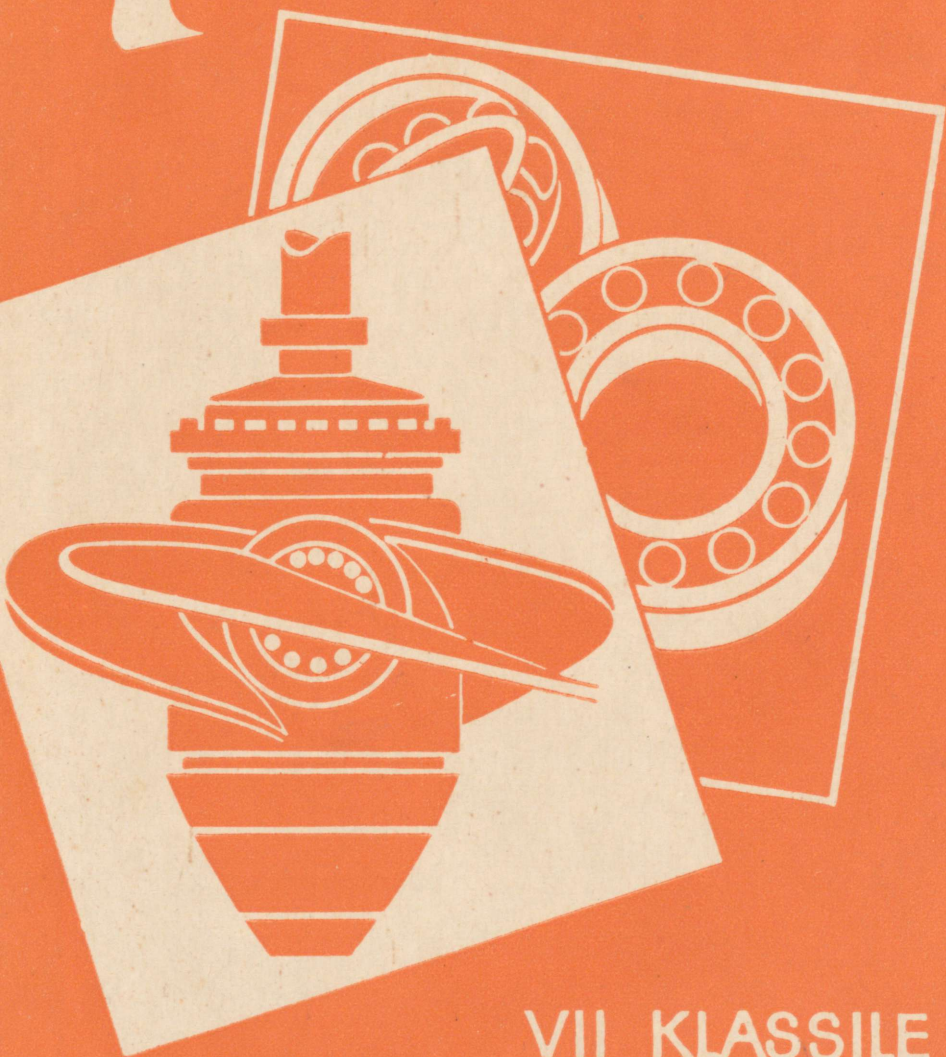


Füüsika



VII KLASSILE

A-26145

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

FÜÜSIKA

VII KLASSILE

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

TALLINN 1965

Originaali tiitel:

А. В. Пёрышкин, Е. Я. Минченков, В. В. Крауклис,
Б. К. Карпинский. Физика. Учебник для 7 класса.
Под редакцией Е. Я. Минченкова и А. В. Пёрышкина.
Издание шестое.
Утверждён

Министерством просвещения РСФСР.
Издательство «Просвещение».
Москва 1965.

Tõlkinud K. Kallaste.

Kaane kujundus S. Liiberg.

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt.

RAAMATUKOBU

I PEATUKK.

ALGTEADMISI MEHHAANIKAST.

§ 1. Mehhaaniline liikumine.

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

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

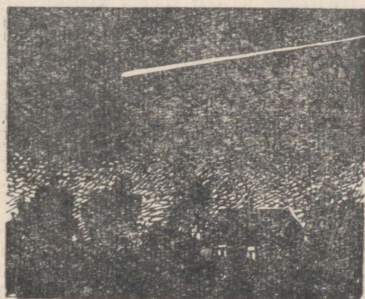
Kui me kõneleme mingi keha mehhaanilisest liikumisest, siis mõistame alati selle all tema nihkumist teiste kehade suhtes. Enamasti vaatleme kehade liikumist maapinna ja seal asetsevate liikumatute esemete: hoonete, puude, postide jne. suhtes.

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.

Järelikult, mehhaaniliseks liikumiseks nimetatakse mingi keha asukoha muutumist teiste kehade suhtes.



Joon. 1. Kriiditüki liikumise trajektor.



Joon. 2. Meteoriid jätab oma liikumisel taevavõlvile helendava jälje.



Joon. 3. Mäelt laskuv suusataja jätab enda järele jäljed.

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

Kui tõmbame kriidiga klassi-tahvlile mingi joone, siis see joon on kriiditüki liikumise trajektoorigs (joon. 1).

Nähtava trajektoori — he-lendava jälje — jätab öösel taevavõlvile meteoriit (joon. 2) või valgustusrakett.

Sõltuvalt trajektoori kujust võib liikumine olla kas sirg-jooneline või kõverjoo-neline.

Liikumisel läbib keha teatud kindla ajavahemiku vältel kindla vahemaa.

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

Joonisel 3 on näha suusajäljed, mille jätab enda järele tüdruk, kes laseb suuskadega mäest alla. Vahemaa OA, mis on möõdetud möõda suusajälgi, on võrdne suusataja poolt läbitud teega mäest allalaskumiseks kuluva ajavahemiku jooksul.

§ 2. Kehade kulgev ja pöõrlev liikumine.

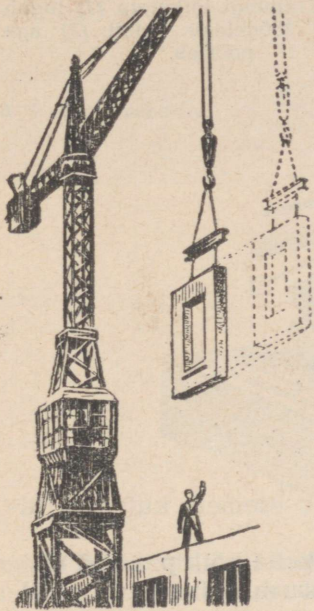
Kehade liikumine võib olla vägagi mitmesugune. Näiteks erineb auto kere liikumine tema rataste liikumisest. Rattad pöõrlevad, kere aga pöõrlevast liikumisest osa ei võta.

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

Kehade liikumise põõhiviisideks on **kulgev ja pöõrlev liikumine**.

Vaatleme neid liikumisi eraldi.

Kulgeva liikumise näideteks võiks olla kraana abil tõõstetava



koormuse liikumine (joon. 4), kasti tõstmine laualt, esemete liikumine transportöörilindil (joon. 5), lõiketera liikumine piki treipingi keret (joon. 6), hõõvli ja käsisaie liikumine töötamisel ning paljud teised liikumised.

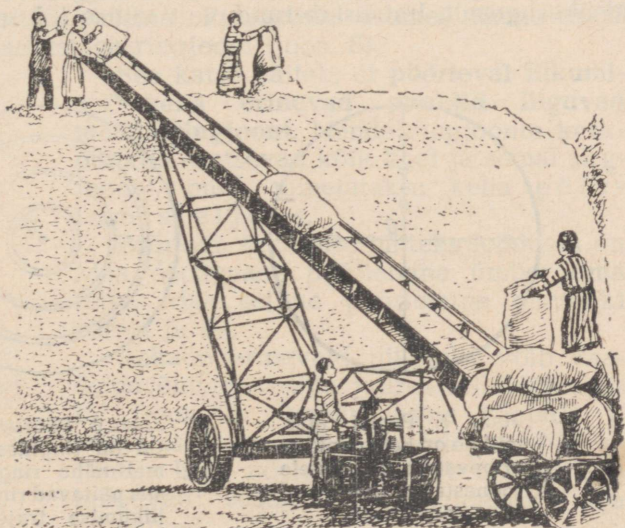
Vaatleme nüüd kulgeva liikumise tunnuseid.

Need tunnused ilmnevad kõige paremini kraana abil tõstetava koormuse liikumise juures (joon. 4).

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

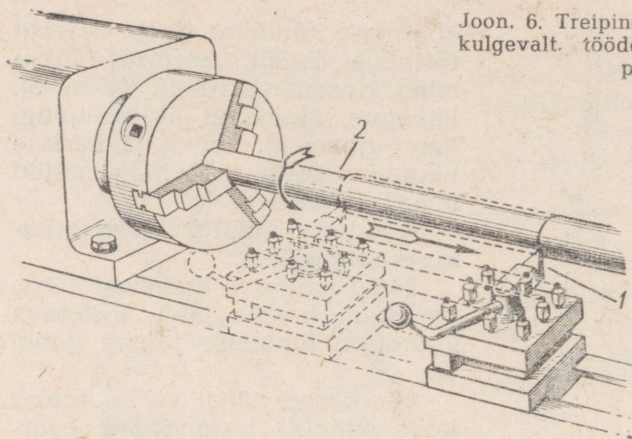
Neid tunnuseid võib kergesti leida mistahes keha, rongi, kon-

Joon. 4. Kraana abil tõstetav koormus liigub kulgevalt.



Joon. 5. Puuvillakotid liiguvad transportöörilindil kulgevalt.

Joon. 6. Treipingi lõiketera (1) liigub kulgevalt. töödeldav detail (2) aga pöörleb.

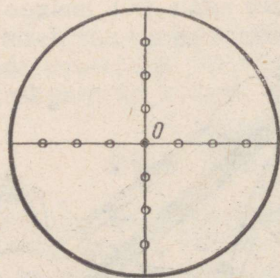


veieri lindil olevate esemete, hõvli, sae jt. esemete kulgeval liikumisel.

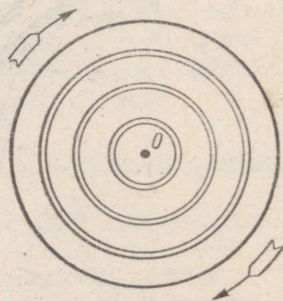
Seega, kulgeval liikumisel kujundavad keha kõik punktid ühesugused trajektorid ja läbivad ühe ning sama ajavahemiku vältel võrdsed teosed.

Kcha 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 pedaale sõtkudes.

Asjaolu, et kulgeva liikumise puhul liiguvad keha kõik punktid ühesuguselt, lihtsustab tunduvalt sellise liikumise tundmaõppi-

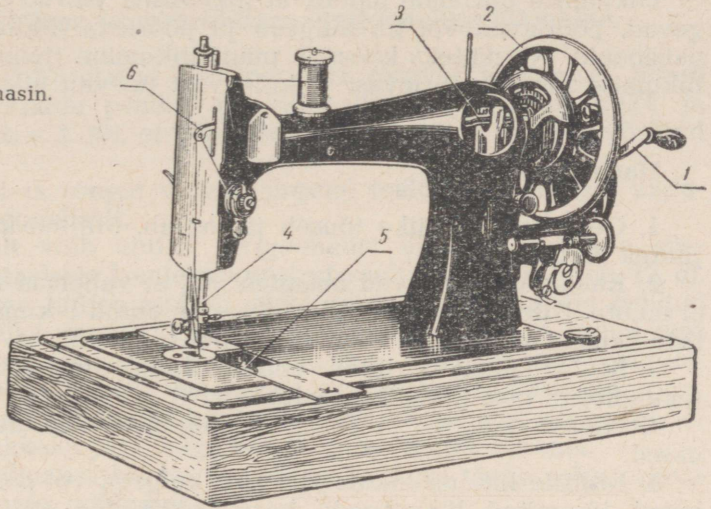


Joon. 7. Papist ratas, millele on keskpunktist erinevatele kaugustele joonestatud väikesed ringikesed.



Joon. 8. Pöörleval ratas on ringikeste asemel näha ringjooned, mis näitavad ringikeste liikumise trajektore.

Joon. 9. Õmblusmasin.



mist. Tarvitseb vaid õppida tundma keha mingi ühe punkti liikumist, et otsustada juba kogu keha liikumise üle.

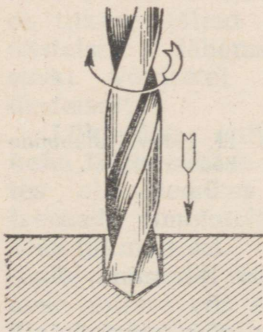
Autode, vagunite ja vankrite rattad, lennukite propellerid, aurikute kruvid, masinate hoorattad ja võllid töötades **pöörlevad**. Treipingi lõiketera liigub treimise juures kulgevalt, töödeldav detail aga pöörleb (joon. 6).

Et leida pöörleva liikumise iseärasusi, teeme järgmise katse. Võtame papist väljalõigatud ratta, millele on joonestatud keskpunktist erinevatele kaugustele väikesed ringikesed (joon. 7), ja paneme selle kiiresti pöörlema. Ringikeste asemel näeme nüüd rattal erinevate raadiustega ringjooni (joon. 8).

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.

Kehade erinevaid liikumisi võib vaadelda õmblusmasina juures selle töötamisel (joon. 9). Õmblusmasina käepide 1, hooratas 2 ja võll 3 pöörlevad. Nõelajuhtija koos nõelaga 4 liigub üles ja alla kulgevalt; süstik 5 ja niiditõmbaja 6 aga võnguvad.



Joon. 10. Puuri pöörlev ja kulgev liikumine.

Liikumiste uurimine näitab, et liikumised võivad olla kas kulgevad, pöörlevad või ka kulgeva ja pöörleva liikumise kombinatsioonid. Nii näiteks koosneb puuri liikumine (joon. 10) kahest liikumise liigist: pöörlevast ja kulgevast (ülevalt alla).

Harjutus 1.

1. Öeldakse, et Päike tõuseb ja loojub. Milline keha on see juures 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.

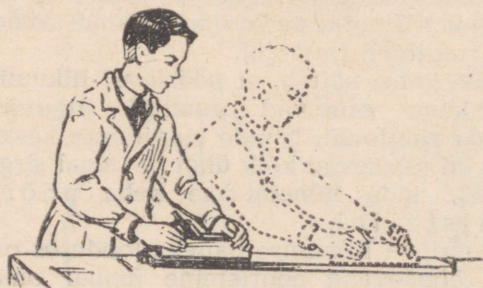
3. Millist joont kujutab endast kella tunni-, minuti- või sekundiosuti otsa liikumise trajektoor?

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, kae-vust väljatõstetava ämbri liikumine, ventilaatori tiiviku liikumine?

6. Too ise näiteid kehade kulgeva ja pöörleva liikumise kohta.

7. Joonisel 11 on kujutatud hõövli kaks asendit töö juures. Milline on hõövli liikumine hõõveldamisel?



Joon. 11. Hõövli 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 mehhaanikatöökogas 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 vankrikese abil (joon. 12, a).

Laua serva küljes asetseb väike ratas, millest on üle pandud niit. Niidi üks ots on kinnitatud vankrikese 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.

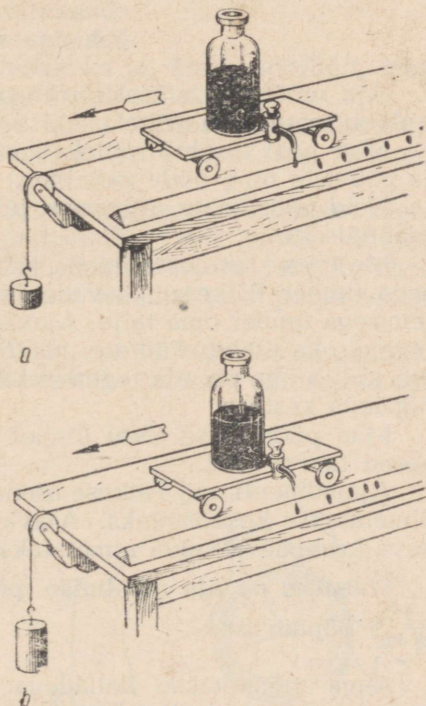
Avame tilgutaja kraani ja paneme väikese tõuke mõjul vankrikese liikuma. Tilgutajast võrdsete ajavahemike järel langevad tilgad jätavad paberilindile oma jäljed (joon. 12, a).

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

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

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

Et otsustada mingi liikumise ühtluse või ebaühtluse üle, tuleb mõõta võrdsetes ajavahemikes läbitud teosad. Kui näiteks mingi keha läbib liikuma hakates esimese minuti jooksul 100 m,



Joon. 12. Katsed vankrikese ja tilgutajaga: a — vankrike liigub ühtlaselt; b — vankrike liigub mitteühtlaselt.

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. 12, 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 teesad.

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

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

§ 4. Aja mõõtmine.

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

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

Neid nähtusi on inimesed juba ammust ajast kasutanud aja mõõtmiseks.

Me teame, et aastaegade 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. Sekund on $\frac{1}{86\,400}$ ööpäevast.

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

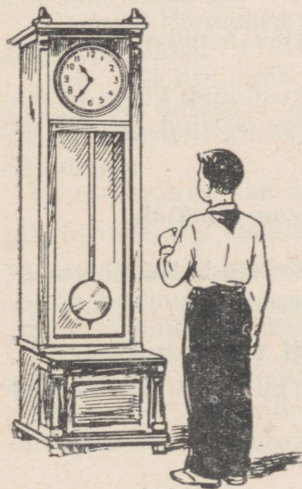
Lihtsaimaks pendliks on niidi otsa riputatud kuulike (joon. 13, a). Rahulikus asendis või, nagu öeldakse, t a s a k a a l u a s e n -

dis on pendel vertikaalne. Viimase pendli kuulikese tasakaaluasendist vasakule ja laseme siis käest lahti (joon. 13, b). 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.

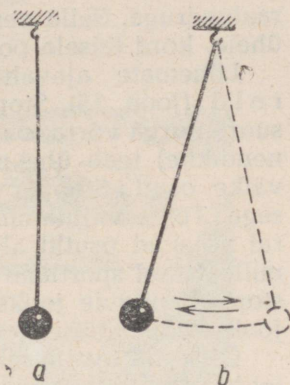
Juba itaalia õpetlane Galileo Galilei (1564—1642) märkas, et pendli igaks liikumiseks ühest äärmisest asendist teise kulub ühepalju aega.

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 sek. vältel, nimetatakse sekundpendlikuks. Sekundpendli pikkus on umbes meeter (joon. 14).



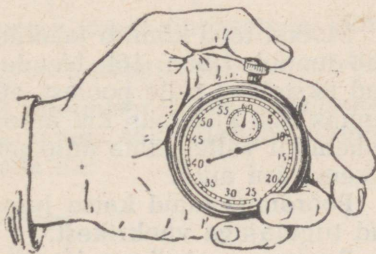
Joon. 14. Sekundpendliga kell.



Joon. 13. Lihtsaimaks pendlik on niidi otsa riputatud kuulike (a); b — pendli võnkumine.

