aur silindris paisub ja seejuures jahtub, kuna osa tema siseenergiast läheb mehhaanilise töö tegemiseks. Silindrist väljuva äratarvitatud auru temperatuur on alati madalam kui aurul, mis tuleb katlast silindrisse.

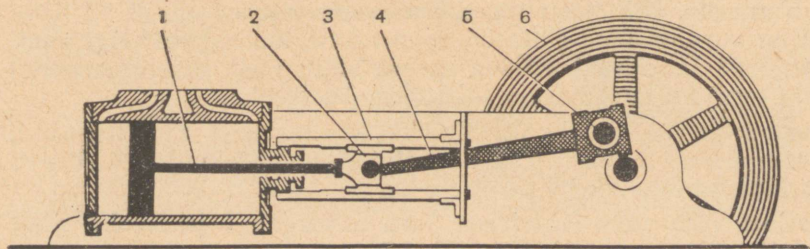
#### 68. KOLVI VAHELDUVASUUNALISE LIIKUMISE MUUTMINE VÖLLI PÖÖRLEVAKS LIIKUMISEKS.

Paisuva auru mõjul liigub kolb aurumasina silindris kord ühele, kord teisele poole. Kolvi sellist liikumist nimetatakse **vahelduvasuunaliseks liikumiseks**.

Kolvi sellist liikumist võib kasutada näiteks pumba või sepalöõtsa töölerakendamiseks (nii vanasti tehtigi). Tänapäeval kasutatakse aga masinate ja tööpinkide juures tavaliselt pöörlevat liikumist, sest seda on väga kerge üle kanda rihmale hammasrataste või mõne teise ülekandemehhanismi abil.

Selleks et muuta aurumasina kolvi vahelduvasuunalist liikumist pöörlevaks liikumiseks, kasutatakse joonisel 94 kujutatud mehhanismi.

Kolvivars *1* on ühendatud nihkuriga *2*, mis liigub edasi-tagasi juhtliistude *3* vahel. Need liistud ei lase nihkuril kalduda kõrvale sirgjoonelisest liikumisest ning hoiavad seega ära ka kolvi viltumineku silindris. Nihkur on liigendi ehk šarniiri abil ühendatud



Joon. 94. Aurumasina mehhanism vahelduvasuunalise liikumise muutmiseks pöörlevaks liikumiseks. *1* — kolvivars; *2* — nihkur; *3* — juhtliistud; *4* — keps; *5* — vääntvõll; *6* — hooratas.



kepsuga 4, mis annab liikumise edasi vääntvõllile 5. Võlli külge on kinnitatud raske hooratas, mille inertsitõttu võlli pöörlev liikumine omandab vajaliku ühtluse. Kui hooratas puuduks, siis võlli pöörlemine võiks katkeda kolvi äärmiste asendite puhul, siis kui kolvivars ja keps asetsevad ühel ning samal sirgel. Nendes asendites, mida on hakatud nimetama «surnud seisuks», ei saa kolb panna vääntvõlli pöörlema. Pöörlev hooratas aitab aga masina nendest surnud seisudest välja.

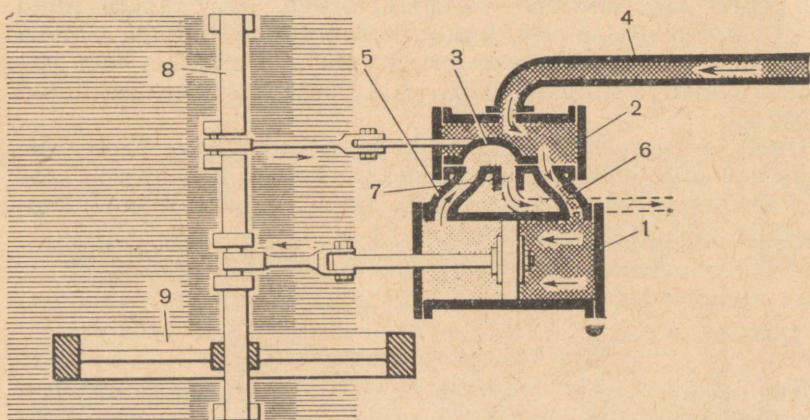
## 69. AUTOMAATNE AURUJAOTAMINE.

§ 67 kirjeldatud aurumasin, mis auru sisse- ja väljalaskmise reguleerimiseks on varustatud kraanidega, praktiliseks kasutamiseks ei sobi, sest käsitsi on lihtsalt võimatu avada ja sulgeda nii kiiresti ja üheaegselt kraane, kui tarvis. Sellest tingituna leiutati juba ammu seadis auru automaatseks jaotamiseks, s. o. masin ise avab ja suleb vajalikul momendil auru sisse- ja väljalaskeklapid.

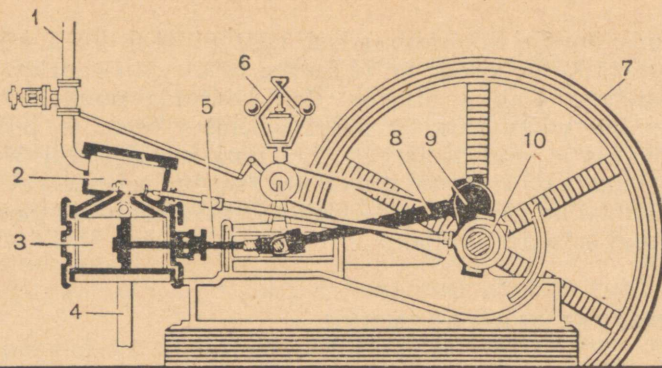
Vaatleme kõige levinuma automaatse aurujaotaja ehitust.

Kolvi 1 külge (joon. 95) on kinnitatud nõndanimetatud siibrikarp 2, mille sees liigub erilise kujuga keha — siiber 3. Aurukatlast tuleb aur toru 4 kaudu siibrikarpi. Siibrikarp on kahe kanali abil (5 ja 6) ühendatud aurusilindriga. Nende kahe kanali vahel on kanal 7, mille kaudu pääseb aur silindrist välja.

Siiber on ehitatud selliselt, et ükskõik millise asendi puhul avab ta ühe kahest silindrisse minevast kanalist (joonisel on ava-



Joon. 95. Aurumasin silinder ja siibrikarp. 1 — aurumasin silinder; 2 — siibrikarp; 3 — siiber; 4 — aurujuhe; 5 ja 6 — silindrit siibrikarbiga ühendavad kanalid; 7 — auru väljalaske kanal; 8 — vääntvõlli väänt; 9 — hooratas.



Joon. 96. Aurumasin osade paigutus. 1 — aurujuhe; 2 — aurusiiber; 3 — silinder; 4 — äratarvitatud auru juhe; 5 — kolvivars; 6 — regulaator; 7 — hooratas; 8 — keps; 9 — väntvõlli vänt; 10 — ekstsentrisk siibri liikumapanemiseks.

tud parempoolne kanal). Teine selline kanal (joonisel vasakpoolne) ühendatakse aga siibri all oleva õone abil väljalaskekanaliga.

Kui lasta aur siibrikarpi, siis läheb ta parempoolse kanali kaudu silindri parempoolsesse ossa ja surub kolvi vasakule. Silindri vasakpoolne osa on samal ajal ühendatud väljalasketoruga. Auru rõhu mõjul hakkab kolb liikuma ning paneb liikuma ka väntvõlli 8. Seejuures siiber, mis on teise väntmehhanismi abil ühendatud võlliga, liigub paremale, avab vasakpoolse kanali, parempoolse aga ühendab väljalasketoruga. Aur tungib nüüd silindri vasakpoolsesse ossa, äratarvitatud aur väljub aga silindri parempoolsest osast väljalasketoru kaudu. Aurumasin völl jätkab pöörlemist ja nihutab siibri jälle vasakule, nagu kujutatud joonisel 95.