Seinakellades kasutatakse sageli sekundpendlist neli korda lühemat pendlit. Selline pendel liigub ühest äärmisest asendist teise poole sekundiga.

Tasku- ja käekellades on pendlik väike rattake, mis on varustatud spi-



Joon. 15. Stopper.

raalvedruga. Selle pendli rattake võngub samuti, pööreldes kord ühele, kord teisele poole.

Lühemate ajavahemike mõõtmiseks kasutatakse stoppereid (joon. 15). 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 vajutamise-ga. 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 Moskvas. Nende kellade käiku kontrollitakse regulaarselt taevatähtede näiva liikumise järgi.

Harjutus 2.

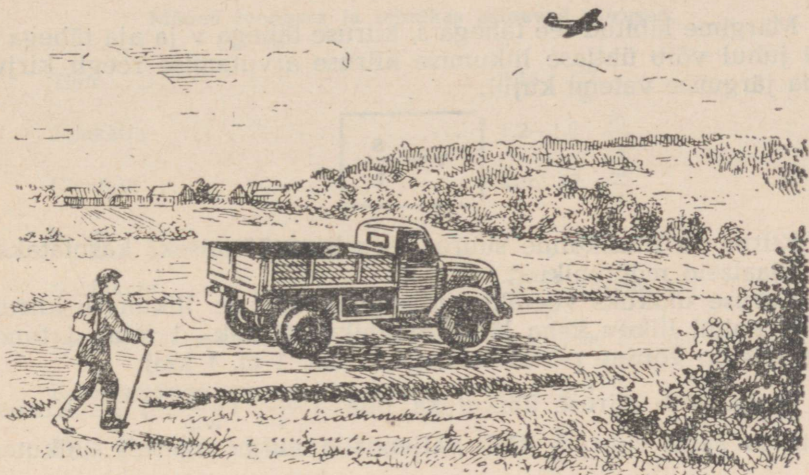
1. Too näiteid niisuguste kehade kohta, mis liiguvad Maa suhtes; mis ei liigu Maa suhtes.
2. Too näide ühtlase sirgjoonelise liikumise kohta.
3. Kas hõõvli, sae või viiliga töötamisel on nende liikumine ühtlane või mitte?
4. Leia mingi lihtne meetod võrdsete ajavahemike määramiseks.
5. Valmista pendel nii, et riputa 1 m pikkuse niidi külge kaaluviht 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 lendab lennuk (joon. 16). 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. 16. Inimene, auto ja lennuk liiguvad erinevate kiirustega.

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

Vankrikese 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 vankrikese 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.

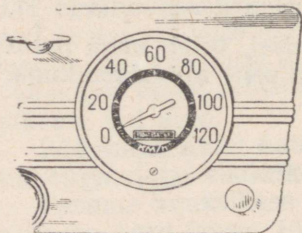
Näide. Auto liigub kiirusega $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Väljenda see kiirus $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ -tes.

L a h e n d u s. Teisendame kilomeetrid meetriteks ja tunnid sekunditeks: $72 \text{ km} = 72\,000 \text{ m}$, $1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$, $72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72\,000 \text{ m}}{3\,600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

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 spidomeetriks (joon. 17). Spidomeetri mehhanism on seotud auto ratastega. Auto liikumise kiirust näitab spidomeetri skaalal olev osuti.



Joon. 17. Auto kiirusemõõtja ehk spidomeeter (eestvaade).

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 210 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Hääl õhus (0° 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 löi 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 teosi. 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. Kiirrong 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 (jaamades).

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 liikumine 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 distantsi läbimiseks ligikaudu 2 min. 12 sek.

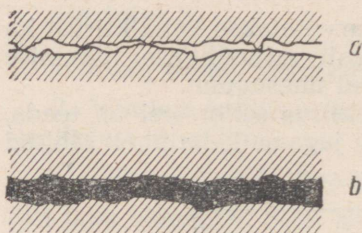
Leia, millise keskmise kiirusega see uisutaja uisutab.

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

§ 7. Hõõrdejõud.

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



Joon. 18. Pindade hõõrdumine määride puudumise (a) ja määride olemasolu (b) korral. Töötavad pinnad on antud läbilõikes.

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 ebauhtlased, krobelised ja kriimustatud. Joonisel 18, a on need ebatasasused kujutatud suurendatult. Puutudes üksteise vastu, takistavad konarlused ühe keha liikumist teise pinnal. On veel teine hõõrdumise tekkimise põhjus — kokkupuutuvate kehade molekulide omavaheline

külgetõmme. 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 **määrideõli**.

Määride kiht (joon. 18, b) 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 määride olemasolust uisu ja jää vahel. Uisutamisel tekib nimelt uiskude ja jää vahel õhuke veekiht, mis täidabki määride osa.

Hõõrdumine vähendab liikuva keha kiirust, see aga näitab, et sellele kehale mõjub jõud. (Tuleta meelde, et jõud on definitsiooni 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.

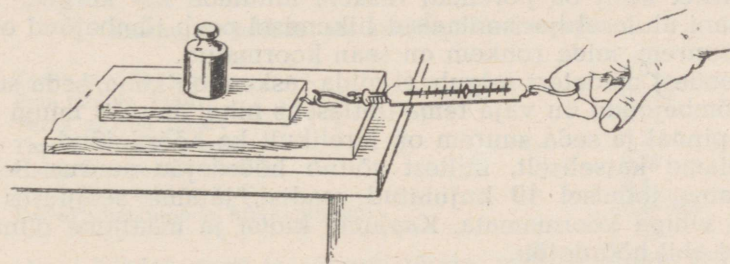
Kui üks keha libiseb mööda teist, siis kõneldakse **liugehõõrdumisest**. Selline on hõõrdumine, mis tekib saani libisemisel mööda lund, hõõveldamisel tekkiv hõõrdejõud hõõvli ja puu vahel, palgi ja palgi pilusse kinnisurutud saelehe vahel tekkiv hõõrdumine jne.

Autode, vagunite ja vankrite liikumisel nende rattad ei libise, vaid veerevad mööda mitmesuguseid pindu: mööda maanteed, rööpaid 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 liikumahakkamist. Seda hõõrdumise liiki nimetatakse **paigaloleku hõõrdumiseks**.

Paigaloleku hõõrdumisega tuleb meil väga sageli kohtuda igapäevases elus. Rasket lauda või kappi on raske nihutada kohalt — segab paigaloleku hõõrdumine. Paigaloleku hõõrdumine ilmneb näiteks auto vedavate rataste ja maantee, veduri vedavate rataste ja raudteerööbaste, kõndiva inimese jalataldade ja jalgraja jne. kokkupuutepunktides. Paigaloleku hõõrdumise väga suurel vähenemisel, näiteks kiilasjääl, pöörlevad auto vedavad rattad paigal, mistõttu auto ei saa liikuma hakata. Kiilasjääl 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. 19).



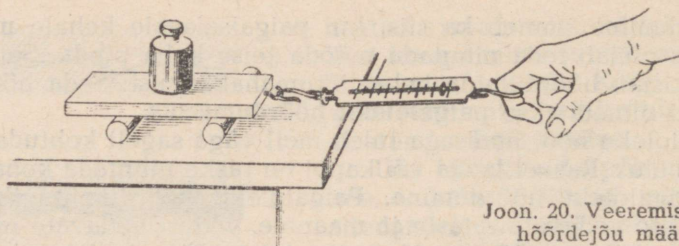
Joon. 19. Libisemisel esineva hõõrdejõu määramine.

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 **ü h t l a n e**.

Paneme nüüd eespool kirjeldatud puuklotsi sellesama koormusega kahele ümmargusele pulgale (joon. 20). Kui mõõta nüüd hõõrdejõudu, siis on see tunduvalt väiksem kui libisemisel.



Joon. 20. Veeremisel esineva hõõrdejõu määramine.

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. Hõõrdetegur.

Rasket kasti on põrandal raskem nihutada kui kerget.

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 hõõrdejõu.

Oletame, et klotsi kaal (rõhumisjõud) on 800 G, dünamomeetri abil mõõdetud hõõrdejõud aga 240 G. Jagades hõõrdejõu 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 hõõrdejõu, leiame, et see on 480 G, s. t. suurenes 2 korda. Jagades hõõrdejõu 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 hõõrdejõud 720 G. Hõõrdejõu 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 hõõrdejõud.

2) Hõõrdejõu ja rõhumisjõu suhe ei muutu rõhumisjõu muutumisel.

Hõõrdejõu ja rõhumisjõu suhet nimetatakse hõõrdeeguriks.

Kui hõõrdeegur tähistada tähega k , rõhumisjõud tähega F_r ja hõõrdejõud 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 hõõrdejõud suureneb. Järelikult suureneb ka hõõrdeegur. Katse abil võib näidata, et hõõrdeegur muutub ka siis, kui asendada üks aine teisega, näiteks puust laud metallplaadiga.

Seega sõltub hõõrdeegur kehade pindade omadustest: pindade töötluse kvaliteedist ja ainest, millest kehad on valmistatud.

Alljärgnevas tabelis on esitatud hõõrdeegurid mõningate ainete kohta.

Mõningate hõõrduvate kehade hõõrdeegurid

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 hõõrdeegurit ja rõhumisjõudu, võib arvutada hõõrdejõu suuruse järgmise 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 puust saani kaaluga $P = 500$ kG horisontaalsel jääteel? Hõõrdeegur (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 nr. 1.

Hõõrdeteguri määramine (puu mööda puud).

Töövahendid: puulaud; puuklots; 3 ühesuguse raskusega kaaluvihiti; üks 1 kG raskune vihiti; dünamomeeter.

Töö käik:

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

Katse nr.	Hõõrdejõud F_h G	Klotsi kaal koos vihtidega (rõhumisjõud) F_r 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, saipilane 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. Hõõrdejõu suurendamise ja vähendamise viisid.

Hõõrdumisel on igapäevases elus ja tehnikas suur tähtsus.

Kõndimisel tõukame me ennast maast eemale. Kui hõõrdumine saapatalla ja maa vahel on väike, näiteks kiilasjääl 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 rataste¹ 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 ratastel, määratakse 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.

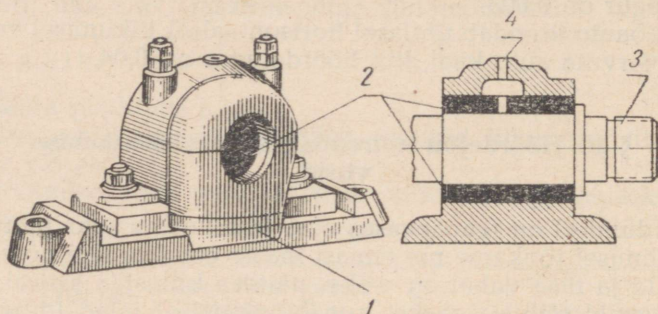
Hõõrdumise vähendamiseks pannakse masinate ja tööpinkide võllid toetuma laagrile.

Laagri lahtist osa (joon. 21), mis vahetult puutub kokku võlliga, nimetatakse laagriliuaks. Laagriliuad tehakse pronksist, malmist või terasest. Hõõrdumise vähendamiseks liua ja pöörleva

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

telje vahel kaetakse malmist või terasest liua sisemised pinnad spetsiaalse sulamiga, kõige sagedamini babiidiga¹.

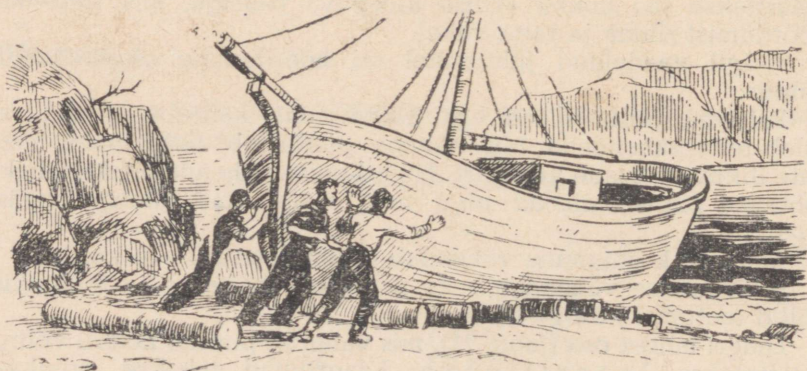
Joonisel 21 on kujutatud laager, milles võll 3 libiseb pöörlemisel liua 2 pinnal. Sellist tüüpi laagreid nimetatakse liugelaagriteks.



Joon. 21. Liugelaager: 1 — laagri kere; 2 — laagri liud; 3 — laagris pöörlev võll; 4 — ava määrimiseks.

§ 11. Kuul- ja rull-laagrid.

Raskete esemete nihutamiseks pannakse neile väga sageli alla rullid (joon. 22): Selle võttega asendatakse liugehõõrdumine veerehõõrdumisega. Hõõrdejõud veeremisel, nii nagu juba varem kindlaks tegime, on aga üheraskuse koormuse korral tunduvalt väik-

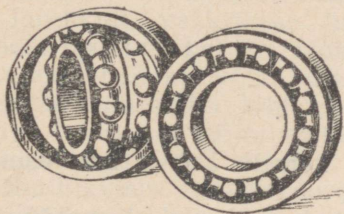


Joon. 22. Laeva nihutamine rullidel.

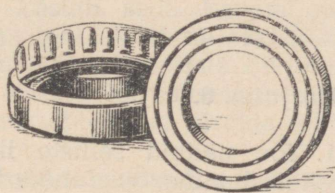
¹ Babiit on seatina, inglüstina ja teiste metallide sulam.

sem kui libisemisel. Sellel nähtusel põhinebki kuul- ja rull-laagrite kasutamine. Sellistes laagrites pöörlev võll ei libise mööda laagri-liuda, vaid veereb teraskuulidel või -rullidel.

Lihtsate kuul- ja rull-laagrite ehitus on kujutatud joonistel 23 ja 24. 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.



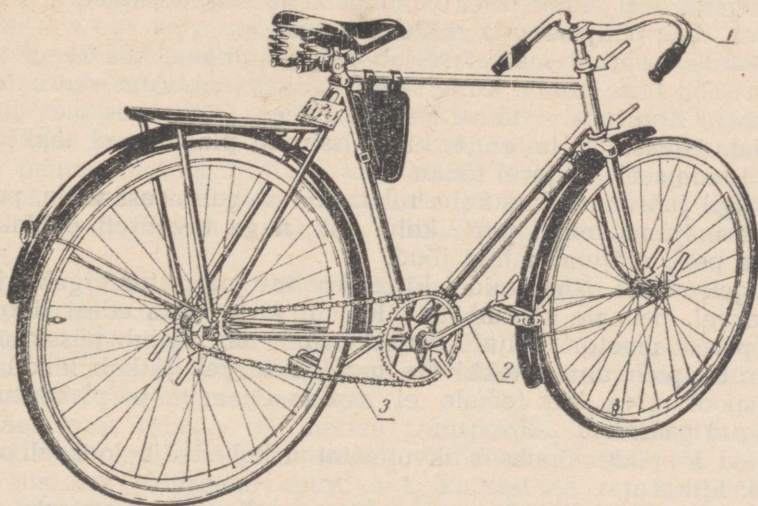
Joon. 23. Kuullaagrid.



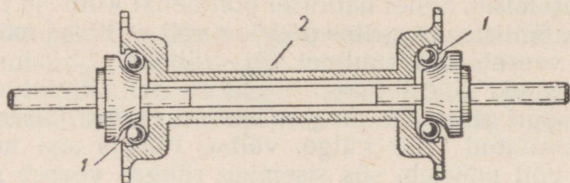
Joon. 24. Rull-laagrid.

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. 25 ja 26).



Joon. 25. Jalgratas: 1 — juhtraud, 2 — pedaal; 3 — kettülekanne. Nooltega on näidatud kohad, kus asuvad kuullaagrid.



Joon. 26. Kuullaagrid jalgratta rummus. 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. Vaata töökojas, milliseid laagreid kasutatakse treipinkide ja puurpinkide elektrimootorite juures.

§ 12. Inerts.

Kogemustest teame, et kui mingi keha seisab paigal, siis iseenesest, ilma põhjusest, ta liikuma ei hakka.

Toolile asetatud raamat seisab paigal niikaua, kui keegi tõstab 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 survega, 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 lauatuiki 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 isendast muuta ka oma liikumise suunda.

Nii näiteks, et suunata lendavat palli värvasse, 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 kehadel.

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 jooksval inimesel äkki muuta oma liikumise suunda.

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

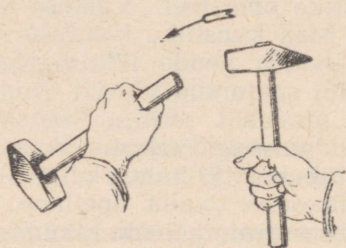
Väga suur tähtsus on inertsil transpordis. Inertsit tõttu pole võimalik silmapilkselt peatada liikuvat autot, trammi või rongi. Isegi siis, kui pidurdada autot, s. t. katkestada rataste pöörlemine, liigub auto teatud maa siiski edasi, libisedes ratastega teel. Auto või rongi järsul pidurdamisel võivad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

Harjutus 7.

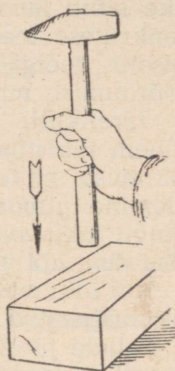
1. Too näiteid kehade liikumise kohta inertsil mõjul.

2. Miks on võimalik panna haamrit varre otsa nii, nagu näidatud joorisel 27?

3. Joonisel 28 on näidatud veel teine viis haamrile varre taha panemiseks. Selgita seda.



Joon. 27. Haamri panemine varre otsa (esimene viis).



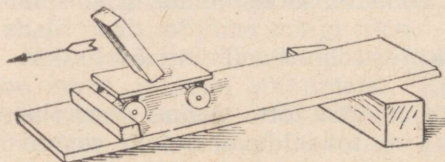
Joon. 28. Haamri panemine varre otsa (teine viis).

4. Miks komistav inimene mõnikord kukub? Missugusesse suunda?

5. Millel põhineb riide puhastamine tolmust nende kloppimisel ja harjamisel?

6. Momendil, mil inimene pärast hüpet puudutab jalgadega maapinda, kõverdab ta jalad. Selgita, m.ks.

7. Selgita, miks vankrikesel asetsev puuklots kukub, kui vankrike järsku peatub (joon. 29).



Joon. 29. Vankrikesel peatumisel jätkab puuklots liikumist ja kukub ümber.

8. Kummale hõvlipekku otsale tuleb lüüa vasaraga, et hõvli-raud tuleks rohkem välja? läheks rohkem sisse?

9. Millisesse suunda kalduvad autobussis olevad reisijad, kui autobuss hakkab kohalt liikuma; peatub; pöörduv paremale; pöörduv vasakule?

§ 13. 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 vältida ei ole kuidagi võimalik. Kuidas siis sellisel juhtumil saada ühtlast sirgjoonelist liikumist? Teeme alljärgneva katse.

Kinnitame puust klotsi külge kaks dünamomeetrit (joon. 30) ning rakendame nende abil klotsidele kaks võrdset ja vastassuunalist jõudu, mis mõjuvad üht ja sama sirget mööda. Näeme, et klots jääb paigale.



Joon. 30. Kahe võrdse jõu mõjul, mis on suunatud mööda ühte ja sama sirget erinevale poole, jääb klots paigale.

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.

Niisiis, 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.

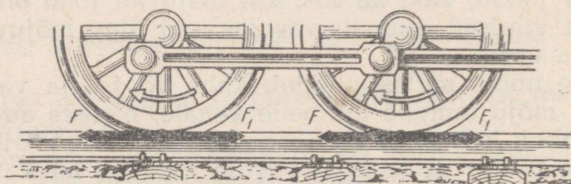
§ 14. Mõju ja vastumõju.

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.

Veduri (auruveduri, elektriveduri) veorattad toetuvad rööbastele, kusjuures nad pöörlevad ning jõuga F lükkavad rööpaid tagasi (joon. 31). Jõud F_1 , millega rööpad mõjuvad ratastele, sunnib aga vedurit liikuma edasi. Ka antud juhtumil on jõud rakendatud erinevatele kehadele: rööbastele ja ratastele.



Joon. 31. Veduri rataste mõju rööpale ja rööpa mõju ratastele. F_1 — jõud, mis paneb veduri liikuma.

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.

Seda mõtet väljendatakse sageli nii: **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.

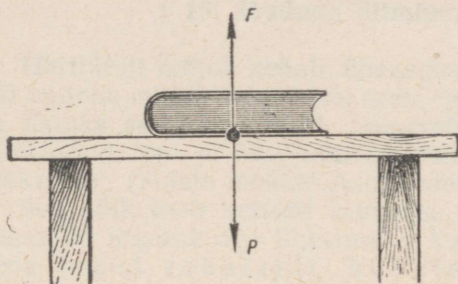
Laul lebab raamat, mis on paigal. Vaatleme, millised jõud temale mõjuvad. Raamatule mõjub esiteks raskusjõud (tema kaal). Kuid kui kehale mõjub üksainus jõud, siis keha ei saa olla paigal.

Järelikult peab raamatule mõjuma veel vähemalt üks jõud. Mis jõud see on?

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. 32).



Joon. 32. Jõud, mis mõjuvad laual lelavale raamatule.

Kõik vaatlused ja katsed näitavad, et 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 vastu-mõjuks?

2. Kui käia mööda vee peal ujuvat paati pärast ninani, siis paat hakkab liikuma ninast pära suunas. Miks?



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

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 kõikumama, kui temalt tõuseb lendu lind?

II PEATUKK.

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.

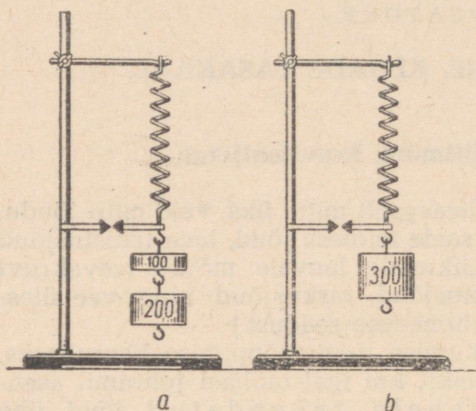
§ 16. Kahe ühel sirgel mõjuva jõu liitmine.

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 ükski, 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 sumмага: $24\,000\text{ kG} = 14\,000\text{ kG} + 10\,000\text{ kG}$.

Teeme järgmise katse. Riputame vedru külge üksteise alla kaks vihti, mis kaaluvad vastavalt 100 G ja 200 G (joon. 33, 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. 33, b). Vihi kaal osutub võrdseks 300 G-ga.

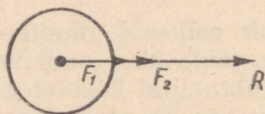


Joon. 33. Võrdsed jõud venitavad vedru välja võrdsete suuruste võrra. Koormuse 300 G (b) mõju on samaväärne koormuste 100 G ja 200 G (a) koosmõjuga.

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 34 on kehale mõjuv resultantjõud tähistatud tähega R, komponentjõud aga tähtedega F_1 ja F_2 .



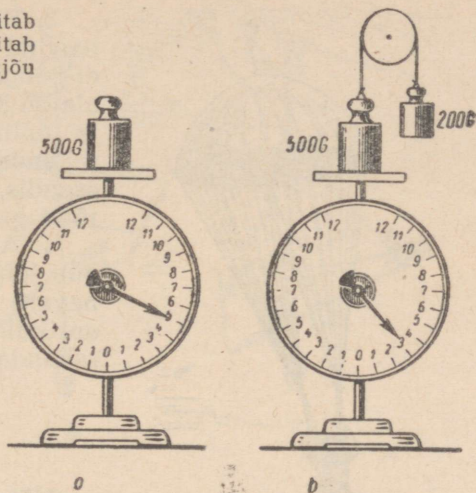
Joon. 34. Kahe samasuunalise jõu F_1 ja F_2 resultantjõud on võrdne nende jõudude summaga.

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. 35, 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

Joon. 35. *a* — dünamomeeter näitab vihi kaalu; *b* — dünamomeeter näitab kahe vastassuunalise jõu resultantjõu suurust.



200-grammise kaaluvihi. Niidi paneme üle liikumatu ploki (joon. 35, *b*).

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

Dünamomeeter näitab sel juhul jõudu 300 G. See jõud on jõudude 500 G ja 200 G resultantjõud ning võrdne nende vahega ($300\text{ G} = 500\text{ G} - 200\text{ G}$). Kui 200-grammine viht asendada 500-grammise vihiga, 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 36 on näidatud vastassuunalised liidetavad jõud F_1 ja F_2 ning nende resultantjõud R .

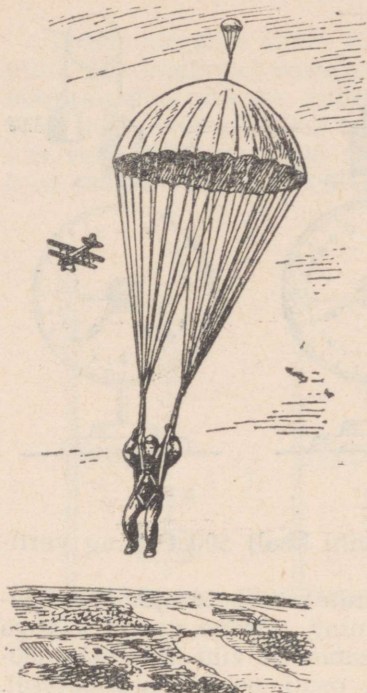


Joon. 36. Kahe vastassuunalise jõu F_1 ja F_2 resultantjõud on võrdne nende jõudude vahega ning suunatud suurema jõu poole.

Harjutus 9.

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 (joon. 37). Langevarjur koos langevarjuga kaalub 70 kG. Kui suur on õhu takistus? Kujuta need kaks jõudu vastavas mõõtkaavas joonisel.



Joon. 37. Langevarjur laskub langevarjuga maapinnale.

3. Keha, mille kaal on 2,5 kG, on pandud üleni vette, kuid nii, et keha ei puuduta anuma põhja. Keha ruumala on 3 dm³. 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). Loetle jõud, mis mõjuvad aurikule. Kujuta need jõud joonisel, rakendades jõud ühte punkti.

§ 17. Raskuskese.

Võtame pika joonlaua 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.

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

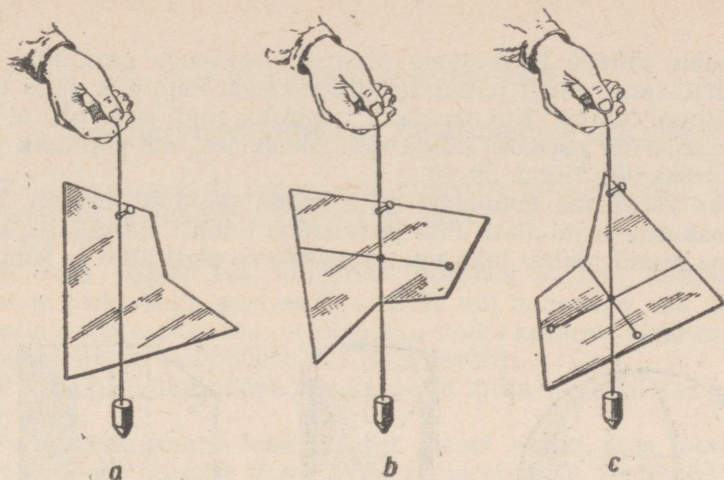
Mis on keha raskuskese ja kuidas seda leida?

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. 38, a).

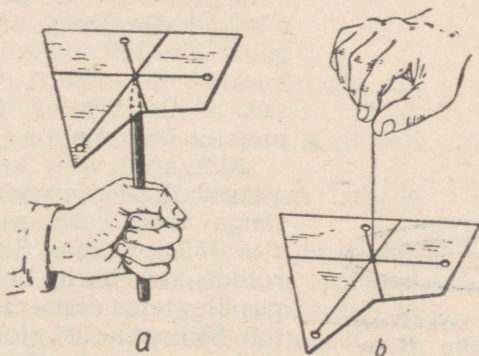
Rippuvale papitükile mõjub kaks jõudu: raskusjõud, mis on rakendatud raskuskeskmes, ja jõud, mis hoiab papitükki naela otsas. Kuna papitükk on paigal, siis temale mõjuvad jõud tasakaalustavad teineteist, s. t. nad on oma suuruse poolest võrdsed ja mõjutavad teineteist mööda vertikaali vastassuundades.



Joon. 38. Tasapinnalise kujundi raskuskeskme leidmine.

Siit võib teha järelduse, et jõudude rakenduspunktid — raskuse ja ülesriputuspunkt — asetsevad loodiga määratud vertikaalsel sirgel.

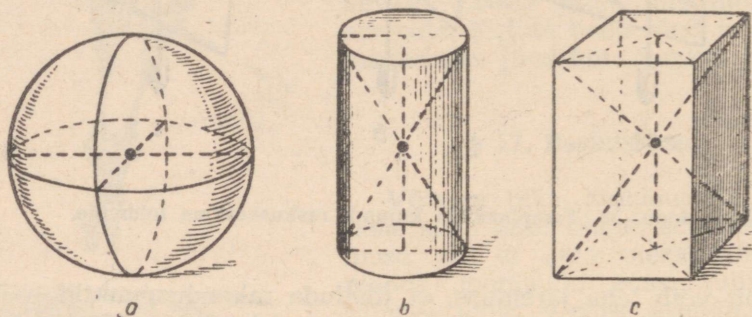
Tõmbame papitükile mööda loodi vertikaalse joone. Riputame nüüd papitüki naela otsa mõnest teisest punktist ja tõmbame uuesti mööda loodi vertikaalse joone. Ükskõik kui palju me neid jooni ka selliselt ei tõmbaks, kõik nad läbivad raskuskeset. Seejärest kõik need jooned lõikuvadki ühes ja samas punktis — raskuskeskmes (joon. 38, b, c). Kuidas seda kontrollida?



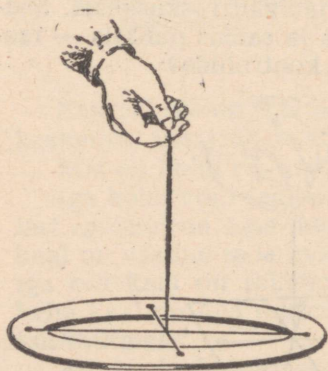
Joon. 39. a — papitükk jääb tasakaalu, kui toetada pliitsi teravikuga papitükki raskuskeskmes; b — niidi otsa riputatud papitükk jääb tasakaalu, kui niit on kinnitatud papitüki külge raskuskeskmes.

Võtame pliatsi ja toetame pliatsi teravikuga papitükki eel-pool kirjeldatud viisil leitud raskuskeskmes. Papitükk jääb tasa-kaalu (joon. 39, a). Kui riputada papitükk niidi otsa nii, et niit oleks kinnitatud papitüki külge raskuskeskmes, siis papitükk jääb samuti tasakaalu (joon. 39, b).

Katse vältel me muutsime mitu korda papitüki asendit, kuid tema raskuskeske jäi alati ühte ja samasse punkti. Järelikult, keha mistahes asendi puhul jääb tema raskuskeske alati ühte ja samasse punkti.



Joon. 40. Raskuskeskme asukoht kera (a), silindris (b) ja risttahukas (c).



Joon. 41. Rõnga raskuskeske asetseb diameetrite lõikepunktis.

Kera raskuskeske asetseb näiteks kera geomeetrilises keskpunktis, risttahuka raskuskeske — risttahuka diagonaalide lõikepunktis, silindri raskuskeske — silindri telje (sirglõik, mis läbib silindri põhjade kesk-punkte) keskpunktis (joon. 40).

Mõnikord võib keha raskuskeske asetseada ka väljaspool keha. Näiteks rõnga raskuskeske asetseb diameetrite lõikepunktis. Seda saab kontrollida katseliselt, kui riputada rõngas üles tema diameetrikis olevate niitide lõikepunktist (joon. 41). Rõngas jääb seejuures tasakaalu.

§ 18. Laboratoorne töö nr. 2.

Tasapinnaliste kujundite raskuskeskme leidmine.

Töövahendid: papist või vineerist tasapinnaliste plaatide kogu; niiti; nõopnõel või naaskel; lood.

Töö käik:

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

Riputa plaadike nõopnõela külge ja torka siis nõel kas või lauääre sisse.

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

Tee plaadi äärelle 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.

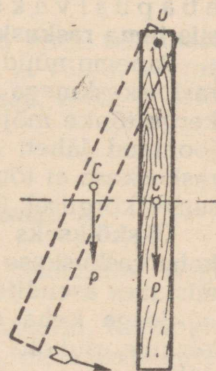
Jõudude mõjul võib keha kas liikuda või seista paigal. Keha kohta, mis seisab paigal, öeldakse, et ta on **tasakaaluasendis** ehk lihtsalt **tasakaalus**.

Vaatleme ühest punktist toetatud kehade tasakaalu juhtumeid.

Riputame joonlaua naela otsa (joon. 42). Joonlaud võtab tasakaaluasendi. Kui joonlaud tasakaaluasendist kõrvale viia, siis pöördub ta raskusjõu mõjul endisesse asendisse tagasi.

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

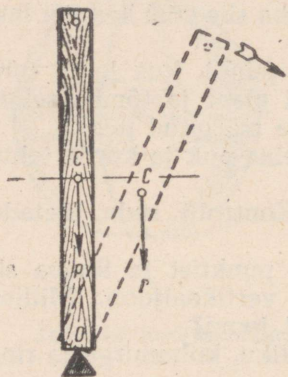
Püsiva tasakaalu puhul on joonlaua raskuskese C madalamal toetuspunktist ja asetseb, nii nagu me juba teame paragrahvist 17, toetus-



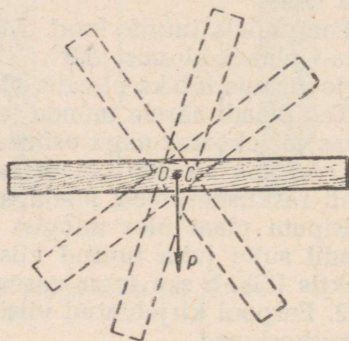
Joon. 42. Joonlaua püsiv tasakaal.

punktiga ühel ja samal vertikaalsirgel OC . Kui viia joonlaud püsivast tasakaalust välja, siis tema raskuskese tõuseb kõrgemale (joon. 42), joonlauda tagasipöördumisel tasakaaluasendisse aga lasub jälle esialgselle kõrgusele.

Pöörame nüüd joonlauda nii, et tema raskuskese asetseks küll toetuspunktiga ühel ja samal vertikaaljoonel, kuid sellest kõrgemal (joon. 43). Püüame saavutada seda, et joonlaud jääks sellesse asendisse tasakaalu. On küllalt kergest tõukest, et joonlauda tasakaaluasendist välja viia. Tasakaaluasendisse joonlaud enam iseenesest tagasi pöörduda ei saa, kuna raskusjõud seda takistab.



Joon. 43. Joonlauda ebapüsiv tasakaal.



Joon. 44. Joonlauda ükskõikne tasakaal.

Tasakaalu, milles asetses sellel juhtumil joonlaud, nimetatakse **ebapüsivaks**. Kui joonlaud väljub ebapüsivast tasakaalust, siis tema raskuskese langeb (joon. 43).

Paneme nüüd joonlauda naela otsa nii, et toetuspunkt O ühtiks raskuskeskmega C (joon. 44). 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 joonlauda **ükskõikse** tasakaalu juhtum.

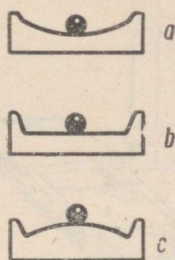
Ükskõikseks tasakaaluks nimetatakse sellist tasakaalu, kus keha raskuskese jääb kogu aeg ühele ja samale kõrgusele keha mistahes asendite puhul.

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

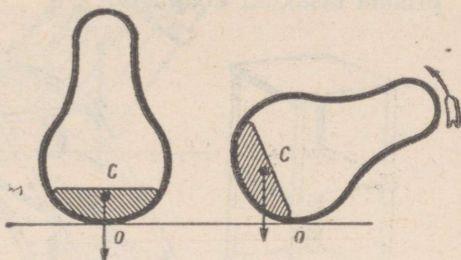
Kui raskuskese tõuseb, siis on tegemist püsiva tasakaaluga. Raskuskeskme langemine näitab ebapüsivat tasakaalu. Kui raskuskese keha mistahes asendi puhul jääb ühele ja samale kõrgusele,

siis on tegemist ükskõikse tasakaaluga. Joonisel 45 on näidatud kuulike, mis on vastavalt püsivas, ükskõikses ja ebapüsivas tasakaalus. Nõgusal pinnal (joon. 45, a) on kuulike püsivas tasakaalus; kumeral pinnal (joon. 45, c) ebapüsivas tasakaalus ja horisontaalsel pinnal ükskõikses tasakaalus (joon. 45, b).

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



Joon. 45. Kuulike erinevates tasakaaluasendites: püsivas tasakaalus (a), ükskõikses tasakaalus (b), ebapüsivas tasakaalus (c).



Joon. 46. Lelu „jonnipunn“ ehituse põhimõte. Läbikriipsutatud osa näitab raskuse asukohta. C — lelu raskuskese, O — lelu toetuspunkt.

Huvitavaks tasakaalu näiteks on laste „jonnipunn“. Selle lelu raskuskese C asetseb veidi kõrgemal toetuspunktist O (joon. 46). 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, auto rattad 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.

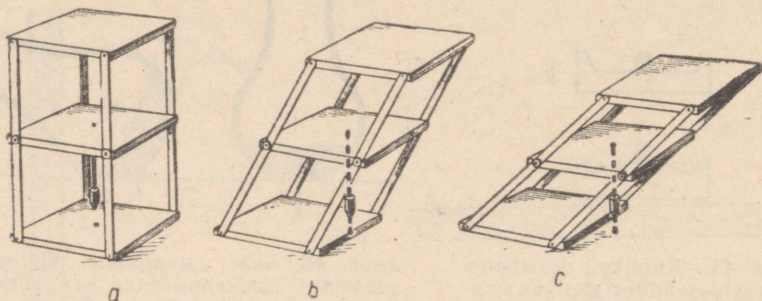
Vaatleme, millistel tingimustel on sellised kehad püsivas tasakaalus.