Selliselt — siibri abil — toimubki auru automaatne jaotamine. Aurumasin vöib töötada suure kiirusega, kuid siiber, mis on seotud pöörleva võlliga, laseb regulaarselt (vajalikel momentidel) auru silindrisse ja sealt jälle välja.

Töötava aurumasin osade paigutus on kujutatud joonisel 96.

## 70. KONDENSAATOR.

Aurumasin silindrist vöib äratarvitatud auru lasta vahetult õhku. Kuid see ei ole mitmel põhjusel kasulik. Peamine neist on see, et silindri osas, mis on ühendatud väliskeskkonnaga, ei ole vöimalik sel juhul saada atmosfääri rõhust madalamat rõhku. Kolvil, mis lükkab äratarvitatud auru silindrist välja, tuleb ületada see rõhk.

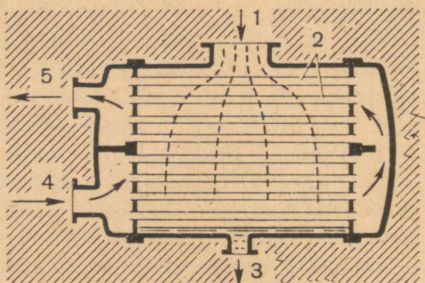


Selleks et alandada äratarvitatud auru rõhku, on aurumasinad varustatud kondensaatoritega.

Kondensaator on suur reservuaar, mille sees on torude süsteem (joon. 97). Mööda torusid voolab kogu aeg külm vesi.

Äratarvitatud aur siseneb kondensaatorisse ava 1 kaudu. Kondensaatoris puutub aur kokku torude välispindadega 2, jahtub ja muundub veeks (kondenseerub). Kondenseerumisel väheneb auru ruumala tunduvalt. Selle tulemusena on kondensaatoris rõhk atmosfääri rõhust madalam. Vesi (kondenseerunud aur) juhitakse kondensaatorist välja toru 3 kaudu.

Joon. 97. Aurumasinna kondensaatori läbilõige. 1 — kondensaatori silindriga ühendav aurujuhe; 2 — torud, mida mööda ringleb külm vesi; 3 — toru kondenseerunud auru ärajuhtimiseks; 4 ja 5 — külma vee sisse- ja väljavoolutorud.



Mida madalam temperatuur on kondensaatoris, seda madalam on temas ka rõhk. Kolb, mis surub äratarvitatud auru kondensaatorisse, kulutab sel juhul vähem energiat selle auru rõhu ületamiseks. Järelikult, kondensaatori kasutamine võimaldab tõsta masina võimsust.

## 71. SOOJUSMASINA KASUTEGUR.

Iga soojusmasin muundab mehhaaniliseks energiaks ainult ühe osa sellest energiast, mida sisaldab kütus. Suurem osa kütuse energiast kulub kasutult, kaob ümbritsevasse ruumi.

Soojusmasina poolt kasulikuks tööks muundatud energiahulga suhet kogu energiahulgasse, mis saadi kütuse põlemisel, nimetatakse soojusmasina kasuteguriks. Harilikult väljendatakse soojusmasina kasutegur protsentides.

Vaatleme, millest sõltub aurumasinna kasutegur.

Parimates kaasaegsetes aurukateldes läheb kuni 95% kütuse energiast üle auru energiaks, ülejäänud 5% kulub aga tõmbe tekitamiseks, lendub suitsuga, kaob kütuse mittetäieliku põlemise ja ümbritseva õhu soojenemise tõttu. Teel katlast masina töötava osani ja masinas endas aur jahtub, mistõttu ta kaotab 7% oma energiast. Kõige suurem soojushulk — 60—70% — kandub ära-

tarvitatud auruga kondensaatorisse, kus ta soojendab külma vett. Ligikaudu 1% energiast kulub masinaosade omavahelise hõõrdumise ületamiseks.

Kasulikuks tööks läheb seega vähem kui 20% kütuse energiast.

Kondensaatorita aurumasina kasutegur on aga veelgi väiksem, sest sel korral tuleb silindrist lasta välja aur, mille temperatuur on palju kõrgem.

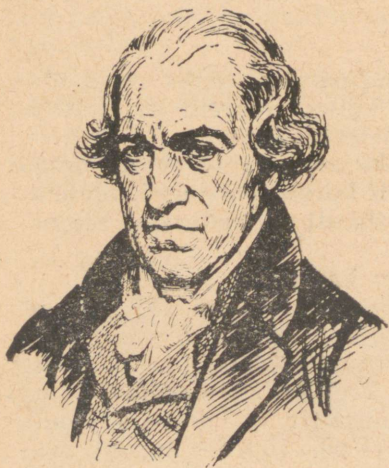
## 72. AURUMASINA LEIUTAMISE JA RAKENDAMISE AJALOOST.

Paljude sajandite vältel kasutati masinate (veskite, pumpade jt.) käimapanemiseks tuule või voolava vee energiat. Kuid juba XVII sajandi lõpul vajas Euroopa üha arenev tööstus suurema võimsusega jõuallikat, mis ei sõltuks ilmastikust ega vesiratta ehitamiseks sobiva jõe asukohast. Ja selline jõuallikas leiutati. See oli aurumasin, mida võis paigaldada mistahes kohta ning käima panna igal ajal.

Esimeste aurumasinate kasutegur oli väiksem kui 1%. Need aurumasinad ei tekitanud pöörlevat liikumist ja neid kasutati peamiselt kaevandustest vee väljapumpamiseks. Algul ei tuntud automaatset aurujaotajat, auru sisse- ja väljalaskmine toimus vastava töölise poolt käsitsi.

XVIII sajandil täiustasid aurumasinat I. I. Polzunov Venemaal ja J. Watt Inglismaal.

Ivan Ivanovitš Polzunov, väljapaistev vene soojustehnik, lõpetas mäemeistrite kooli ja töötas algul Uraalis, seejärel aga Altais kõrgahjude juures meistrina. Nähes ebatäiuslikke veejõumasinaid, mida kasutati õhupuhumislootsade käimapanemiseks, seadis Pol-



**James Watt (1736—1819)** — silmapaistev inglise õpetlane, leiutaja. Kuni Wattini kasutati aurumasinaid ainult veepumpade käimapanemiseks. Watt rekonstrueeris aurumasinat: eraldas kondensaatori silindrist, võttis kasutusele automaatse aurujaotaja, varustas aurumasinat hooratta ja tsentrifugaalregulaatoriga. Watti aurumasin sai tol ajajärgul põhiliseks tööstuslikuks jõumasinaks.



zunov endale ülesandeks konstrueerida ja ehitada aurumasin. 1766. aastaks oli selline masin valmis. Selle masina põhiosadeks olid aurukatel ja kaks silindrit kolbidega. Polzunovi aurumasinas võeti esimest korda kasutusele ka automaatne aurujaotaja. Selleks olid klapid, mis lasksid auru vaheldumisi kord ühte või teise silindrisse. Klapid pani tegevusse aurumasin ise. Kettide ja rataste abil kanti kolvi liikumine üle õhupuhumislöötsale.

Haigus ja raske töö mürdsid Polzunovi tervise ning ta suri 16. mail 1766. aastal, mõned päevad enne oma masina käikulaskmist. Kuna pärast Polzunovi surma ei olnud kedagi, kes oleks parandanud rikkeid masina mehhanismis, siis jäi masin hiljem seisma, heideti kõrvale ning unustati.

I. I. Polzunovi nimi jääb aukohale aurumasinade arengu ajaloos: ta ehitas esimese aurumasin, mis rahuldab tööstuse nõudeid.

18 aastat pärast I. I. Polzunovi surma, 1784. aastal ehitas inglise mehhaanik James Watt veelgi täiuslikuma aurumasin. Sellel masinal oli juba siibrikarp ja kondensaator.

Töötades ülikooli töökojas Glasgow' linnas, Watt samaaegselt ka õppis ning omandas laialdased teadmised füüsikast ja matemaatikast. Kõik see võimaldas tal leida ja kõrvaldada puudused, mis esinesid enne teda loodud aurumasinade juures, ja luua selline masin, mille peamised osad pole tänapäevani peaaegu üldse muutunud.

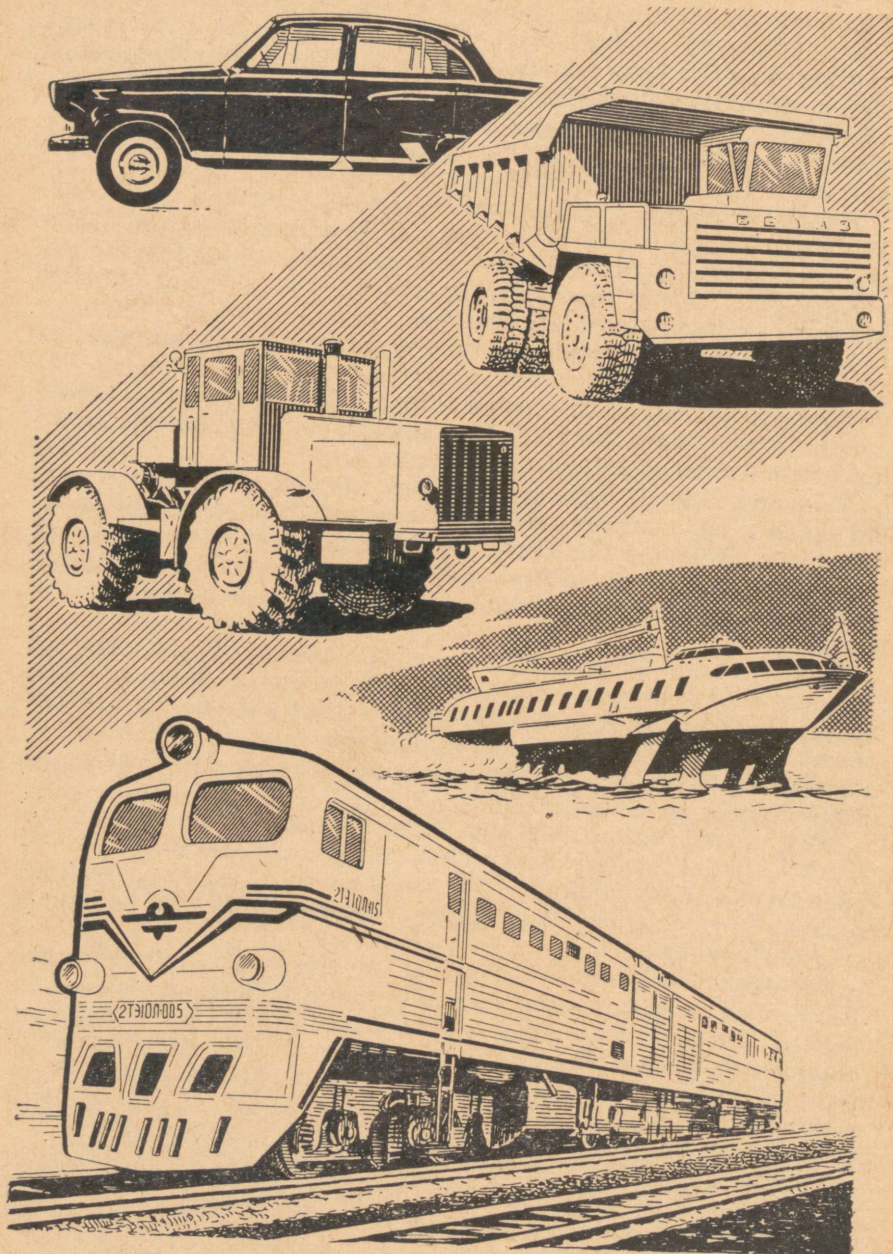
XIX sajandil kohandati aurumasin transpordi vajadusteks. Esimese auraveduri, mis oli tehniliselt täiesti kasutamiskõlblik, ehitas Inglismaal 1814. aastal George Stephenson. Mõnevõrra varem (1807. a.) monteeris ameerika leiutaja Robert Fulton aurumasin laevale. Nii saadi esimene aurik. See aurik pandi liikuma kahe ratta abil.

1834. aastal ehitati Uraalis Nižni Tagilis Venemaa esimene raudtee. Sellel raudteel kasutatava auraveduri ehitasid kohaliku mäetööstuse mehhaanikud Tšerepanovid (isa ja poeg). Tšerepanovite auravedurit võib lugeda Venemaa esimeseks kodumaiseks auraveduriks.

Tänapäeval ei kasutata aurumasinaid enam nii palju kui varem. Tänu laialdasele elektrifitseerimisele töötavad tehaste masinad ja tööpingid nüüd elektrimootorite abil. Aurumasinat kasutatakse tänapäeval veel ainult aurikutel ja auraveduritel. Kuid ka auravedurid asendatakse üha rohkem ja rohkem mootorvedurite ja elektriveduritega, aurikud aga mootorlaevadega. Mootorvedurite ja -laevade jõuallikaks on sisepõlemismootorid (joon. 98).

Väikese võimsusega aurujõumasinaid, lokomotiive kasutatakse mõnikord veel põllumajanduses ja metsatööstuses. Kütusena kasutatakse lokomotiivides metsatööstuse ja põllumajanduse jäätmeid.





Joon. 98.



### 73. SISEPÕLEMISMOTOR.

Kõige levinumaks soojusmasinaks on sisepõlemismootor. See jõumasina liik sai oma nimetuse sellest, et nendes põleb kütus otse silindris, mootori enda sees.

Sisepõlemismootorid töötavad kas vedelkütustega (bensiin, petroluum, nafta) või põlevgaasidega.

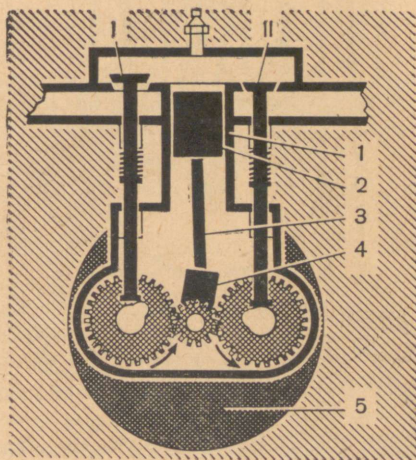
Sellise mootori silindris toimub perioodiliselt küttesegu, bensiiniaurude ja õhu põlemine. Küttesegu moodustub erilises seadeldises, mida nimetatakse karburaatoriks. Lühikese aja vältel tõuseb gaasiliste põlemisproduktide temperatuur 1600—1800°-ni. Seejuures tõuseb järsult gaaside rõhk kolvile.

Paisudes tõukavad kuumad gaasid kolbi, tehes mehhaanilist tööd. Seejuures aga gaasid tunduvalt jahtuvad, sest osa oma sise-energiast kulutavad nad töö tegemiseks.