Teeme katse.

Joonisel 47, *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. 47, *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. 47, *b*). Sellises asendis on prisma tasakaal ebapüsiv.



Joon. 47. Kallutatav prisma, mis on varustatud loodiga (*a*). Prisma kaotab püsiva tasakaalu, kui loodi pikendusjoon väljub toetuspinna piirest (*c*).

Ebapüsivas tasakaalus prisma praktiliselt asetseda ei saa. Tõepoolest, väikseimagi 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.

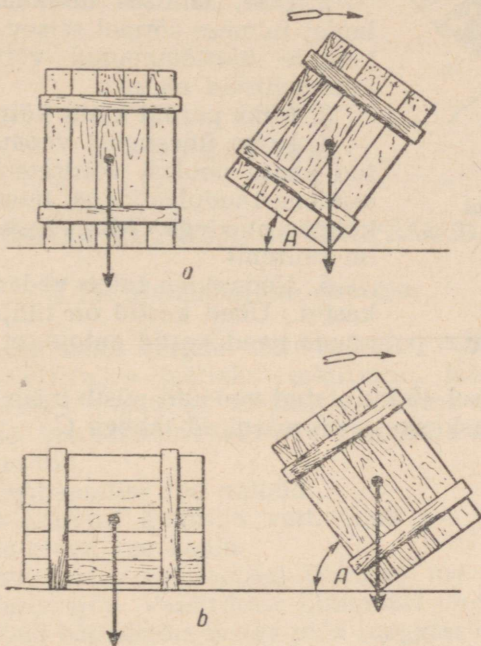
Keha on ebapüsivas tasakaalus, kui loodi pikendusjoon, mis läbib keha raskuskeset, läbib ka toetuspinna äärjoont.

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. 48), seda püsivam oli 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. 48, *b*) kui sama kaaluga kõrget ja väikse toetuspinnaga kasti (joon. 48, *a*).

Seepärast tuleb keha suurema püsivuse saavutamiseks kas suurendada tema toetuspinda või viia raskuskese madalamale, kasutades selleks rasket ja laia alust, või üht ja teist koos. Nii näiteks riputatakse kooli kangkaalud suure toetuspinnaga raske statiivi külge.

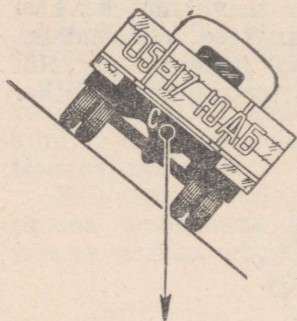


Joon. 48. Kast on seda püsivam, mida suurem on tema toetuspind.

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 vaatllemisel 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 läbib vertikaaljoon lõikub toetuspinna või selle äärjoonega. Kui aga see vertikaaljoon ei lõiku toetuspinna või selle äärjoonega, siis kallutatav inimene kukub.

Harjutus 10.



Joon. 49. Mäeveerul
asetsev veoauto.

1. Kas laeva raskuskeskme asukoht muutub, kui tema laadung tuua kiilruumist tekile? Kui muutub, siis kuidas?

2. Ütle, millises tasakaalus on lauad; 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 49 kujutatud veoauto püsib mäeveerul? Selgita vastust. Auto raskuskeskme on märgitud tähega C.

III PEATUKK.

TÖÖ JA ENERGIA. MEHHAANISMID.

§ 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 musklike 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 juhtumil mootori poolt arendatav veojõud.

Edaspidi nimetame mehhaanilist tööd lihtsalt tööks.

§ 22. Töö suurus. Tööühikud.

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

Oletame, et me tõstame 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.

Eeltoodust võime teha järelduse, et **töö hulk antud teosal 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.

See näide ütleb, et **mingi jõu poolt tehtud töö hulk on võrdeline läbitud tee pikkusega.**

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

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:

$$A = Fs$$

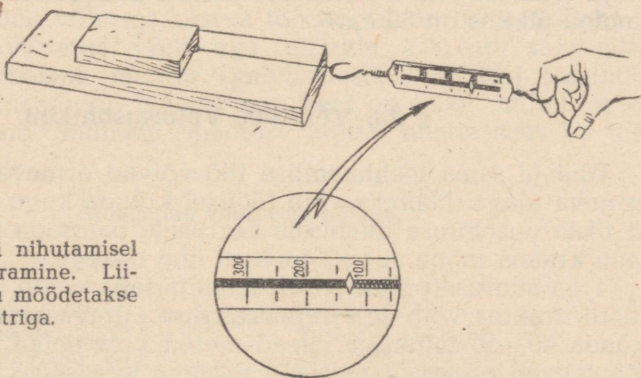
Tööühiku 1 kGm kõrval kasutatakse füüsikas laialdaselt ka tööühikut džaul¹ (lühendatud tähistusviis J).

$$1 \text{ J} = 0,102 \text{ kGm},$$
$$1 \text{ kGm} = 9,81 \text{ J}.$$

Harjutus 11.

1. Joonisel 50 kujutatud puuklotsi nihutatakse lauatukil 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?

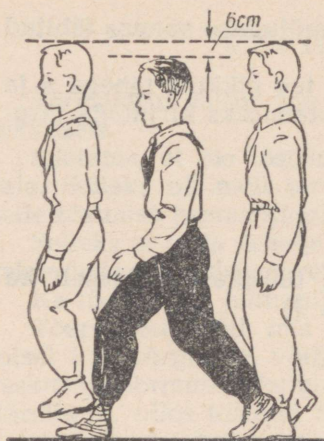


Joon. 50. Puuklotsi nihutamisel tehtava töö määramine. Liikumapanevat jõudu mõõdetakse dünamomeetriga.

3. Arvuta töö, mis tehakse $0,5 \text{ m}^3$ 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

¹ Uhiku nimetus on võetud kuulsalt inglise füüsiku Joule'i (loe: džaul) nime järgi.



Joon. 51. Keha üles-alla liikumine käimisel.

9. Töö, mille inimene teeb horisontaalsel pinnal kõndides, seisneb põhiliselt keha perioodiliselt korduvas tõstmises. Igal sammul keha tõuseb ja seejärel langeb keskmiselt 6 cm (joon. 51). 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.

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 kiiremini, 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: $\frac{\text{kGm}}{\text{s}}$.

jõuga 6 kG. Kui palju tööd peab õpilane tegema selle tüki ärasaagimiseks, kui ühe tõmbega nihkub saagipuu 2 mm?

5. Kolb, mille pindala on 300 cm², 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 kaaluvihki ühtlasel tõstmisel 1 m kõrgusele ja sama vihi nihutamisel 1 m võrra piki lauda, on ühesuured 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 tarvilikud andmed leia mõõtmise teel.

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:

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

Võimsuse ühikuks on ka watt (W)¹: $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$. Tehnikas kasutakse 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 — hobujõudu² (hj).

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

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 sajakandekesk (habemeajamismasina 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 D-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 ЭШ-14/75	7500 kW (10 190 hj)

¹ Võimsusühik *watt* on saanud oma nimetuse aurumasina looja inglase *Watti* nimest.

² Võimsusühik *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 suurusks $75 \frac{\text{kGm}}{\text{s}}$.

Aatomijäälõhkuja „Lenin“	32 400 kW (44 000 hj)
Hüdrogeneraator	200 000 kW
Bratski hüdroelektrijaam Angara jõel (ehitamist lõpetatakse)	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

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

Sellesama 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 12.

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 $0,85 \frac{m}{s}$. 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 ta seejuures arendas?

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)?

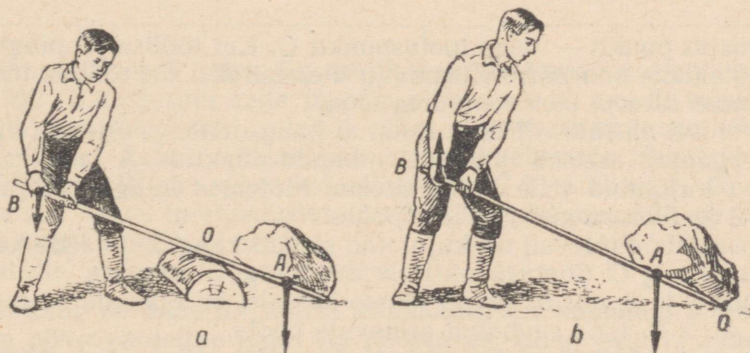
7. Tuuleturbiin võib 1,2 minutiga teha 205 200 kGm tööd, vee-turbiin aga 0,2 sekundiga 525 000 kGm. Määra nende turbiinide võimsus kilovattides.

§ 24. Kang. Jõu õlg.

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

Üheks selliseks lihtmasinaks on kang.

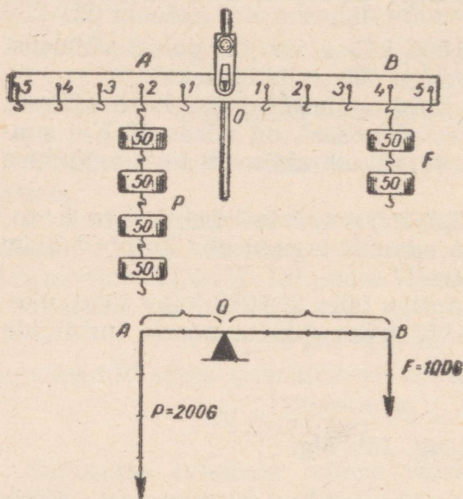
Joonistel 52, a ja 52, b on näidatud, kuidas tööline saab kivi tõstmisel kasutada kangi. Esimesel juhtumil rõhub tööline jõuga



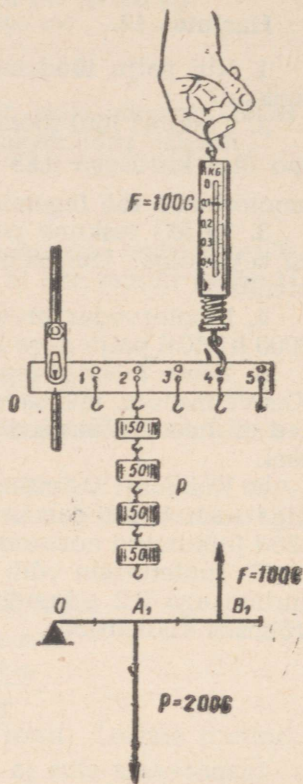
Joon. 52. Kangi kasutamine.

kangi otsa B alla, teisel juhtumil tõstab aga kangi otsa B üles. Töölise jõupingutusele avaldab vastumõju kivi raskus — jõud, mis on suunatud vertikaalselt alla (joonistel on see jõud kujutatud noolena, algusega punktis A).

Koormuse tõstmiseks pöörab tööline kangi ümber telje, mis läbib kangi ainsat



Joon. 53. Sellise kangi tasakaal, kus toetuspunkt O asetseb jõudude rakenduspunktide A ja B vahel. OA — jõu P õlg, OB — jõu F õlg.



Joon. 54. Sellise kangi tasakaal, kus jõudude rakenduspunktid A_1 ja B_1 asetsevad ühel ja samal pool kangi toetuspunkti O .

liikumatu punkti — tema toetuspunkti O . Kui töölise jõupingutus on küllaldane koormuse vastumõju ületamiseks, siis tööline tõstab koormuse üles ja teeb seejuures tööd.

Joonisel 53 (üleväl) on kujutatud kang, mille pöörlemistelg O (toetuspunkt) asetseb jõudude rakenduspunktide A ja B vahel. All on kujutatud selle kangi skeem. Mõlemad kangile mõjuvad jõud P ja F on suunatud ühele poole.

Joonisel 54 (üleväl) on kujutatud samuti kang, kuid selle kangi pöörlemistelg O (toetuspunkt) asetseb kangi ühes otsas.

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

Toetuspunktist 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.

Joonisel 53 on näha, et jõud F pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas, jõud P aga kellaosuti liikumisele vastassuunas.

Joonisel 54 kujutatud kangel pöörab jõud F kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas, jõud P aga kellaosuti liikumise suunas.

§ 25. Jõumoment. Jõudude tasakaal kangel.

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

Et tõsta keha üles kangi 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. 53) 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 kellaosuti liikumisele vastassuunas		Jõu ja õla korrutis (G · cm)	Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas		Jõu ja õla korrutis (G · cm)
Jõu suurus (G)	Õla pikkus (cm)		Jõu suurus (G)	Õla pikkus (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. 53) mõjus kangile tema teljest vasakul jõud 200 G, kusjuures selle jõu õla 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 õlapikkusega 10 cm, rakendada jõudu 50 G õlapikkusega 40 cm. Kolmandal katsel tasakaalustab jõu 50 G õlapikkusega 30 cm jõud 150 G õlapikkusega 10 cm jne.

Katsete tulemused kinnitavad, et

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

Tehtud katsetest näeme, et ühe jõu korrutis vastava õla pikkusega on võrdne jõu ja sellele vastava õla 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 õla korrutist nimetatakse jõumomendiks¹.

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

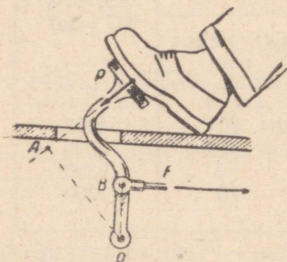
Kang asetseb tasakaalus siis, kui jõumoment, mis pöörab kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas, on võrdne jõumomendiga, mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas.

Jõumomentide võrdsus esineb ka joonisel 54 kujutatud kangi tasakaalu korral. Siin kangi pöörlemistelg (toetuspunkt) asetseb 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 kujulise kangi puhul. Tuleb ainult meeles pidada, et jõu õlaks on toetuspunktist jõu mõjumise sihile tõmmatud ristlõigu pikkus. Näiteks on auto jalgpiduri (joon. 55) puhul mõjuvate jõudude õlgadeks vahemaad $OA = l_1$ ja $OB = l_2$.



Joon. 55. Auto jalgpidur: P — jala rõhujõud, OA — tema õlg; F — trossi veojõud, OB — tema õlg.

Harjutus 13.

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

¹ Moment tuleneb ladinakeelsest sõnast *momentum* — tõuge.

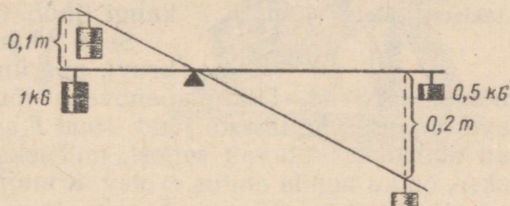
§ 26. Kas kangide kasutamisel võidetakse töös?

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. 56). Märgime seejärel jõudude



Joon. 56. Kangi kasutamisel ei võideta töös.

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

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

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.

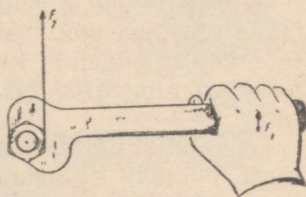
§ 27. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus.

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

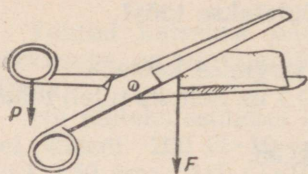
Sellel seadusel põhineb kangide laialdane kasutamine tehnikas ja igapäevases elus seal, kus on vaja võita jõus.

Kangi kasutamise väga heaks näiteks on mutrivõti.

Töölise jõud F_1 (joon. 57) on rakendatud võtme käepidemele. Jõud F_2 , mis mõjub mutri pööramise suunale vastassuunas, on rakendatud võtmele tema ja mutri kokkupuute-

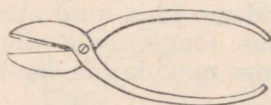


Joon. 57. Mutrivõti kujutab endast kangi.

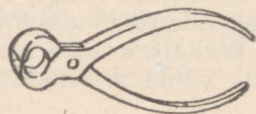


Joon. 58. Käärid: P — sõrmede rõhumisjõud; F — lõigatava materjali takistust ületav jõud.

mõlemad harud. Liikumapanevaks jõuks P on kääridega töötava inimese käe lihaste jõud. Jõud F aga ületab lõigatava materjali takistust. 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. 59) 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. 59. Plekikäärid.



Jahn. 60. Traaditangid.

Eriti suur erinevus lõikeosa pikkuse ja käepidemete pikkuste vahel on traaditangidel (joon. 60), mida kasutatakse traadi tükeldamiseks.

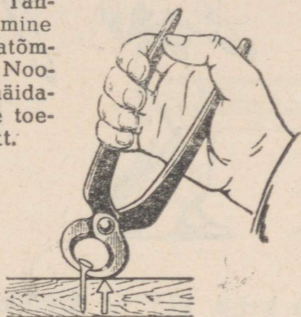
Mitmesuguse kujuga kange leidub paljude masinate juures. Õmblusmasina vänt, jalgratta pedaalid ja käsipidur, auto ja traktori siduripedaalid, kirjutusmasina ja klaveri klahvid — kõik need on nimetatud masinate juures kasutatavate kangide näideteks.

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

Harjutus 14.

1. Leia joonistel 61—66 kujutatud kangide toetuspunktid ja jõudude õlad.

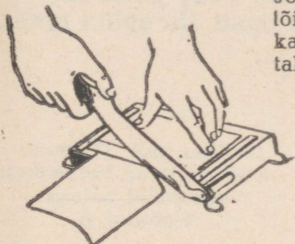
Joon. 61. Tangide kasutamine näela väljatõmbamisel. Noolega on näidatud tangide toetuspunkt.



Joon. 62. Kärü.



Joon. 63. Äärelõikaja. Äärelõikajat kasutatakse fotopaberi lõikamiseks.

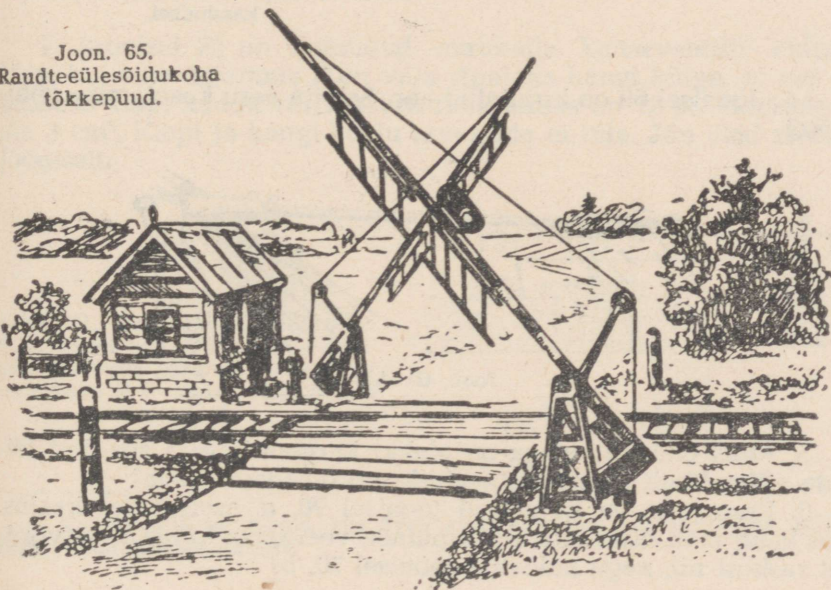


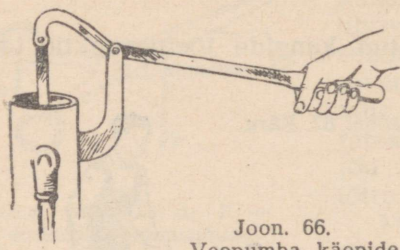
Joon. 64. Raskuse tõstmisel toimib käsi kangina.