Joonisel 99 on antud sisepõlemismootori läbilõige. Mootor koosneb silindrist 1, milles liigub kolb 2. Kolb on ühendatud kepsu 3 abil vāntvōlliga 4. Vōlli külge on kinnitatud raske hooratas 5. Silindri ülemises osas on kaks klappi I ja II, mis mootori töötamise ajal vajalikel momentidel automaatselt avanevad ja sulguvad. Klapi II kaudu siseneb karburaatorist silindrisse küttesegu, klapi I kaudu aga väljuvad silindrist põlemissaadused.

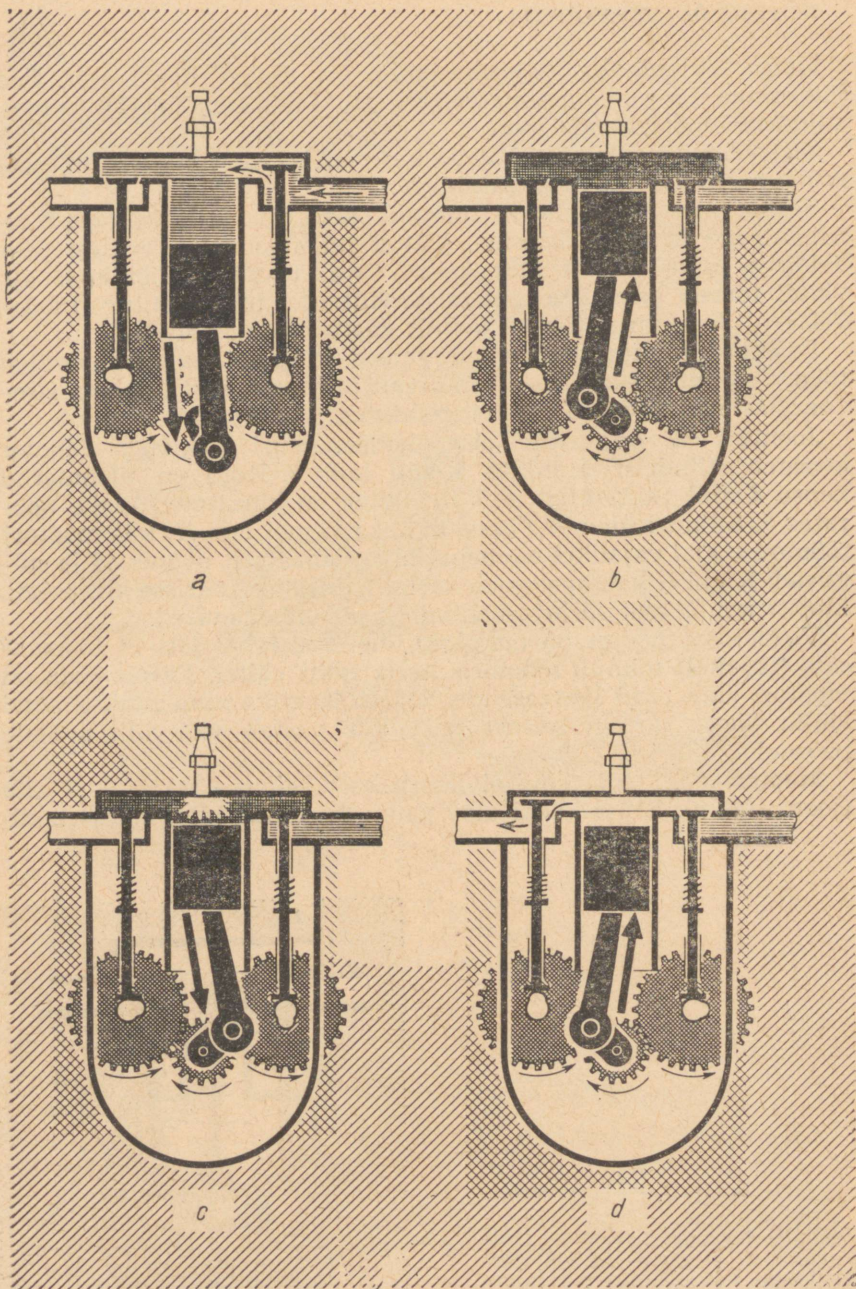
Vaadeldav mootor on neljataktiline. See tähendab, et tööprotsess (tsükkel) toimub mootoris nelja takti vātel. Pärast seda on mootori kõik osad lähteasendis tagasi. Taktiks nimetatakse kolvi käiku ühest surnud seisust teise, mis vastab vāntvōlli poolele pōördele.

Mootori vōlli pōördumisel liigub kolb esimese takti algul alla (joon. 100, a). Kolvi kohal olev ruum suureneb ning kolvis tekib



Joon. 99. Sisepõlemismootori läbilõige. I, II — sisse- ja väljalaskeklapid; 1 — silinder; 2 — kolb; 3 — keps; 4 — vāntvōll; 5 — hooratas.





Joon. 100. Neljataktilise sisepõlemismootori töö.



hõrendus. Samal ajal avaneb klapp *II* ja silindrisse tungib küttesegu. Takti lõpul on silinder täidetud kütteseguga. Klapp *II* sulgub.

Võlli edasisel pöördumisel liigub kolb üles (joon. 100, *b*) ja surub küttesegu kokku. Teise takti lõpul, kui kolb on liikunud ülemisse surnud seisuga, tekib põlemiskambris (silindri ülemises osas) elektrisäde, mis süütab kokkusurutud küttesegu. Küttesegu süttib ja plahvatab.

Küttesegu põlemisel tekkinud gaasid rõhuvad kolvile ja lükavad selle alla. Kolvi liikumine kandub üle kepsule ja selle kaudu omakorda hoorattaga vāntvõllile (joon. 100, *c*).

Kolvi liikumine põlemisel tekkivate gaaside mõjul toimub kolmanda takti ajal. Selle takti vāltel teeb mootor tööd. Seepärast nimetatakse kolmandat takti ka töötaktiks.

Kolmanda takti lõpul avaneb klapp *I* ning selle kaudu väljuvad põlemisproduktid õhku.

Põlemisproduktide väljumine jätkub ka neljanda takti jooksul, mil kolb liigub üles (joon. 100, *d*). Neljanda takti lõpul klapp *I* sulgub.

Hooratta inertsiga tõttu jätkab vōll pōörlemist ja viib kolvi uuesti alla. Avaneb klapp *II* ja silindrisse tungib uus kogus küttesegu. Algab mootori uue töötsükli esimene takt.

Niisiis, mootori tsükkel koosneb neljast järgmisest protsessist, mis toimuvad igaüks ühe takti jooksul.

**Sisseimemine.** Kolb liigub alla ja tekitab silindri sees hõrenduse. Sisselaskeklapp avaneb. Küttesegu tungib silindrisse.

**Kokkusurumine.** Kolb liigub üles ja surub küttesegu kokku. Mõlemad klapid on seejuures kinni. Survetakti lõpul toimub küttesegu süütamine elektrisādemega.

**Töötakt.** Segu süttimisel tekkinud gaasid rõhuvad kolvile ja panevad selle liikuma alla. Sellega panevad nad aga ka vāntvōlli pōörlema.