Joon. 65.

Raudteeülesõidukoha tõkkepuud.





Joon. 66.
Veepumba käepide.



Joon. 67. Raskuste kandmine.

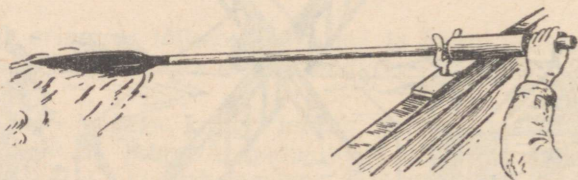
2. Miks inimene kallutab oma keha, kui ta kannab mingit raskust (joon. 67)?

3. Kumba koormuse asendi puhul avaldab kepp õlale väiksemat rõhku (joon. 68)?



Joon. 68. Kepi kasutamine koormuste kandmisel.

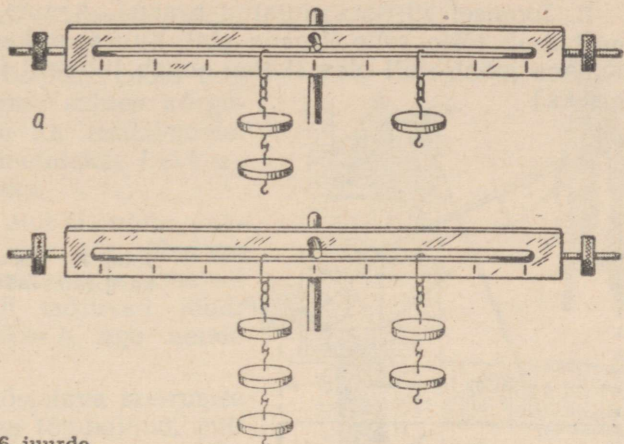
4. Joonisel 69 on kujutatud aer. Selgita aeru kasutamise põhimõtet.



Joon. 69. Aer.

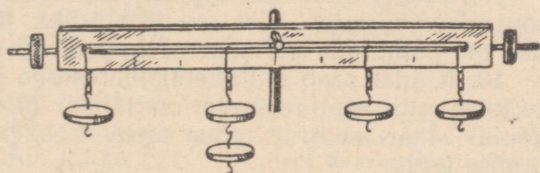
5. Miks plekikääridega on plekki kergem lõigata siis, kui lõigata võimalikult käärade ühenduskruvi lähedase osaga?

6. Kang, mis on kujutatud joonisel 70, a, asetseb tasakaalus. Kas kang jääb tasakaalu, kui riputada veel tema külge kaks võrdset raskust nii, nagu näidatud joonisel 70, b?



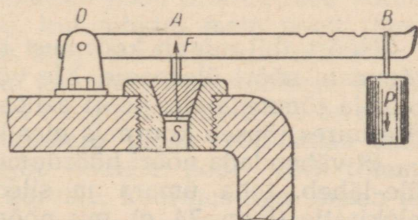
Joon. 70. Ulesande 6 juurde.

Kas kang jääb tasakaalu, kui need kaks lisaraskust riputada kangi külge nii, nagu näidatud joonisel 71?



Joon. 71. Kas selliselt koormatud kang on tasakaalus (ülesande 6 juurde)?

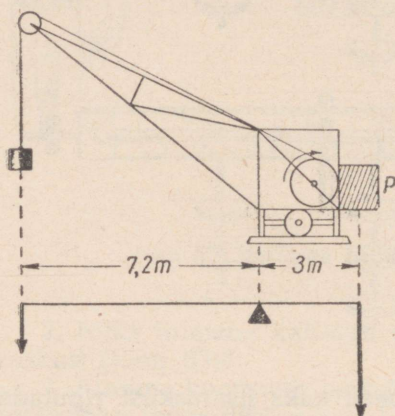
7. Joonisel 72 on kujutatud aurukatla kaitseventiili¹ ehitus. Leia, kui suur koormus P on vaja riputada kangi külge, et aur ei pääseks klapi kaudu välja. Auru rõhk katlas on 12 at, klapi pindala 3 cm². Klapi ja kangi kaalu arvestada ei tule. Jõu õlad mööda jooniselt.



Joon. 72. Aurukatla kaitseventiil:
 O — kangi telg; OB ja OA — kangi mõjuvate jõudude õlad; P — vastukaal; F — auru rõhumisjõud korgile S .

¹ Kaitseventiil on seadis, mis avab aurukatla ava, kui auru rõhk katlas saab ettenähtust suuremaks.

8. Joonisel 73 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.)



Joon. 73. Tõstekraana kui kang (ülesande 8 juurde).

9. Keskest 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? Joonista sellise seadise skeem. Proovi valmistada mudel, mis võimaldaks võita jõus 100 korda.

12. Näita, milliseid jalgratta (joon. 25) osasid võib vaadelda kangidena.

§ 28. Liikumatu 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. 74, a), mis nööri liikumisel hakkab pöörlema.

Joonisel 74, b on näidatud, kuidas sellist plokki võib kasutada koormuste tõstmiseks. Plokk riputatakse konksu abil mingi kõrgel asetseva liikumatu eseme külge. Üle ploki pannakse nöör. Nööri üks ots seotakse tõstetava koormuse külge, nööri teist otsa

aga tõmmatakse allapoole. Ploki telg jääb seejuures liikumatuks, s. t. koormuse tõstmisel ploki telg ei tõuse maapinna suhtes kõrgemale ega lasku ka madalamale. Sellist ploki nimetatakse liikumatuks plokiks.

Liikumatu ploki võib vaadelda kangina, kus jõu õlad on võrdsed ratta raadiusega. Joonisel 75 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 nõöri.

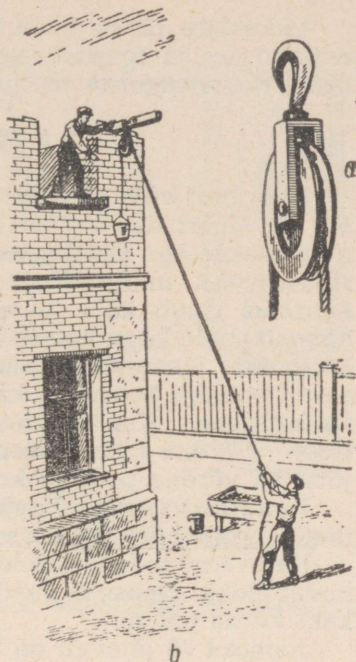
Jõud P pöörab ploki kellaosuti liikumisele vastassuunas, jõud F aga kellaosuti liikumise suunas. Sellise kangi tasakaalu tingimuseks on jõudude P ja F momentide võrdsus: $Pl_1 = Fl_2$. Kuna selle kangi õlad on võrdsed (l_1 ja l_2 on võrdsed ploki raadiusega), siis jõud P on võrdne jõuga F .

Jõudude P ja F võrdsus näitab, et koormuse tõstmisel liikumatu plokiga tuleb nõöriile rakendada

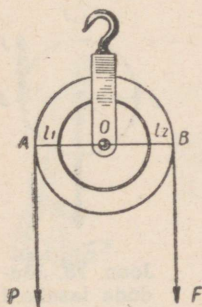
koormuse kaaluga võrdset jõudu. (Hõõrdumist seejuures ei arvestata.)

Järelikult, liikumatu plokk ei anna meile võitu jõus. Koormuse tõstmisel on jõudude P ja F rakenduspunktide poolt läbitud teed võrdsed, sest nii palju, kui nihkub meie poolt tõmmatava nõöri ots alla, tõuseb ka koormus üles. Ta ei anna võitu ka töös, sest võrdsete jõudude poolt võrdsetel kaugustel tehtud töö on võrdne.

Seega, liikumatu plokk võimaldab muuta ainult tõmbejõu suunda: nõöri võib tõmmata kas alla või kõrvale, koormus aga tõuseb üles. Jõu mõjumise suuna muutmisel on paljudel juhtumitel suur praktiline tähtsus. Nii näiteks tõmbab joonisel 74 kujutatud tööline nõöri allapoole, mis on palju mugavam kui sellisama koormuse tõstmine ilma plokita.



Joon. 74. Liikumatu plokk: a — ploki välisvaade; b — liikumatu ploki kasutamine ehitusel.



Joon. 75. Jõudude tasakaal liikumatu plokil.

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

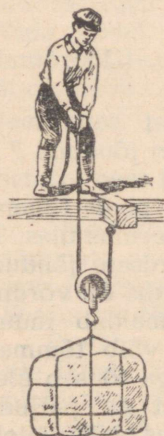
§ 29. Liikuv plokk.

Koormust võib üles tõsta ka nii, nagu seda on kujutatud joonisel 76. Nööri üks ots on kinnitatud liikumatult, nööri teist otsa tõmmatakse aga paralleelselt esimesega ülespoole. Nööri silmusel ripub plokk, mille külge on kinnitatud tõstetav koormus. Kuna koormus ripub kahe paralleelse nööri otsas, siis kumbki nöör kannab poole kogu koormuse raskusest. On ilmne, et töölisel tuleb koormuse ülevõtmiseks rakendada jõudu, mis on võrdne ainult poolega koormuse kaalust. Seda järeldust võime kontrollida ka katseliselt. Kui me tõstame ploki külge kinnitatud koormust (joon. 77), siis dünamomeeter näitab, et koormust ülevõtjate jõud on võrdne poolega koormuse ja ploki kaalust.

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

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

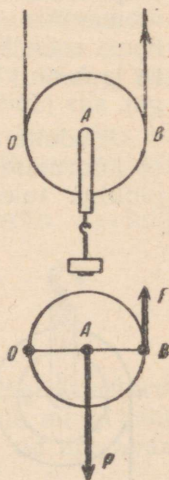
Joonisel 78 (üleval) on kujutatud liikuv plokk, all aga temale vastav kang: O — kangi toetuspunkt, OA — jõu P õlg ja OB — jõu F õlg.



Joon. 76. Liikuv plokk.



Joon. 77. Liikuv plokk võimaldab võita jõus kaks korda.



Joon. 78. Jõudude tasakaal liikuvale plokile: P — koormuse kaal; F — veojõud; OA ja OB — nende jõudude õlad.

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

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

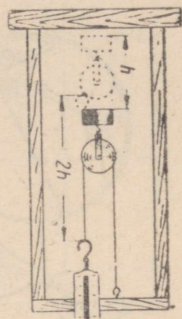
Seega, koormuse tõstmisel liikuva ploki abil tuleb rakendada jõudu, mis on kaks korda väiksem koormuse raskusest. Järelikult, liikuv plokk võimaldab võita jõus kaks korda¹.

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

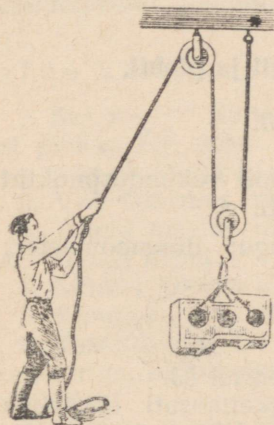
Hakkame liikuva ploki abil tõstma kaaluvihti. Et tõsta vihti kõrgusele h , tuleb see nõõri ots, mille külge on kinnitatud dünamomeeter, tõsta kõrgusele $2h$ (joon. 79). Seega, võitnud küll jõus kaks korda, kaotame tees kaks korda. Järelikult, töös me võitu ei saanud.

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

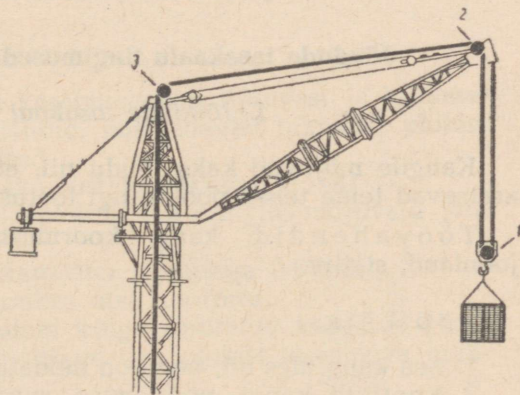
Koormuse tõstmisel liikuva ploki abil ei ole töölisel aga tingimata tarvis tõmmata nõõri nii, nagu seda on kujutatud joonisel 76.



Joon. 79. Liikuv plokk töös võitu ei anna.

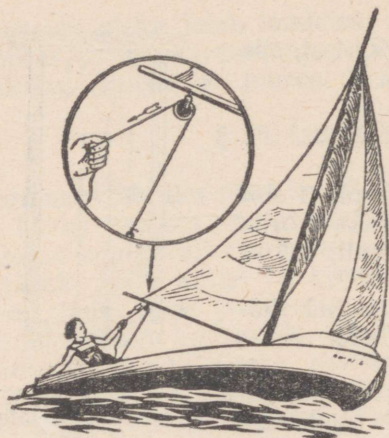


Joon. 80. Liikuva ja liikumatu ploki kombinatsioon.



Joon. 81. Tornkraanas kasutatakse ühte liikuvat (1) ja kahte liikumatut (2 ja 3) plokki.

¹ Praktiliselt on jõud, millega tõmmatakse nõõri, mõnevõrra suurem, sest me ei arvestanud ploki kaalu ja hõõrdumist.



Joon. 82. Ploki kasutamine purjepaadi taglases.

Kinnitanud palgi külge liikumatu ploki ja pannud sellest üle nõöri, mille silmuses asetseb liikuv plokk, võib tööline tõmmata nõöri allapoole, koormus tõuseb aga üles (joon. 80).

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

Joonistel 81 ja 82 on näidatud, kuidas liikuvat ploki kasutatakse tornkraana juures ja purjepaadi taglases.

§ 30. Laboratoorne töö nr. 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 53.
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 pöörlemistelite ja rakenduspunktide vahelised kaugused. Katse tulemused kirjuta tabelisse.

Mõõtmise nr.	Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas F		Jõu-moment ($G \cdot \text{cm}$)	Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas P		Jõu-moment ($G \cdot \text{cm}$)	Jõudude suhe $\frac{F}{P}$	Õlgade suhe $\frac{l_1}{l_2}$
	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. 80). 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)	Jõu-moment (G · cm)	Jõud, mis tasakaalustab koormuse (G)	Õlg (cm)	Jõu-moment (G · cm)
1.						
2.						
3.						

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

Harjutus 15.

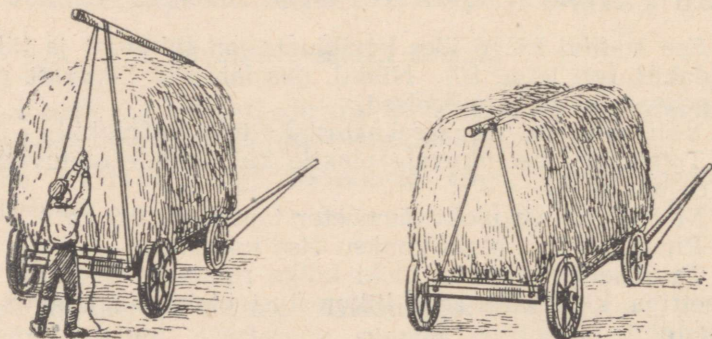
1. Koormus tõsteti liikuva ploki abil 1,5 m kõrgusele. Kui palju tuli seejuures nööri vaba otsa ülespoole tõmmata?

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

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

4. Kuidas kasutada liikutavat ploki selleks, et võita vahemaas?

5. Joonisel 83 on kujutatud koormapuu, mida kasutatakse heinaveol heinte kokkusurumiseks. Selgita, millist plokkide kombinatsiooni on siin kasutatud.



Joon. 83. Koormapuu kasutamine heinakoorma kokkusurumiseks (ülesande 5 juurde).

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

7. Kui raske koormus tuleb riputada kangi otsa D (joon. 84), et kang oleks tasakaalus?

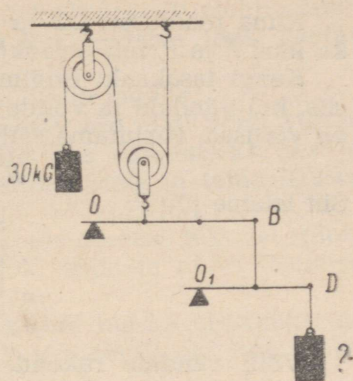
Märkus. Ülesande lahendamisel kangide ja plokkide kaalu, aga samuti ka hõõrdumist arvesse ei võeta.

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

Määra:

a) jõud, millega õpilane rõhus kangile;

b) kui kõrgele tõusis koormus ja kui palju tehti seejuures tööd.



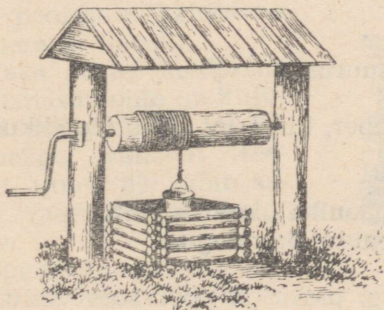
Joon. 84. Ülesande 7 juurde.

§ 31. Pöör.

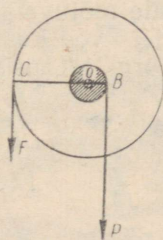
Pööra kõige olulisemaks osaks on telje külge kinnitatud võlli. Võlli külge on omakorda kinnitatud nõör, mis võlli pöörlemisel keerdub tema ümber ja sellega tõstab koormuse üles. Võlli pööratakse vända või suure ratta abil. Joonisel 85 on kujutatud kaevupöör.

Selgitame pööra kasutamise põhimõtet, kasutame selleks skeematilist joonist (joon. 86). 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.



Joon. 85. Kaevupöör.



Joon. 86. Skeem pööra kasutamise selgitamiseks.

Kuna raadiused OB ja OC ei ole võrdsed, siis ei ole võrdsed ka jõud F ja P , mis on rakendatud vastavalt punktides C ja B .

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

$$F \cdot OC = P \cdot OB.$$

Siit leiame jõu F :

$$F = P \cdot \frac{OB}{OC}$$

Võlli vändale rakendatud jõud on nii mitu korda väiksem koormuse 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 töö ei anna.

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

Harjutus 16.

1. Arvuta välja ja kujuta joonisel pöör, mille abil 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 vänt läbib teepikkuse 0,6 m, tehakse seejuures tööd 3 kGm.

Leia:

- vändale mõjuva jõu suurus;
- ämбри ja vee kaal;
- kui kõrgele tõusis ämber, kui vänt läbis teepikkuse 0,6 m.

§ 32. Mehhaanika „kuldreegel“. Mehhanismi kasutegur.

Eespool nägime, et kang, plokk ja pöör töö ei anna. Sajanditepikkune praktika on näidanud, et ükski mehhanism töö 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 liikuma panemiseks, 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.

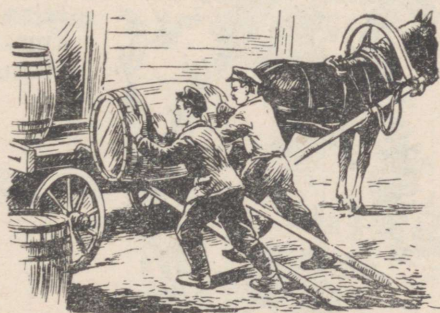
Kuna kasulik töö on alati väiksem kulutatud tööst, siis mistahes mehhanismi kasutegur on alati väiksem ühest ehk, kui väljendada kasutegur protsentides, väiksem kui 100%.

§ 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.

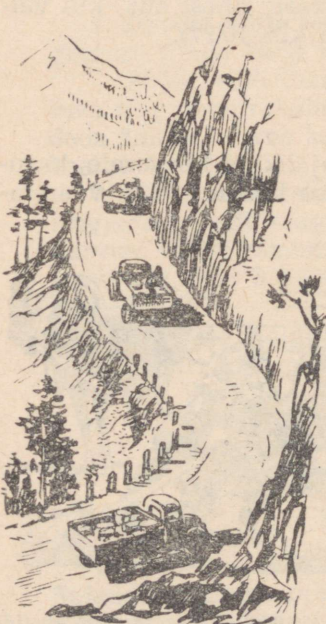
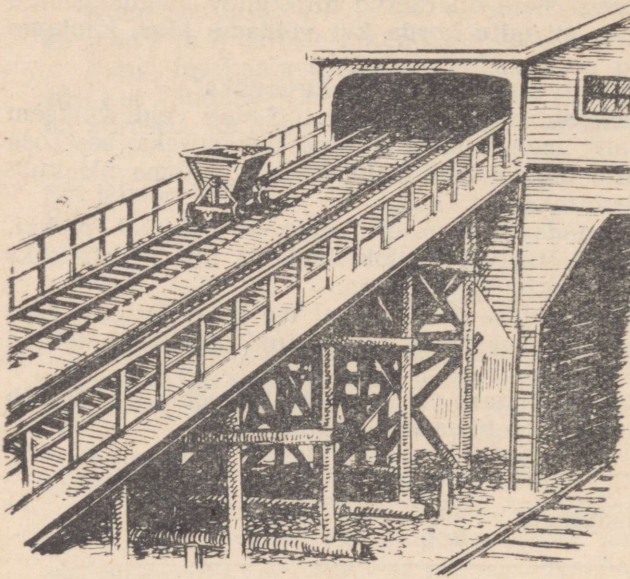
Kaks näidet kaldpinna kasutamise kohta on kujutatud joonisel 87 ja 88. Ülesmäge minevat teelõiku (joon. 89) võib samuti vaadelda kui kaldpinda.

Skemaatiliselt võib mistahes kaldpinda kujutada täisnurkse kolmnurgana (joon. 90), kus BC on kaldpinna kõrgus, AB —



Joon. 87. Kaldpinna kasutamine vaatide veeretamiseks.

Joon. 88.
Vagoneti liikumine
estakaadi mööda
üles.



Joon. 89. Mägitee.

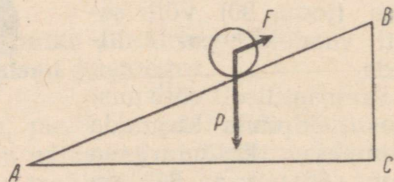
kaldpinna pikkus, P — keha kaal, F — jõud, mille mõjul keha liigub mööda kaldpinda üles.

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

$$A = P \cdot BC.$$

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

$$A = F \cdot AB.$$



Joon. 90. Kaldpinna skeem.

Vastavalt mehhaanika „kuldreeglile“ ei anna ükski mehhanism võitu töös. Järelikult on need kaks tööd omavahel võrdsed¹.

Kirjutame selle võrduse välja:

$$P \cdot BC = F \cdot AB.$$

Moodustame sellest võrdusest võrde:

$$\frac{P}{F} = \frac{AB}{BC}.$$

Võrdest näeme, et kaldpinna kasutades võidame me nii mitu korda jõus, kui mitu korda on kaldpind pikem tema kõrgusest.²

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

§ 34. Laboratoorne töö nr. 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. Mööda saadud kaldpinna pikkus ja kõrgus. Kinnita dünamomeeter klotsi külge ja vea klotsi ühtlaselt mööda kaldpinna üles.

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

Jrk. nr.	Tõmbejõud (kG)	Kaldpinna pikkus (m)	Tõmbejõu töö (kGm)	Klotsi ja vihi kaal (kG)	Kaldpinna kõrgus (m)	Kasulik töö (kGm)	Kasutegur	Kasuteguri keskmine väärtus

¹ Oletame, et hõõrdumine puudub.

² Hõõrdumist seejuures ei arvestata.

3. Saadud andmete abil leia kaldpinna kasutegur protsentides.

Harjutus 17.

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. Mööda 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, 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 $\frac{\text{pööret}}{\text{min}}$) võib otsustada keha pöörleva liikumise nurkkiiruse üle.

Füüsikas mõõdetakse nurkkiirust keha poolt ajatühikus pööratud nurga suuruse järgi. Kui näiteks ratas teeb 60 $\frac{\text{pööret}}{\text{min}}$, siis ühes sekundis teeb ta ühe pöörde, s. t. pöördub ümber pöörlemistelje 360° 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.

		60	pööret min
Tuuleturbiini D-12 ratas (tuule kiirus $8 \frac{m}{s}$)	.....	
Veeturbiini tööratas	.....	umbes	100 "
Traktori C-80 mootori völl	.....	küni	1000 "
Lennuki propeller	.....	"	1200 "
Sõiduauto „Moskvitš 402“ mootori völl	.....	"	4200 "
Elektrimootori völl	.....	"	6000 "
Separaatori „Uraal-3“ trummel	.....	"	8250 "
Kudumismasina värten	.....	"	18000 "

Kiirust, millega liigub pöörleva keha mingi punkt, nimetatakse selle punkti joonkiiruseks. Joonkiirust mõõdetakse meeter-sekundites ($\frac{m}{s}$).

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 $300 \frac{\text{pööret}}{\text{min}}$ ja tema põhja raadius on 2 cm?

L a h e n d u s:

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

V a s t u s: $v = 6,28 \frac{m}{s}$.

§ 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.

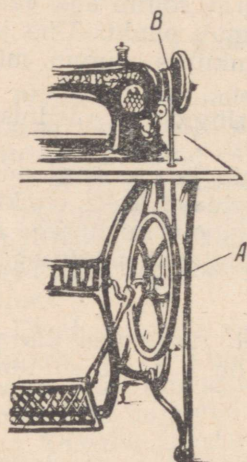
Jalgrattaga sõitmisel rõhub jalgrattur jalgade jõuga pedaali-
dele, pannes need pöörlema. Pedaalide pöörlev liikumine antakse
keti abil üle (kettülekanne) jalgratta tagumisele rattale.

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.

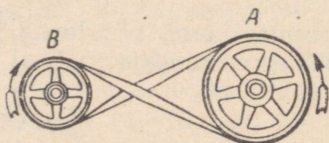
Vaatleme nüüd sagedamini esinevaid ülekannete liike.

a) **Rihmülekanne.** Lihtsaim rihmüle-
kanne on esitatud joonisel 91. Üle kahe
ratta *A* ja *B*, mis on kinnitatud paralleel-
setele võllidele, on pandud rihm. Liiku-
mine antakse ühelt rattalt edasi teisele
hõõrdumise olemasolu tõttu rihma ja
rataste vahel.

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



Joon. 91. Rihmüle-
kande kasutamine
õmblusmasina juures.



Joon. 92. Ristuv rihmüle-
kanne.

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 92.

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 pööreid. Kui rataste diameetrid aga ei ole võrdsed, siis nende pöörete arvud on pöördvõrdelised diameetritega.

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

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

Siit

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

kus D_1 ja D_2 on rataste diameetrid.

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

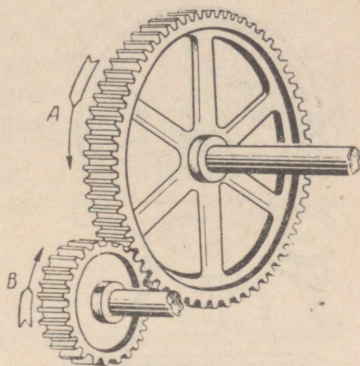
Ühe ratta hambad (joon. 93) annavad vahetu hambumise teel teise ratta hammastega edasi pöörlemist ja jõudu ühelt võllilt teisele.

Et selgitada, millise pöörete arvuga hakkavad liikuma võllid hammasülekannde puhul, vaatleme näidet. Oletame, et vedaval hammasrattal on 75 hammast, veetaval aga 25. Kui vedav hammasrattas pöörduv ühe hamba võrra, siis veetav hammasrattas pöörduv samuti ühe hamba võrra. Järelikult, kui 75 hambaga hammasrattas teeb ühe täispöörde, teeb 25 hambaga hammasrattas kolm täispööret. Teisiti sõnastatult, **hammasülekannde puhul on hammasrattaste pöörete arvud pöördvõrdelised nende rataste hammaste arvudega.**

Hammasülekanne on lihtne, töökindel ja kauakestev. Teda kasutatakse väga mitmesugustes masinates ja mehhanismides: kellades, treipinkides, õmblusmasinates (joon. 94), autodes (joon. 95), vintsides (joon. 96) jm.

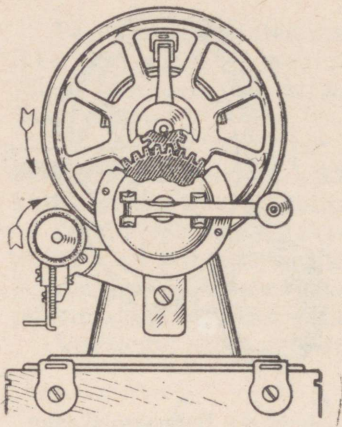
Joonisel 97 on kujutatud mehhaaniline press metallist esemete stantsimiseks. Elektrimootorist (paremal pool üleval) antakse liikumine kõigepealt edasi rihmülekannde teel, seejärel aga hammasülekannde teel (üleval vasakul).

Hammasrattaste valmistamiseks kasutatakse tänapäeval sageli tekstoliiti¹. Tekstoliidist hammasrattad töötavad müratult ja on töös niisama täpsed kui terasest hammasrattad.



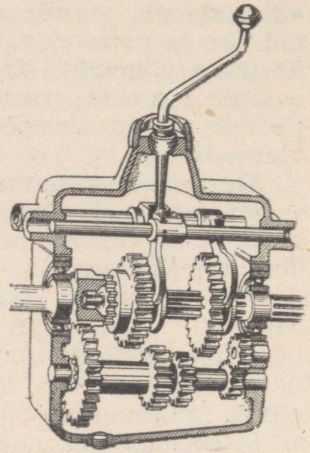
Joon. 93. Hammasülekanne.

¹ Tekstoliiti valmistatakse mitmekihilisest tekstiilmaterjalist (kangast), mis on erilise lakiga suure rõhu all kokku kleebitud.



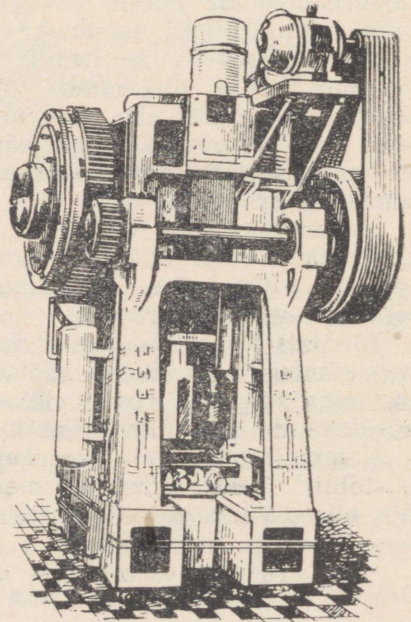
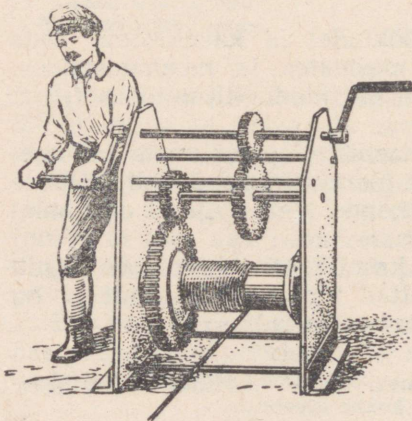
Joon. 94. Hammas- ja friktsioonülekanne õmblusmasinas.

Joon. 95. Hammasülekanne autos (käigukast).

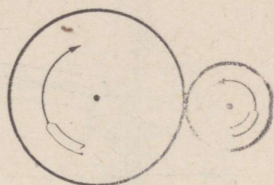


Joon. 97. Hammas- ja rihmülekanne mehhaanilises pressis.

Joon. 96. Vints.



c) **Friktsioonülekanne**¹. Praktikas kasutatakse veel nõndanimetatud friktsioonülekannet. Friktsioonülekanne juures surutakse kaks ratast mingi kindla jõuga teineteise vastu (joon. 98). Ühe ratta pöörlemisel hakkab ka teine hõõrde tõttu pöörlema, kuid vastupidises suunas. Selline ülekanne esineb näiteks õmblusmasina ratta ja pooliratta vahel (joon. 94).



Joon. 98. Friktsioonülekanne skeem.

Harjutus 18.

1. Kumb joonisel 92 kujutatud ratastest pöörleb kiiremini? Miks?

2. Too näiteid rihm- ja hammasülekanne kasutamise kohta oma kooli töökojast.

3. Kaks võlli on ühenduses „lõputa“ rihmaga. Veovõll teeb 150 $\frac{\text{pööret}}{\text{min}}$. Veetavale võllile, mis peab pöörlema kiirusega 375 $\frac{\text{pööret}}{\text{min}}$ on kinnitatud rihmaratas, mille diameeter on 250 mm. Kui suure diameetriga peab olema veovõlli rihmaratas?

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

§ 37. Lihtmehhanismide kasutamisest masinates.

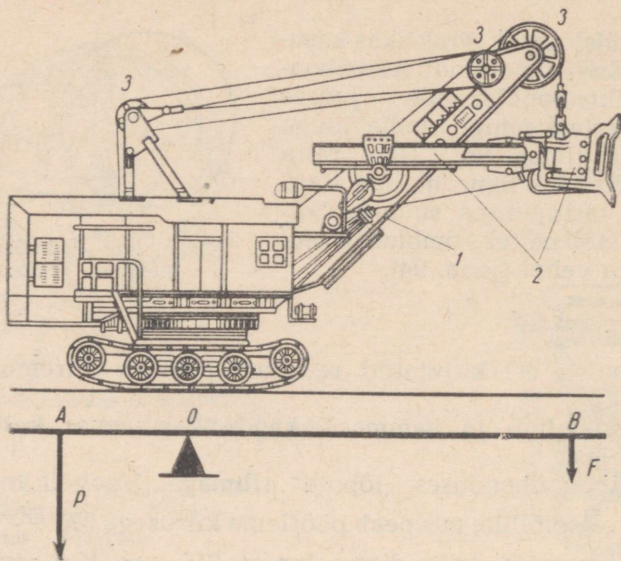
Tänapäeva tööstuses, põllumajanduses ja transpordis kasutatakse väga palju mitmesuguseid masinaid. Igas masinas või tööpingis on aga palju lihtmehhanisme.

Vaatleme näiteks ekskavaatori ehitust. Ekskavaatorit kasutatakse kanalite kaevamiseks, ehitusplatsidel süvendite tegemiseks jm. Selle keerulise masina lähema tundmaõppimiseta võib juba öelda, et töötamise ajal tegutseb ekskavaator kangina (joon. 99). 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 hammasülekannete ühendust. Vintsi võll pannakse pöörlema mootori abil.

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



§ 38. Kehade potentsiaalne ja kineetiline energia.

1. Energia mõiste. Ülestõstetud kivil 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 (joon. 100, a). Kui kokkusurutud vedru lahti lasta, siis võib ta teha tööd, näiteks tõsta üles ringi koormuse (joon. 100, b). Tähendab, kokkusurutud vedrul, ii 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.

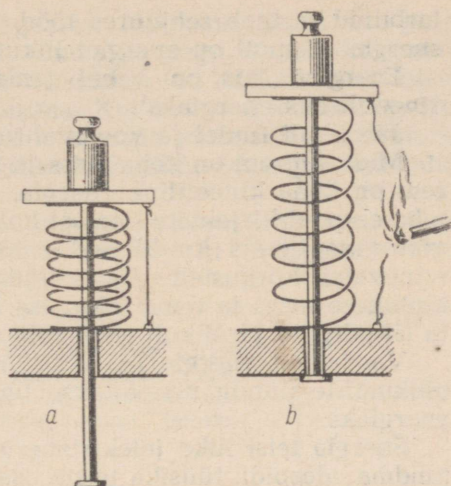
2. Potentsiaalne energia. Potentsiaalse energia¹ näideteks on ülestõstetud koormuse energia, kokkusurutud vedru või kokkusurutud gaasi energia.

¹ Sõna potentsiaal tuleneb ladinakeelsest sõnast *potentia*, mis tähendab võimet.

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 elektrijaamade võimsad turbiinid.

Kokkusurutud gaasi 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. 100. Kokkusurutud vedru (a) teeb lahti lastes tööd — tõstab üles mingi koormuse (b).

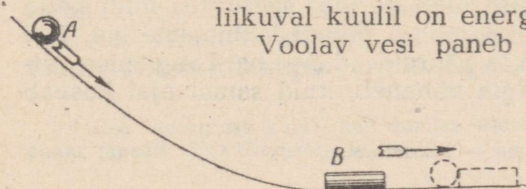
Vaadeldud näidetest selgub, et **potentsiaalne energia sõltub kehade või tema osade vastastikusest asendist** (Maa kohale üles tõstetud keha, kokkukeeratud spiraalvedru, kokkusurutud gaas jne.).

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

Voolav vesi paneb elektrijaamades pöörlema



Joon. 101. Liikuv kuulike A teeb tööd — nihutab edasi silindrit B.

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 energiaks¹.

Järelikult tuulel ja voolaval 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 kehal 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. Tõepoolest, 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 töödk, 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.

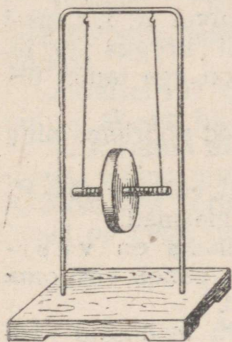
Vaatleme neid muundumisi katseseadisel, mis on kujutatud joonisel 102.