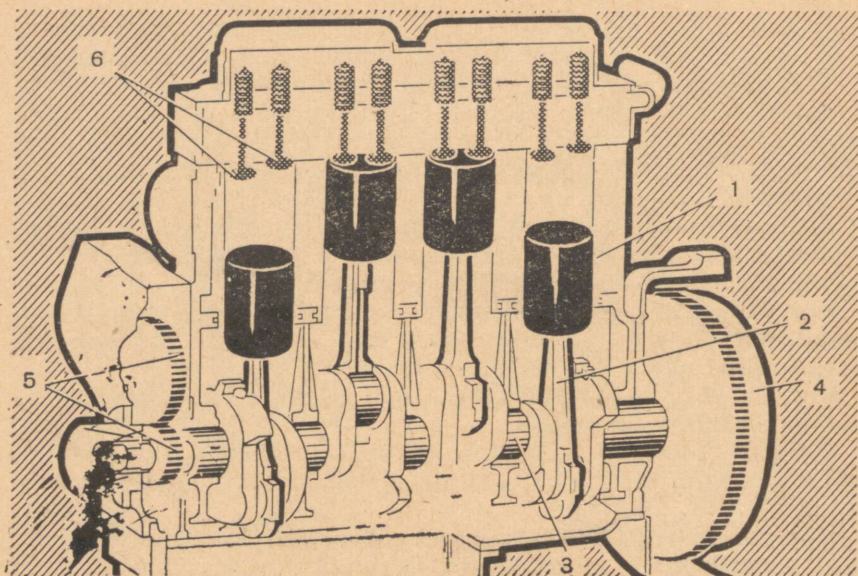
**Väljalase.** Kolb liigub üles. Avaneb väljalaskeklapp ja põlemisproduktid lükatakse silindrist välja.

Mootori käivitamiseks tuleb tema vōll panna kahe esimese takti vāltel mingi välisjōu mõjul liikuma. Seda vōib teha spetsiaalse vānda vōi starteri — elektrimootori — abil. Alates kolmandast taktist hakkab mootor töötama iseseisvalt. Edaspidi toimuvad kõik ettevalmistavad taktid (neljas, esimene ja teine) pōörleva hooratta energia arvel.

Kirjeldataud tüüpi sisepōlemismootoris on hoorattal täita vāga tähtis osa. Ta mitte ainult ei aita mootorit surnud seisust välja, vaid paneb kolvi liikuma ka ettevalmistavate taktide ajal.

Kuna mootori vōlli kahe pōörde jooksul saab hoorattas energiat juurde ainult ühe poolpōörde vāltel, siis on loomulik, et vōlli pōörlemine ei toimu ühtlaselt. Et mootor töötaks ühtlasemalt, ehitatakse ta mitme silindriga, kõige sagedamini nelja silindriga — taktide arvu järgi. Joonisel 101 on toodud neljasilindrilise sise-





Joon. 101. Neljataktilise sisepõlemismootori läbilõige. 1 — kolb; 2 — keps; 3 — vääntvõll; 4 — hooratas; 5 — hammasratas liikumise ülekandmiseks; 6 — sisse- ja väljalaskeklapid.

põlemismootori läbilõige. Silindrite töö reguleeritakse selliselt, et nad teeksid oma töökäigud kõik üksteise järel ja vääntvõll saaks kogu aeg ühelt kolvilt energiat.

Sisepõlemismootorite kasutamismõimalused on erakordselt laiad. Nad panevad liikuma autosid, traktoreid, mootorvedureid ja mootorlaevu (joon. 98).

#### 74. SISEPÕLEMISMOOTORI EELISED.

Seetõttu et töötav keha põleb sisepõlemismootorites vahetult masina töötavas osas, on energiakaod väliskeskkonda nende mootorite juures väiksemad kui aurumasinate juures. Täiesti on kõrvaldatud aga energiakaod, mis on iseloomulikud aurukatlate, nimelt kaod tõmbe tekitamiseks küttekoldes jm. Peale selle on sisepõlemismootoris gaaside temperatuur töötakti algul tunduvalt kõrgem (1600—1800°) kui auru temperatuur aurukatlas (300—400°).

Tänu sellele on sisepõlemismootori kasutegur tunduvalt suurem kui aurukatla kasutegur, ulatudes 25%-st 40%-ni (olenevalt mootorite tüübist).



Aurukatla puudumine teeb sisepõlemismootori sama võimsusega aurumasinast märksa kergemaks.

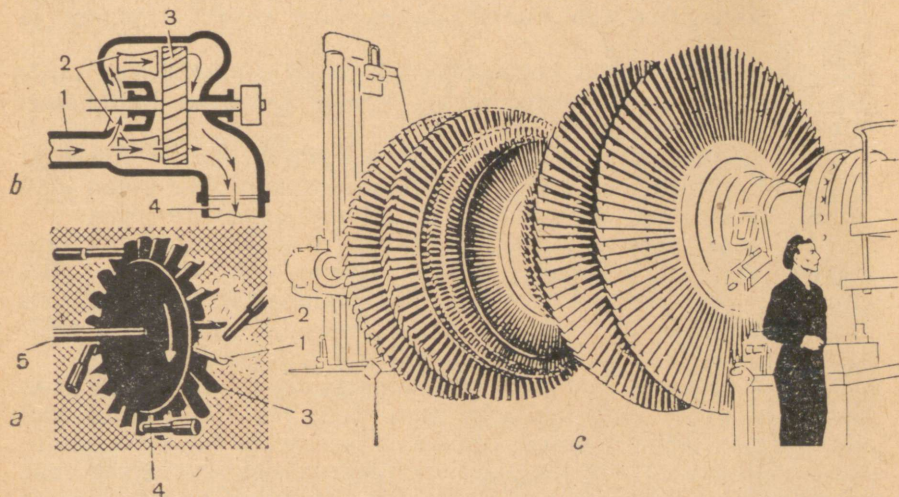
Väike kaal ja suur võimsus võimaldasid kohaldada sisepõlemismootorit autode ja, mis eriti tähtis, lennukite jaoks. Viimasel ajal on aga lennunduses hakatud sisepõlemismootoreid asendama veelgi ökonoomsemate reaktiivmootoritega.

## 75. AURUTURBIIN.

Tänapäeval kasutatakse tehnikas laialdaselt soojusmasinaid, kus aur või kuum gaas paneb jõumasina võlli pöörlema kolvi, kepsu ja vāntvõlli vahendusega. Selliseid soojusmasinaid nimetatakse **turbiinideks**.

Lihtsaima auruturbiini töötamise skeem on toodud joonisel 102, a. Võllile 5 on asetatud ketas 4, mille pöiale on kinnitatud labidad 3. Labidate vastas asetsevad laienevad torud — düüsid 2, kuhu tuleb katlast aur 1. Düüsidest aur paisub ja väljub nendest suure kiirusega. Aurujoad, mis väljuvad düüsidest, avaldavad labidatele suurt rõhku ja panevad turbiini ketta kiiresti pöörlema.

Ühe töörataga turbiini (skeem on antud joonisel 102, b) puuduseks on väga suur pöörlemiskiirus — 30 tuhat ja enamgi pöört minutis. Jõumasinaid, mille võll teeb nii palju pöördeid, kasutatakse harva.



Joon. 102. a) Auruturbiini töötamise skeem: düüsidest (2) väljuv aur (1) surub turbiiniketta labidatele (3) ja paneb sellega ketta (4) pöörlema. b) Turbiini põhiosade paigutus: 1 — aurujuhe; 2 — düüsid; 3 — ketas labidatega; 4 — toru, mida mööda äratarvitatud aur läheb kondensaatorisse. c) Võimsa turbiini rootor.