Tõstame katseseadise ketta üles, kerides seejuures niidi ketta völli. Ülestõstetud kettal on teatud potentsiaalne energia. Kui lasta ketta lahti, siis hakkab ta pööreldes langema. Langemise vältel ketta potentsiaalne energia väheneb, kuid samal ajal kasvab

¹ Kreekakeelsest sõnast *kinema* — liikumine.

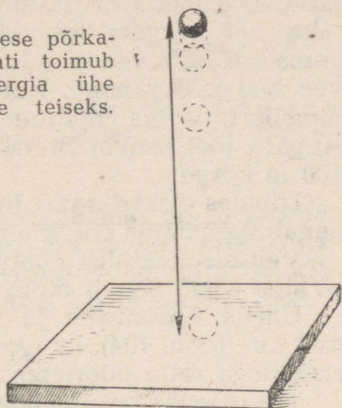
tema kineetilise energia. Langemise lõpul on kehal nii palju kineetilist energiat, et ta võib tõusta peaaegu samale kõrgusele tagasi, kust ta langema hakkas.¹ Tõusnud üles, hakkab ketas uuesti langema ning seejärel jälle tõusma. Kui ketas selle katse juures liigub alla, siis tema potentsiaalne energia 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.



Joon. 102. Katse seadis potentsiaalse energia muundamise kohta kineetiliseks energiaks ja kineetilise energia muundamise kohta potentsiaalseks energiaks.

Joon. 103. Kuulikese põrkamisel vastu plaati toimub mehhaanilise energia ühe liigi muundumine teiseks.



Tõstame terasplaadi kohal üles teraskuulikese (joon. 103). 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 toimel oma esialgse kuju tagasi, kuulike eraldub plaadist ning nende potentsiaalne energia muundub uuesti kuulikese kineetiliseks energiaks — kuulike põrkab üles peaaegu niisama suure kiirusega, mis tal oli põrkemomendil. Kui kuulike liigub üles, siis tema kiirus, järelikult ka kineetiline energia, väheneb, potentsiaalne energia aga suureneb. Kuulike tõuseb pärast kokkupõrget plaadiga üles peaaegu endisele kõrgu-

¹ Osa energiat kulub hõõrdumise ületamiseks, seepärast ketas ei jõua enam täpselt lähtekõrgusele tagasi.

sele. 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.

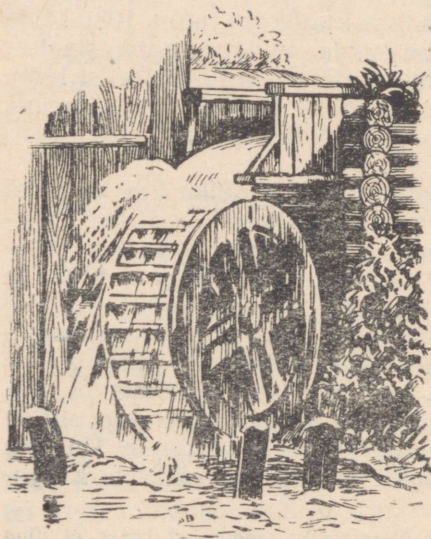
Kuna voolaval veel on kineetilist energiat, siis võib ta teha kasulikku tööd. Et kasutada jõgede kineetilist energiat, tõkestatakse nad kõrgete tammidega. Mida kõrgem on tamm, seda kõrgemale tõuseb vee tase ja seda rohkem potentsiaalset energiat on vee igal kilogrammil. Kuibõševi linna juures asuval V. I. Lenini nimelisel Volga hüdroelektrijaamal on tammi kõrgus 36 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.

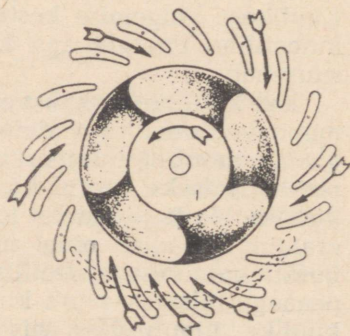
Vee mehhaanilist energiat nimetatakse sageli „valgeks sööks“. „Valge süsi“ paneb tööle mitmesugused veejõumasinad.

Üheks lihtsamaks ja vanemaks veejõumasinaks on vesiratas (joon. 104). Langedes vesiratta labidatele, paneb vesi oma raskusega ratta pöörlema ja teeb seejuures tööd.

Tänapäeval kasutatakse tehnikas väga palju moodsaid veejõumasinaid — veeturbiine.



Joon. 104. Vesiratas.



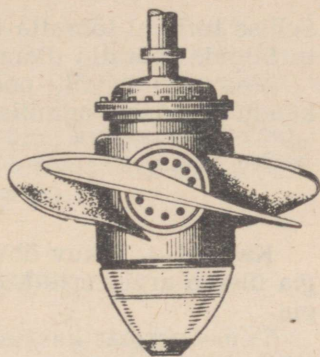
Joon. 105. Turbiini tööratta labidatele vee juhtimise skeem. 1 — tööratas (vaade ülalt), 2 — juhtratta labidad, 3 — labidate asend siis, kui turbiin ei tööta.

Joonisel 105 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. 106), millega pannaksegi tööratas pöörlema. Seejuures annab vesi oma kineetilise energia tööratasle.

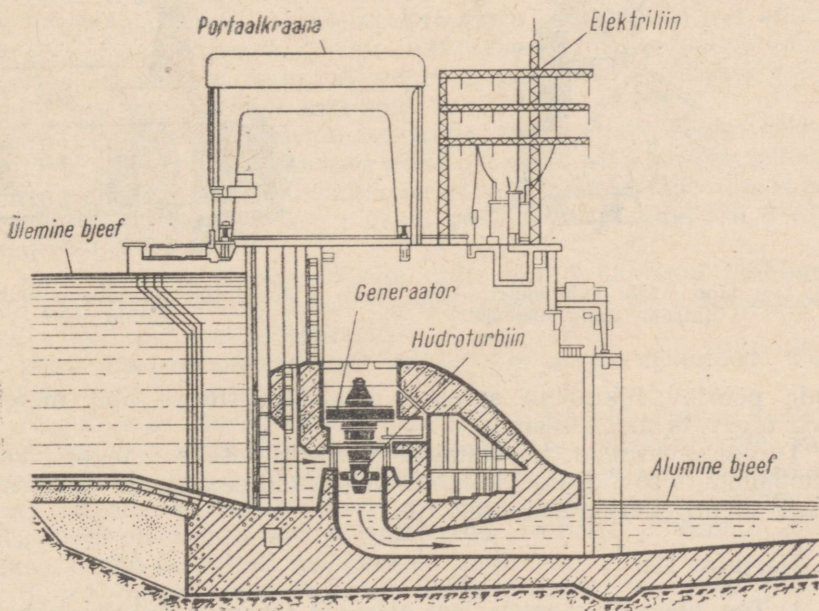
Turbiini tööratas ühendatakse elektrivoolu andva elektrigeneraatori võlliga.

Joonisel 107 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.



Joon. 106. Hüdroelektrijaama turbiini tööratas.



Joon. 107. Turbiini paigutuse skeem hüdroelektrijaamas.

Sellise turbiini töörotta üks tiib kaalub juba üksinda 20 T. Suurte turbiinide töörotta diameeter ulatub kuni 10 meetrini.

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

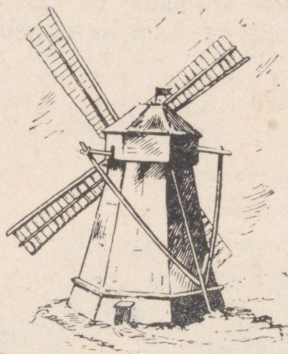
§ 41. Tuulejõumasinaid.

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

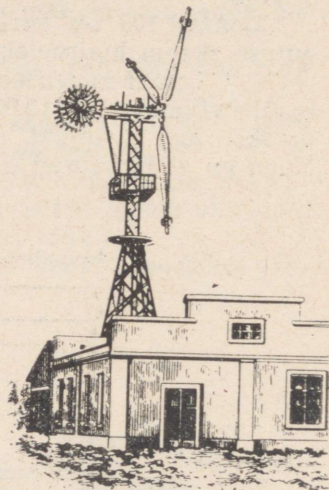
Tuuleenergiat kasutatakse tuulejõumasinates.

Tuulejõumasinaid tunti juba ammu. Joonisel 108 on kujutatud tuuleveski. Kaasaegne tuuleturbiin on kujutatud joonisel 109.

Liikuvad õhumassid avaldavad tuulejõumasinate tiibade kaldpindadele rõhku ja panevad need pöörlema. Tii-



Joon. 108. Tuuleveski — lihtsaim tuulejõumasin.



Joon. 109. Kaasaegne tuuleturbiin.

bade 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 19.

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.

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

§ 42. Tööde mehhaniseerimine.

Juba vanasti kasutasid inimesed plokkke, 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 materiaalsel olukorda. Kapitalistlikes maades soodustab mehhaniseerimine tööliste ekspluateerimist 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, fraktorite, 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 töölist.

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, kombanide ja teiste põllumajandusmasinate kasutuselevõtmine lubas ennenägematult lühikese ajaga üles harida miljoneid hektareid uudismaid ning tõsta tunduvalt meie maa elanikkonna elatustaset.

IV PEATUKK.

SOOJUS JA TÖÖ.

§ 43. Kehade soojenemine hõõrdumisel, 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 määratud rattavõllid. Noa teritamisel käial soojeneb nii nuga kui ka käi. Külmad meteoriidid, 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.

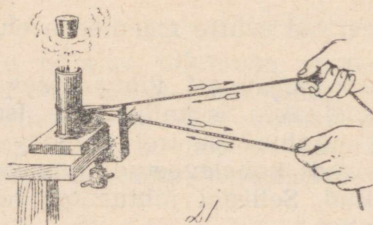
Kehade soojenemist hõõrdumisel võib jälgida ka alljärgneva katse abil.

Kinnitame aluse külge õhukeseseinalise valgevasest 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 110 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.

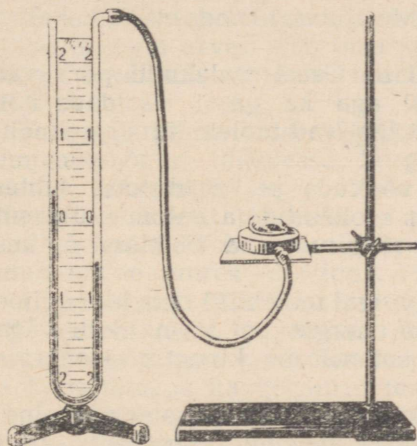
Keha soojeneb ka tagumisel,



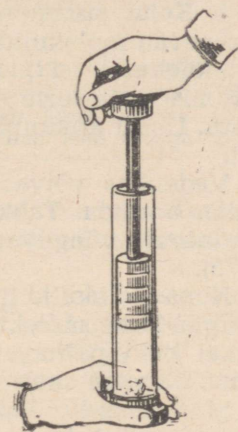
Joon. 110. Metalltoru soojenemine hõõrdejõudude ületamisel tehtud töö tõttu.

mida võib samuti näidata katseliselt. Joonisel 111 on kujutatud lapik metallkarp, mis on ühendatud kummitoru abil vedelikmanomeetriga, milles vedelikuna kasutatakse piiritust.

Paneme karbi peale tüki seatina ja märgime üles vedeliku nivoo manomeetris. Võtame nüüd karbi pealt seatinatüki ära, paigutame ta alasile ning lööme siis tükile mitu korda raske vasaraga. Kui pärast seda panna seatinatükk 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 ärategemist seatina soojenes, soojendas ka karpi ning selles olevat õhku. Selle tulemusena õhu rõhk karbis suureneski.



Joon. 111. Tagumisel soojenenud seatinatükk võib omakorda märgatavalt soojendada õhku kinnises metallkarbis. Manomeeter näitab soojenenud õhu rõhu suurenemist.



Joon. 112. Õhu kiirel kokkusurumisel süttib eetriga immutatud vatt põlema.

Teeme veel ühe katse. Võtame paksuseinalise silindrikujulise klaasanuma, milles liigub kolb. Anuma põhjale paneme tüki eetriaga immutatud vatti. Kui nüüd anumasse on õhk kiiresti kokku suruda, siis vatt süttib põlema (joon. 112).

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

Me teame, et kehade soojenemine võib toimuda aga ka soojusülekanne 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 põrkavad 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 kehaes molekulid ja aatomid üldiselt aga ainult võnguvad. Sellest on räägitud juba VI klassi õpikus (§ 75).

Kuna molekulid liiguvad, siis on igal molekulil oma kineetiline energia. Uhe 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 kehal 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 muutuda. 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 (jcon. 113).

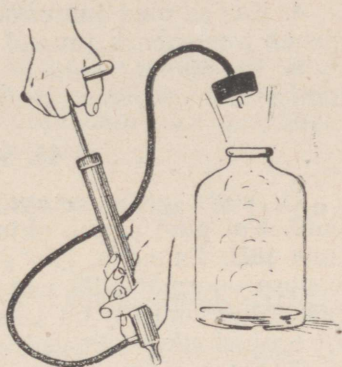
Udu koosneb väikestest veetilgakestest ning ta tekib veeaurust selle temperatuuri langemisel. Järelikult, kui kokkusurutud õhk surus korgi anuma pealt ära ja paisus, s. t. tegi tööd, siis tema (ja koos temaga ka veeauru) temperatuur langes. Temperatuuri langus näitab aga kokkusurutud õhu siseenergia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

Kui pärast udu ilmutumist 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 veetilgakased aurustusid uuesti.

Tehtud katses ja arutlustes 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. 113. Pumba abil anumasse kokkusurutud õhk lükkab korgi anuma pealt ära ning teeb sellega tööd.

Harjutus 20.

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

2. Miks masinate laagrite puksid võivad üles sulada, kui neid küllaldaselt ei määrata?

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) kõnvektsiooni 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, kuumaksaetud triikmasin, mida ei saa puudutadagi, külma tuba ei soojenda, soe ahi või keskkütte radiaatorid soojendavad aga tuba hästi.

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 — kalor¹ (cal), mida kasutatakse veel tänapäevalgi.²

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.

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal.}$$

¹ Kalor tuleneb ladinakeelsest sõnast *calor* — soe, palav.

² Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kasutatakse soojushulga mõõtühikuna džauli. (Toim.)

§ 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.

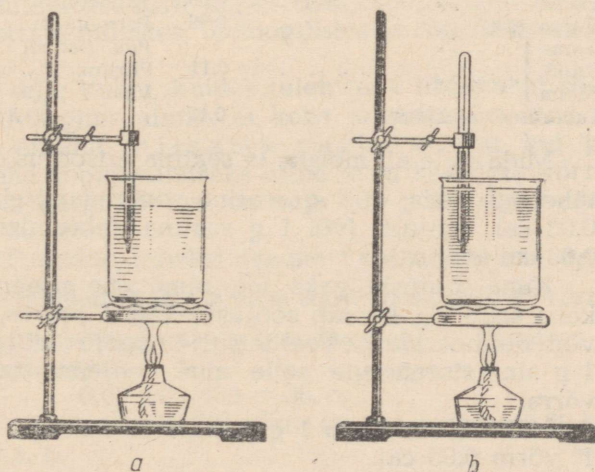
1 g vee soojendamiseks	1° võrra	kulub	1 cal
500 g " "	1° " "	" "	500 cal
500 g " "	100° " "	" "	50 000 cal ehk 50 kcal.

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 seatina, 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. 114).



Joon. 114. Võrdsete massidega vee (a) ja petrooleumi (b) kogused soojenevad ühesugustes tingimustes erinevalt: petrooleum rohkem kui vesi.

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.

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

Aine erisoojust mõõdetakse ühikutes $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraad}}$

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

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

Mõningate teiste ainete erisoojused on antud alljärgnevas tabelis.

Mõningate ainete erisoojuste tabel

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

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

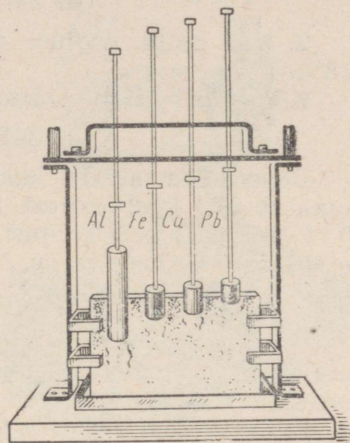
Kuna soojushulgaks me nimetame siseenergia suurust, mille keha saab või kaotab soojusülekande juures, siis aine erisoojust võib defineerida ka veel teisiti: **erisoojus näitab, kui palju muutub 1 g aine siseenergia selle aine soojenemisel või jahtumisel 1° võrra.**

Näiteks suureneb 1 g seatina siseenergia tema kuumutamisel 1° võrra 0,03 cal.

Harjutus 21.

Füüsika kabinetis kasutatakse metallide erisoojuste demonstreerimiseks joonisel 115 kujutatud õppeabinõu. See õppeabinõu koosneb neljast võrdse massiga silindrist, mis on valmistatud vastavalt alumiiniumist, rauast, vasest ja seatinast. Kõiki neid silindreid on võimalik lasta lihtsa seadise abil alla parafiinist plaadi serva vastu. Enne katse tegemist soojendatakse silindreid keevas vees.

Joonisel 115 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?



Joon. 115. Katse, mis näitab metallide erisoojuste erinevust.

§ 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 aastaegadel 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° võrra.

Leheküljel 92 toodud tabelist leiame vase erisoojuse, see on $0,09 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraad}}$. See tähendab, et 1 g vase soojendamiseks 1° võrra on vaja 0,09 cal soojust. 400 g vase soojendamiseks 1° võrra on vaja 400 korda rohkem soojust, s. t.

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

400 g vase soojendamiseks 20° 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° -st 18° -ni?

Kõigepealt tuleb määrata, mitme kraadi võrra raud jahtub:

$$345^{\circ} - 18^{\circ} = 327^{\circ}.$$

Erisoojuste tabelist leiame, et 1 kg raua jahtumisel 1° võrra eraldub 0,11 kcal soojust. 2 kg raua jahtumisel 1° võrra eraldub $0,11 \cdot 2 = 0,22$ kcal soojust. Kui raud jahtub aga 327° 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° , keha lõpptemperatuur tähega t_2° ja soojushulk tähega Q , siis võib soojushulga leidmiseks anda järgmise valemi:

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

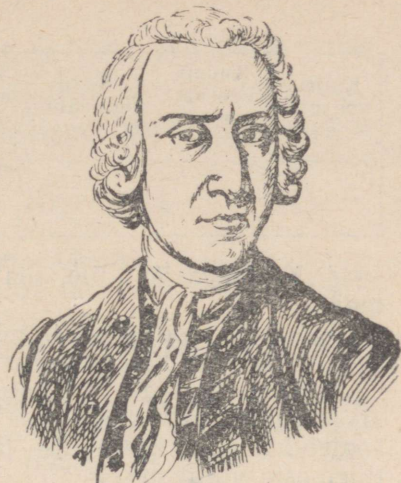
Harjutus 22.