Kaasaegsetes turbiinides kasutatakse mitte ühte, vaid mitut ühisele võllile kinnitatud ketast. Aur läheb järjest kõigi ketaste labidate vahelt läbi ja annab neist igaühele osa oma energiast. Äratarvitatud aur suunatakse kondensaatorisse, kus ta veeldub. Sellise turbiini võlli pöörlemiskiirus on ligikaudu 3000 pööret minutis. See lubab kasutada neid turbiine elektrigeneraatorite pöörlema panemiseks soojuselektrijaamades. Auruturbiine kui võimsaid jõuallikaid kasutatakse peamiselt elektrijaamades. Meie tehastes toodetakse auruturbiine võimsusega kuni 300 000 kW, projekteeritakse aga juba turbiine võimsusega 500 000 kW. Sellised turbiinid töötavad auruga, mille rõhk ületab 100 at ja temperatuur 600°.

Vahelduvasuunaliselt liikuvate osade puudumine auruturbiinis ja võlli pöörlemise suur kiirus on vaadeldud tüüpi soojusmasinate suureks eeliseks. Auruturbiini kasutegur võib tõusta kuni 25 %-ni. Turbiini võlli pöörlemise suur sujuvus ja ühtlus võimaldab turbiine kasutada pika aja vältel, ilma et nad vajaksid remonti. Paljudes meie maa elektrijaamades töötavad turbiinid pidevalt tööd katkestamata aasta ja rohkemgi.

## 76. VEDELIKU- VÕI GAASIJOA REAKTSIOON.

Tänapäeval kasutatakse tehnikas laialdaselt reaktiivmootoreid. Selliste mootorite abil pannakse liikuma võimsad raketid, mille abil lastakse üles Maa kunstlikke kaaslasid, kosmilisi jaamu ja laevu.

Reaktiivmootori töö põhineb mehhaanika põhiseadusel, mille järgi kahele teineteist mõjutavale kehale mõjuvad kummalegi jõud: mõju ja vastumõju.

Mõju ja vastumõju on oma suuruse poolest alati võrdsed ja mõjuvad üht ning sama sirget mööda vastassuundades. Need jõud sunnivad teineteist mõjutavaid kehi liikuma erinevale poole.

Vaatleme järgmist katset. Kinnitame statiivi külge kummitoruga lehtri ja tõmbame kummitoru teise otsa kõverale, täisnurga all painutatud klaastorule. Kui valada lehtrisse vett, siis hakkab ta klaastorust välja voolama. Seejuures kaldub kummitoru kõrvale vastupidiselt veejoa väljavoolu suunale.

Kui veeosakesed liiguvad toru kõveras osas, siis mõjub nendele toru seinte poolt tekitatud jõud. Selle jõu mõjul muudavad veeosakesed oma liikumise suunda. Veeosakeste liikumine muutub vertikaalsest horisontaalseks. Veeosakesed avaldavad aga omalt poolt jõudu toru seintele. Selle jõu suund on vastupidine veeosakeste liikumise suunale. See jõud kallutabki kummitoru algasendist kõrvale.

Jõudu, mis kallutab antud katses kummitoru kõrvale, nimetatakse väljavoolava joa reaktsiooniks.

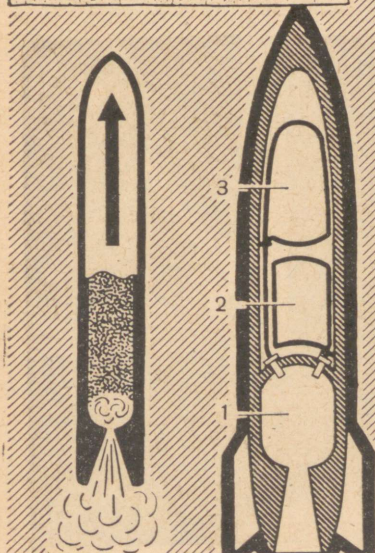
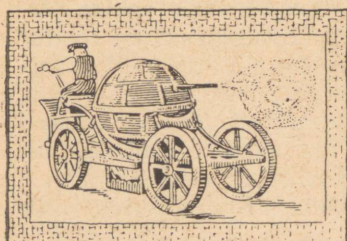


Väljavoolava vedeliku- või gaasijoa reaktsioon võib panna liikuma mistahes keha. Näiteks Segneri ratas pöörleb kõveratest torudest välja voolavate vedelikujugade reaktsiooni tõttu.

Gaasijoa reaktsiooni võib hästi jälgida laste õhupalli juures. Kui lasta gaasil vabalt väljuda palli avast, lendab pall suunda, mis on vastupidine gaasijoa suunale.

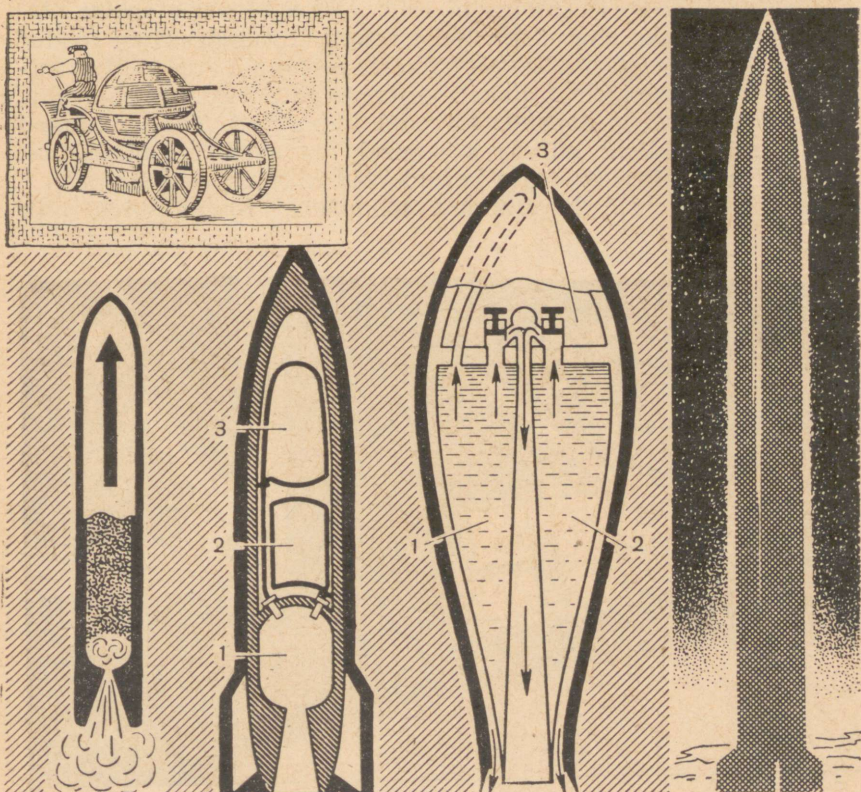
## 77. REAKTIIVMOOTOR.

Lihtsaimaks reaktiivmootoriks on harilik püssirohurakett (joon. 103). Püssirohu põlemisel moodustub palju gaase, mis joana väljuvad raketi avast (düüsist). Selle tulemusena tekib joa reaktsioon — reaktiivjõud, mis tõukabki raketti edasi.



Joon. 103.

Joon. 104.



Joon. 105.



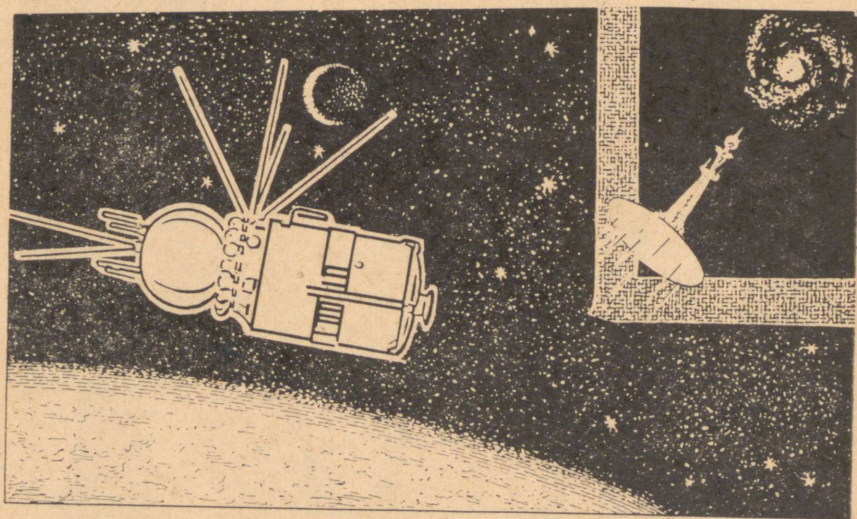
Samasugune on põhiliselt ka kaasaegsete raketide ehitus, ainult et püssirohu asemel (püssirohu kütteväärtus pole kuigi suur) kasutatakse teisi, suurema kütteväärtusega kütuste liike.

Vaatleme vedelkütustel töötavate raketide ehitust (joon. 104).

Raketi kesta sisse paigutatakse paagid kütusega (põlevaine 3 ja hapendajaga 2), näiteks piirituse ja lämmastikhappega. Mööda torusid suunduvad need ained põlemiskambrisse 1, kus toimub nendevaheline keemiline reaktsioon suure soojushulga eraldumisega. Kõrge temperatuurini kuumenenud gaasitaolised põlemisproduktid väljuvad suure kiirusega düüsidest, tekitades võimsa reaktiivjõu. Sellist tüüpi reaktiivmootoreid nimetatakse vedelkütus-reaktiivmootoreiks. Seda tüüpi reaktiivmootorid tagavad raketide lennu ka õhuta ruumis, sest neil on kütuse põletamiseks endal kaasas hapendaja.

Üks esimesi, kes tegi ettepaneku kasutada reaktiivliikumist lendudeks kosmosesse, oli kuulus vene teadlane K. E. Tsiolkovski (1857—1935). Tsiolkovski töötas esimesena teaduslikult läbi reaktiivliikumise teooria ja 1903. a. projekteeris raketi planeetidevahelisteks lendudeks. Selle raketi ehitusskeem on toodud joonisel 105. Voolujoonelise metallkesta esiosa oli ette nähtud inimestele ja aparaatidele 3. Raketi keskosas paiknesid aga põlevaine (vedel vesinik) 2 ja hapendaja (vedel hapnik) 1 varud. Kuumad gaasid, mis tekivad kütuse põlemisel, lendavad põlemiskambri düüsidest suure kiirusega välja ja tõukavad raketti vastassuunas.

Reaktiivmootoreid kasutatakse tänapäeval lennunduses väga



Joon. 106. Kosmoselaev «Vostok».



palju, kuid nende ehitus on märksa keerulisem. Lendudeks atmosfääris pole vajadust hapendaja järele, sest kütuse põletamiseks võib kasutada õhu hapnikku. Paljud meie lennukid on varustatud reaktiivmootoritega, nende seas ka õhuhiiqlane TU-104.

Reaktiivmootorite rakendamisel lennunduses ja raketitehnikas ning kosmoselendude alal on Nõukogude Liit esimesel kohal maailmas.

Meie maal lasti **4. oktoobril 1957. aastal** esimesena maailmas välja Maa kunstlik kaaslane, mis oli nõukogude teaduse ja tehnika väljapaistvaks saavutuseks.

Edaspidi lasti meie maal edukalt välja seeria kosmilisi rakette. Üks rakettidest viis Nõukogude Liidu vimpli Kuu pinnale. Seejärel lendus spetsiaalne kosmiline jaam ümber Kuu ja pildistas Kuu nähtamatut külge. Ülesvõtted aga saadeti raadio teel edasi Maale.

Maa kunstlike kaaslaste loomise ja nende väljasaatmiste kogemuste alusel ehtasid nõukogude teadlased ja konstruktorid kosmilised laevad, mille abil võis sooritada lende kosmosesse ja seejärel maanduda ettenähtud kohta maakeral.

12. aprillil 1961. aastal sai esmakordselt inimkonna ajaloos teoks inimese lend kosmosesse. Nõukogude Liidus saadeti välja kosmoselaev «Vostok», mille piloodiks oli Nõukogude Liidu kanglane lendur-kosmonaut J. A. G a g a r i n.

See päev läheb igaveseks inimkonna ajalukku kui kosmose alistamise ajastu algus, kui nõukogude rahva loova geeniuse triumfi päev.

Läheb veel mõni aeg ja saab teoks inimese kauaaegne unistus — lennata Kuule ja teistele planeetidele. On täiesti reaalne, et keegi teist, praegustest kooliõpilastest, on nende esimeste reisijate hulgas, kes planeetidevahelise kosmoselaeva pardal lendavad Marsile või Veenusele!

# VASTUSEID.

- Harjutus 3. 1.  $\approx 16,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 2.  $\approx 2 \text{ km}$ . 3.  $\approx 16 \text{ km}$ .
- Harjutus 4. 1.  $8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $3,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 2.  $11,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 3.  $11,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . 4.  $3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- Harjutus 5. 2. 0,3. 3. 7,5 T. 4. 4375 kG.
- Harjutus 10. 3. 0,5 kG, vertikaalselt alla.
- Harjutus 12. 1. 0,075 kGm. 2. 24 000 kGm. 3. 125 000 kGm. 4. 36 kGm.  
5. 750 kGm. 7. 54 kGm. 9. 4500 kGm.
- Harjutus 13. 1. 1 224 000 kGm. 2. 10 kW. 3. 0,2 hj. 4. 40 s. 6.  $\approx 0,07 \text{ hj}$ .  
7. 28 kW; 25 700 kW.
- Harjutus 15. 6. a) kang ei jää tasakaalu; b) kang jääb tasakaalu.  
7.  $\approx 11 \text{ kG}$ . 8. 417 kG.
- Harjutus 16. 2. 224 kGm. 6. 10 kG. 7. 2,5 kG; 5 cm.
- Harjutus 17. 2. 2,4 kG. 3. 5 kG; 20 kG; 0,15 m.
- Harjutus 18. 1. 60 kGm; 3 kG. 2. 120 kG; 6000 kGm.
- Harjutus 19. 3. 625 mm. 4. 80.
- Harjutus 20. 4. 50 000 kGm.
- Harjutus 23. 5. 5 kg. 8.  $\approx 90,4 \text{ kcal}$ . 9.  $5,4^\circ \text{C}$ . 10.  $\Theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$ . 12.  $32,3^\circ \text{C}$ .
- Harjutus 25. 1.  $\approx 42\%$ . 2.  $\approx 77 \text{ g}$ . 3.  $\approx 33 \text{ g}$ .
- Harjutus 27. 2. 315 cal. 5. 2,5 kg. 7.  $\approx 113 \text{ g}$ . 8. 192 720 kcal.
- Harjutus 30. 7. 1 kG.
- Harjutus 31. 5.  $\approx 3200 \text{ kcal}$ . 6. 272 853 kGm; 2 673 959 J. 7.  $\approx 3,1 \text{ kg}$ .  
8.  $\approx 1140 \text{ kcal}$ . 9.  $\approx 22,5 \text{ t}$ . 10.  $\approx 13 \text{ kg}$ .



## SISUKORD

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Algteadmisi mehhaanikast</b> .....                                               | 3  |
| 1. Mehhaaniline liikumine .....                                                     | 3  |
| 2. Kehade kulgev ja pöörlev liikumine .....                                         | 4  |
| 3. Ühtlane ja mitteühtlane sirgjooneline liikumine .....                            | 9  |
| 4. Aja mõõtmine .....                                                               | 10 |
| 5. Ühtlase liikumise kiirus. Kiiruse ühikud .....                                   | 12 |
| 6. Mitteühtlase liikumise keskmine kiirus .....                                     | 15 |
| 7. Hõrdejõud .....                                                                  | 17 |
| 8. Hõrdetegur .....                                                                 | 19 |
| 9. Laboratoorne töö nr. 1. Hõrdeteguri määramine (puu mööda puud)                   | 21 |
| 10. Hõrdejõu suurendamise ja vähendamise viisid. Kuul- ja rull-<br>laagrid .....    | 22 |
| 11. Inerts .....                                                                    | 25 |
| 12. Kuidas võib saada ühtlast sirgjoonelist liikumist .....                         | 28 |
| 13. Mõju ja vastumõju .....                                                         | 29 |
| 14. Keha mass. Tihedus .....                                                        | 31 |
| <b>Jõudude liitmine. Kehade tasakaal</b> .....                                      | 36 |
| 15. Jõudude liitmine. Resultantjõud .....                                           | 36 |
| 16. Kahe ühel sirgel mõjuva jõu liitmine .....                                      | 36 |
| 17. Raskuskese .....                                                                | 39 |
| 18. Laboratoorne töö nr. 2. Tasapinnaliste kujundite raskuskeskme<br>leidmine ..... | 41 |
| 19. Tasakaalu liigid .....                                                          | 41 |
| 20. Pinnale toetuvate kehade tasakaal .....                                         | 43 |
| <b>Töö ja energia. Mehhanismid</b> .....                                            | 47 |
| 21. Mehhaaniline energia .....                                                      | 47 |
| 22. Töö suurus. Tööühikud .....                                                     | 47 |
| 23. Võimsus. Võimsusühikud .....                                                    | 49 |
| 24. Kang. Jõu õlg .....                                                             | 52 |
| 25. Jõumoment. Jõudude tasakaal kangil .....                                        | 54 |
| 26. Kas kangide kasutamisel võidetakse töös? .....                                  | 56 |
| 27. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus .....                           | 57 |

|                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 28. Liikumatu plokk .....                                                                                     | 61         |
| 29. Liikuv plokk .....                                                                                        | 63         |
| 30. Laboratoorne töö nr. 3. Jõudude tasakaalu tingimused kangil ja plokil .....                               | 66         |
| 31. Pöör .....                                                                                                | 68         |
| 32. Mehhaanika «kuldreegel». Mehhanismi kasutegur .....                                                       | 70         |
| 33. Kaldpind .....                                                                                            | 70         |
| 34. Laboratoorne töö nr. 4. Kaldpinna kasuteguri määramine .....                                              | 72         |
| 35. Pöörleva liikumise kiirus .....                                                                           | 73         |
| 36. Rihm- ja hammasülekanne .....                                                                             | 74         |
| 37. Lihtmehhanismide kasutamisest masinates .....                                                             | 78         |
| 38. Kehade potentsiaalne ja kineetiline energia .....                                                         | 79         |
| 39. Ühe mehhaanilise energia liigi muundumine teiseks .....                                                   | 81         |
| 40. Veejõumasinad .....                                                                                       | 83         |
| 41. Tuulejõumasinad .....                                                                                     | 85         |
| 42. Tööde mehhaniseerimine .....                                                                              | 86         |
| <b>Soojus ja töö .....</b>                                                                                    | <b>88</b>  |
| 43. Kehade soojenemine hõõrdumisel, tagumisel ja soojusülekanne korral .....                                  | 88         |
| 44. Kehade siseenergia. Soojushulk .....                                                                      | 90         |
| 45. Soojushulga ühikud .....                                                                                  | 92         |
| 46. Aine erisoojus .....                                                                                      | 93         |
| 47. Keha soojenemiseks vajaliku või jahtumisel eralduva soojushulga arvutamine .....                          | 95         |
| 48. Laboratoorne töö nr. 5. Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segunemise puhul ..... | 98         |
| 49. Kütuse energia. Kütteväärtus .....                                                                        | 99         |
| 50. Soojendaja kasutegur .....                                                                                | 100        |
| 51. Laboratoorne töö nr. 6. Soojendaja kasuteguri määramine .....                                             | 100        |
| 52. Tööühiku ja soojushulga ühiku vaheline seos .....                                                         | 101        |
| 53. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides .....                     | 102        |
| 54. Päike kui Maa peamine energiaallikas .....                                                                | 104        |
| <b>Aine üleminek ühest agregaatolekust teise .....</b>                                                        | <b>106</b> |
| 55. Kristallilised ja amorfised kehad .....                                                                   | 106        |
| 56. Kristalliliste ainete sulamine ja tahkestumine .....                                                      | 106        |
| 57. Laboratoorne töö nr. 7. Naftaliini soojendamise ja sulamise jälgimine .....                               | 107        |
| 58. Sulamis- ja kristalliseerumissoojus .....                                                                 | 110        |
| 59. Sulamid ja nende kasutamine tehnikas .....                                                                | 112        |
| 60. Aurumine ja kondensatsioon .....                                                                          | 113        |
| 61. Keemine .....                                                                                             | 116        |
| 62. Laboratoorne töö nr. 8. Vee vaatlemine tema soojendamisel ja keemisel .....                               | 118        |
| 63. Keemistemperatuuri sõltuvus rõhust .....                                                                  | 118        |
| 64. Aurustumis- ja kondensatsioonissoojus .....                                                               | 121        |



|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Soojusmasinad</b> .....                                                           | 125 |
| 65. Kütuse energia muundumine mehhaaniliseks energiaks .....                         | 125 |
| 66. Soojusmasinad .....                                                              | 126 |
| 67. Aurumasin .....                                                                  | 126 |
| 68. Kolvi vahelduvasuunalise liikumise muundumine võlli pöörlevaks liikumiseks ..... | 128 |
| 69. Automaatne aurujaotamine .....                                                   | 129 |
| 70. Kondensaator .....                                                               | 130 |
| 71. Soojusmasina kasutegur .....                                                     | 131 |
| 72. Aurumagina leiutamise ja rakendamise ajaloost .....                              | 132 |
| 73. Sisepõlemismootor .....                                                          | 135 |
| 74. Sisepõlemismootorite eelised .....                                               | 138 |
| 75. Auruturbiin .....                                                                | 139 |
| 76. Vedeliku- või gaasijoa reaktsioon .....                                          | 140 |
| 77. Reaktiivmootor .....                                                             | 141 |
| Vastuseid .....                                                                      | 144 |

Александр Васильевич Пёрышкин, Евгений Яковлевич Минченков, Вильгельм Вильгельмович Крауклис, Георгий Константинович Карпинский.  
Физика для 7 класса. Издание 5-е. На эстонском языке. Перевел с русского К. Калласте.  
Художественное оформление С. Лийберг. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja E. Toivere.  
Korrektor S. Kõiv

Laduda antud 22. XII 1967. Trükkida antud 4. III 1968. Paber 60 · 90/16. Trükipaber nr. 3 —  
M. Gorki nim. Paberivabrik nr. 1 — Leningrad. Trükipoognaid 9,25. Arvestuspoognaid 9,26.  
Trükiarv 9500. Tellimise nr. 3755. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn, Pikk t. 54/58. Hind 17 kop.



A

29050

72206

17 kop.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00457307 9