1. Alumiiniumi erisoojus on $0,21 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraad}}$. Mida see tähendab?
2. Valgevase- ja klaasitükki, mille massid on võrdsed, soojendatakse võrdse arvu kraadide võrra. Kumba keha soojendamiseks kulub rohkem soojust?
3. Milline vedelik leheküljel 92 olevas tabelis soojeneb kõige kiiremini, kui kõik tingimused on ühesugused?
4. Millele kulub rohkem soojust: kas 1,5 kg vee soojendamiseks 5° võrra või 1 kg vee soojendamiseks 10° võrra?
5. Kui palju vett võib soojendada 15° -st 60° -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° võrra?
7. Kahest ühesugusest 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° ?
9. Arvuta, mitme kraadi võrra soojeneb 500 g vett, kui vette lasta 500 g vaske, mis jahtub vees 80° -st 20° -ni.

10. Richmani¹ ülesanne. Segati m_1 grammi vett, mille temperatuur oli t_1° , m_2 grammi veega, mille temperatuur oli t_2° . Leia saadud segu temperatuur.

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

11. Graafikul (joon. 116) on kujutatud külma vee soojenemise ja sellesse vette pandud kuumale keha jahtumise protsessid sõltuvalt ajast. Külma vee algtemperatuur on t_1° , kuumale keha algtemperatuur aga t_2° . Selgita, kuidas sellise graafiku abil määrata vee ja keha lõpptemperatuuri Θ ; kas keha jahtumine ja vee soojenemine toimub ühesuguse kiirusega või mitte?



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

§ 48. Laboratoorne töö nr. 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.

¹ Richman andis esimesena valemi sellist tüüpi ülesannete lahendamiseks.

Kuuma vee mass m_2	Kuuma vee algtemperatuur t_2°	Segu temperatuur Θ	Soojushulk, mille annab ära kuum vesi Q_2	Külma vee mass m_1	Külma vee algtemperatuur t_1°	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 põhiallikaks 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.

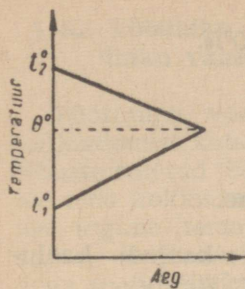
Soojushulka, mis saadakse 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse kütuse kütteväärtuseks ehk kütuse kalorsuseks.

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

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



Joon. 116. Graafik vee soojenemise kohta sellesse vette pandud kuumade keha mõjul. t_1° ja t_2° — vee ja kuumutatud keha algtemperatuurid. θ° — vee ja keha lõpptemperatuur.

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

Harjutus 23.

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 täielikult ärapõlemisel 15 kg pruunsütt? 200 g piiritust?

5. Kui palju peab ära põletama kuivi puid, et saada 36 000 kcal soojust?

6. Mitme kraadi võrra võiks tõusta 2 kg vee temperatuur, kui põletada 10 g piiritust ja kogu põlemisel eraldunud soojust läheks vee soojendamiseks?

§ 50. Soojendaja kasutegur.

Keha soojendamisel ei lähe mitte kogu soojendaja poolt antav energia ettenähtud eesmärgiks, s. t. keha soojendamiseks.

Kui näiteks soojendada pliidil 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 priimusel 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 nr. 6.

Soojendaja kasuteguri määramine.

Töövahendid: piirituslamp piiritusega; kaalud; kaaluvihid; kolb; klaas veega; mensuur; termomeeter; statiiv.

Töö käik:

1. Vala kolbi 150—200 g vett ja mõõda tema temperatuur.
2. Leia piirituslambi ja piirituse mass enne katsset.
3. Soojenda piirituslambil vett ja mõõda seejärel vee temperatuur. Mõõtmis- ja arvutustulemused kirjuta vastavasse tabelisse:

Piiritus				Vesi			
Piirituslambi ja piirituse algmass	Piirituslambi mass pärast katsset	Arapõlenud 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 töö saadud andmete järgi piirituslambi kasutegur.

Harjutus 24.

1. Määra priimuse kasutegur, kui 4 l vee soojendamiseks 20°-st 100°-ni kulus 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 gaasi põleti 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 vasaralööki-dega seatinatükki.

Keha soojenemine näitab tema siseenergia suurenemist. Järelikult, tehtud töö tõttu suurenes õhu ja seatina siseenergia.

Teame, et on veel teine tee keha siseenergia suurendamiseks — kehale soojuse ülekandmine mehhaanilist tööd tegemata.

Selleks võib nõus olevat õhku või seatina 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 abil¹, millega tutvume hiljem, on tehtud kindlaks, 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 džaul.

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kGm.}$$



James Percscott 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.

¹ Tööühikute ja soojushulga ühikute vaheliste seoste leidmisel töötas palju ja viljakalt inglise õpetlane James Joule.

$1 \text{ kGm} = 9,8 \text{ J}$ (§ 22), 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
 $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$,
 $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$.

§ 53. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides.

Energia muundumise nähtusi mehhaanilistes protsessides vaadeldi 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.

Konkreetseks näiteks selle kohta võiks olla kuuma ja külma vee segamise katse, mille me tegime laboratoorse tööna.

Paragrahvis 43 me vaatlesime kehade soojenemise mitmesuguseid nähtusi, mis ilmnesid hõõrdumisel ja tagumisel. Tehtud töötõttu, 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 ilmnesid 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 õpetlastel 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.

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 katkematu vee ringlus toimub kõik päikeseenergia arvel. Kuid sellega päikeseenergia tähtsus veel ei piirdu. Me teame, kui suurel määral sõltub taimede ja loomade elu valgusest ja soojusest. Taimedes toimub päikeseenergia muundumine keemiliseks energiaks.

Seda taimede keemilist energiat kasutavad aga inimesed, tarvitatades taimi toiduks või kütuseks. Kivisüsi, mis on veel tänapäevalgi üheks peamiseks energiaallikaks, kujutab endast vanasti suurtel maa-aladel lopsakalt kasvanud metsade kivistunud jäänuseid.

Soodes moodustub kõdunevatest taimedest turvas, mida laialdaselt kasutatakse kütusena.

Taimedest toituvate loomade ja ka inimeste energia on kujundunud päikeseenergiast. Maale langeva päikesekiirguse võimsus on palju kordi suurem tänapäeval inimkonna poolt kasutatavast energiast. Päikeseenergia arvel on aasta keskmine temperatuur maakeral ligikaudu 15° .

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 10% sellest päikeseenergiast, mis langeb meie linnades majade katustele, siis kataksime nende linnade vajadused kõigi energia-liikide osas ja jääks veel ülegil!

Mitte väga ammu õppis inimkond kasutama uut võimsat energiaallikat — aatomienergiat. See energia ei ole seotud Päikesega.

AINE ÜLEMINEK ÜHEST AGREGAATOLEKUST¹ 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 **amorfsed**.

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).

Naftaliini kristallid sulavad 80° juures. Kui asetada katseklaas tahke naftaliiniga keeva vette, siis naftaliin sulab ning me saame vedela naftaliini.

¹ Aine agregaatolek on üldine nimetus aine kolmele füüsikalisele olekule: tahkele (kristallilisele), vedelale ja gaasilisele.

Tina- või pliitükke võib sulatada teraslusikal, kui kuumutada lusikat piirituslambi leegil. Malm ja teras sulavad aga väga kõr- gel temperatuuril, umbes 1500° juures.

Temperatuuri, mille juures toimub sulamine, nimetatakse sulamispunktiks.

Kui sulanud ainet jahutada, siis muutub ta uuesti vedelast olekust tahkeks — tahkestub.

Kristalliliste ainete tahkestumist nimetatakse **kristalliseeru- miseks.**

Temperatuuri, mille juures toimub kristalliseerumine, nimeta- takse kristalliseerumispunktiks.

Katsed näitavad, et kristallilised ained tahkestuvad samal tem- peratuuril, mille juures nad ka sulavad. Näiteks vesi kristallisee- rub (ning jää sulab) 0° juures, puhas raud sulab ja kristalliseerub 1530° juures jne.

Vaatleme naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafikut joonisel 118.

Naftaliini temperatuuri jälgimine algas momendil, mil nafta- liini temperatuur oli 55°. Edasisel soojendamisel naftaliini tempe- raatuur tõusis kuni 80°-ni. 80° juures hakkas naftaliin sulama. Kogu sulamise aja kestel naftaliini temperatuur ei muutunud, kuigi naftaliini soojendamine jätkus. Pärast seda, kui kogu nafta- liin oli sulanud, s. t. oli muutunud vedelaks, hakkas tema tempe- raatuur uuesti tõusma. Temperatuur tõusis kuni 90°-ni. Seejärel põleti kustutati ja vedel naftaliin hakkas jahtuma. Kui naftaliini temperatuur oli langenud 80°-ni, algas kristalliseerumisprotsess. Niikaua, kuni kogu naftaliin polnud tahkestunud, tema tempera- tuur ei muutunud. Alles pärast tahkestumist hakkab naftaliini temperatuur langema.

Sellised nähtused ilmnevad ka ükskõik millise teise tahke kris- tallilise 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 tahkestumis- temperatuurid 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	Plii	232
Hapnik	—219	Tina	327
Lämmastik	—210	Tsink	419
Piiritus	—114	Alumiinium	658
Elavhõbe	—39	Kuld	1063
Jää	0	Vask	1083

Raud, tehniline	1170—1440	Tantaal	3030
Raud, puhas	1530	Volfram	3370
Plaatina	1770		

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, kuhu siis 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, ehitusdetailile 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 ei ole kindlat sulamis- 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 korrapäratu asetuse. Tahked amorfsed kehad — need on väga tihedad vedelikud.

Harjutus 25.

1. Miks kasutatakse külmades rajoonides välistemperatuuri mõõtmiseks elavhõbetermomeetrite asemel piiritustermomeetrid?
2. Kas plii sulab, kui ta visata sula tinasse?
3. Kas alumiiniumist keedunõus võib sulatada tsinki?

Naftaliini soojendamise ja sulamise jälgimine.

Töövahendid: läi katseklaas; termomeeter; naftaliin; keeduklaas; piirituslamp.

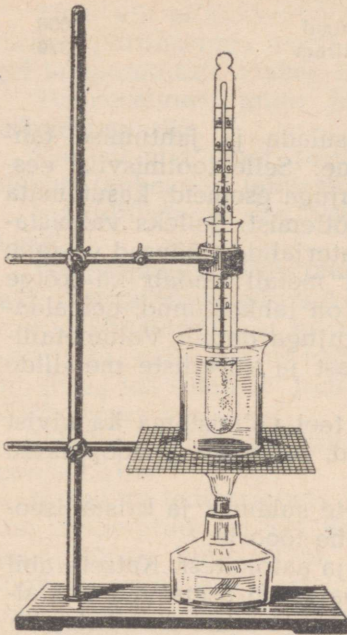
Töö käik:

1. Pane katseklaasi naftaliini ja pista sellesse termomeeter. Seejärel aseta katseklaas veega täidetud keeduklaasi ja soojenda siis keeduklaasi piirituslambi nõrga leegi kohal (joon. 117).

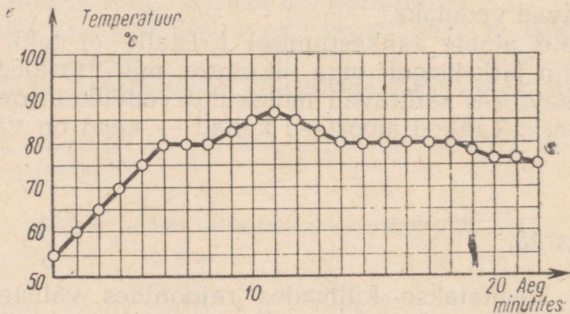
2. Kui naftaliin on soojenenud 55 kraadini, siis hakka iga minuti tagant märkima vihikusse üles naftaliini temperatuuri seni, kuni naftaliini temperatuur on tõusnud 90°-ni. Seejärel võta katseklaas kuumast

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 millimeeterpaberile graafik, mis näitab naftaliini temperatuuri muutumist sõltuvalt soojendamise ajast (sellise graafiku näide on toodud joonisel 118).



Joon. 117. Katseseadis naftaliini soojenemise ja sulamisprotsessi jälgimiseks.



Joon. 118. Naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafik.

4. Märgi graafikul ära naftaliini sulamis- ja kristalliseerumistemperatuurid. Võrdle neid. Millise järelduse võid sa teha selle võrdluse põhjal?

5. Jälgi naftaliini temperatuuri sulamis- ja kristalliseerumisprotsessi jooksul.

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 graafikust (joon. 118) 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.

Järelikult, 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°-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
Plii	14
Tina	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 siseenergia 80 cal võrra suurem 1 g jää siseenergiast.

Järelikult, **sulamissoojus näitab, kui palju suureneb 1 g aine siseenergia selle aine üleminekul tahkest olekust vedelasse olekusse temperatuuri muutumiseta.**

Pöördume veel kord tagasi naftaliini sulamise ja kristalliseerumise graafiku juurde (joon. 118). Vaatleme nüüd graafiku seda osa, mis näitab naftaliini jahtumist.

Sula naftaliini jahtumisel tema temperatuur langeb. Niipea aga, kui temperatuur on jõudnud kristalliseerumispunktini, lakkab 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 muutmatuks, 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 26.

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 on 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 valgevastest kaaluvihit kuumutati 100°-ni ja asetati siis jäässe tehtud süvendisse. Jää temperatuur on 0°. Mitu grammi jääd sulab veeks kaaluvihki 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 terast, roostevaba terast või terast, 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 terasortidel. Duralumiiniumist ja sellega sarnastest sulamitest valmistatakse tooteid, mis peavad olema kerged ja vastupidavad, nagu näiteks autode, 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 pliidist ($t_{\text{sul}}^{\circ} = 232^{\circ}$) ja ühest osast tinast ($t_{\text{sul}}^{\circ} = 327^{\circ}$), sulab 95° C juures. Niisugusest sulamist valmistatud teelusikas sulab keevas vees. Sellistest sulamitest valmistatakse harilikult auru-

katelde 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 tulekaitseeadeldistes.

Praktikas laialdaselt kasutatav jootetina koosneb kahest osast tinast ja ühest osast pliiist. Jootetina sulamistemperatuur on 180° , 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 hõõrde tõttu laager kuumeneb ning babiidist laager põleb läbi. 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 a u r u.

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 põrkavad.

Kuna vedelikust auruna väljuvate molekulide energia on suurem 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. 119). 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 niisutada 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 pörandale, siis aurub see võrdlemisi kiiresti.

Ühel ja samal temperatuuril auruvad ühed vedelikud kiiremini, teised aeglasemalt.

Seda nähtust võime jälgida järgmise lihtsa katse põhjal. Paneme pintsli klaasile või

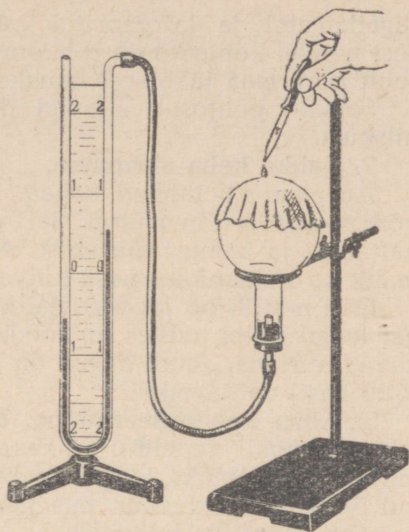
lauale mitmesuguseid vedelikke: eetrit, piiritust, vett ja mingit õli, märkame, et eeter ja piiritus auruvad väga kiiresti, vesi aeglasemalt, õli aga veelgi aeglasemalt.

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.

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 liikuvat tasakaalu. 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 molekule 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



Joon. 119. Katse, mis näitab, et aurustumisel vedelik (eeter) jahtub.

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 ka külma käes pesu kuivatada.

Eriti näitlik on joodikristallide aurumine. Kui soojendada nõrgal leegil kolbi, milles on joodikristalle, siis need kristallid hakkavad auruma. 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 suutumist vedelikuks nimetatakse **kondenseerumiseks**.

Eriti suurt kogustes toimub auru kondenseerumine looduses. Veeaurud, mis tõusevad maapinnalt üles, moodustavad kõrgemates ja külmemates õhukihtides paljudest väikestest veepiisakestest koosneva pilve.

Harjutus 27.

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.

Mõõda 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 veeloigud kiiremini: vaikse 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 kuumu kui niiskes?

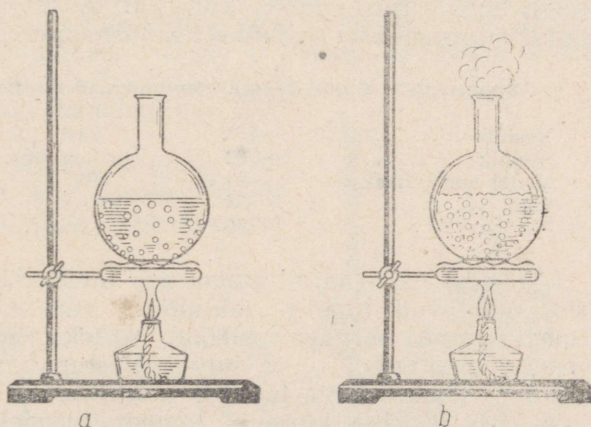
7. Et saada suvel kuumaga jahedat vett, valatakse vesi nõrgalt põletatud savianumasse, millest vesi aeglaselt läbi imbub. Sellistes anumates on vesi märgatavalt külmem kui ümbritsev õhk. Miks?

8. Külmutuskappides, mida toodab tehas „Gazoapparat“, kasutatakse toiduainete hoiukambri jahutamiseks auruvat vedelat ammoniaaki. Millega seda jahtumist selgitada?

§ 61. Keemine.

Valame klaaskolvi külma vett ja hakkame siis kolvi 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.

Joon. 120. Õhumullikeste moodustumine veega täidetud klaasnõu seintel vee soojendamisel (a). Vee keemine (b).



Vee temperatuur tõuseb konvektsiooni tõttu võrdlemisi ühtlaselt kõigis kolvi osades. Juba vee nõrgal soojendamisel ilmuvad kolvi seintele väikesed gaasimullikesed (joon. 120, a). Need mullikesed sisaldavad peamiselt õhku, mida alati lahustunult 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 seinu küljes kinni, siis mull tõuseb veepinnale.

Järk-järgult tõusevad peaaegu kõik kolvi põhja ja seinu küljes asetsevad mullid veepinnale. Vette jäävad ainult need mullid, mis moodustusid kohtades, kus seinu 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 rõhk nendele väheneb. Kui mullid jõuavad pinnale, siis nad lõhkevad ning nendes olev veeaur tõuseb üles õhku — vesi keeb (joon. 120, 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 (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.

§ 62. Laboratoorne töö nr. 8.

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 tagant üles vee temperatuur.

Kui vesi hakkab keema, siis lasse tal keeda 5 minutit ja lõpeta seejärel soojendamine. Jätka veel iga minuti tagant temperatuuri märkimist 4—5 minuti jooksul.

2. Saadud andmete järgi joonest graafik, märkides rõhtteljele aja minutites ja püstteljele temperatuuri kraadides.

Harjutus 28.

Pane pliidile või priimusele väike kaaneta kastrul või mingi muu pleknõu veega ja soojenda vett keemiseni.

Jälgi tähelepanelikult, mis toimub soojendamise ajal vees.

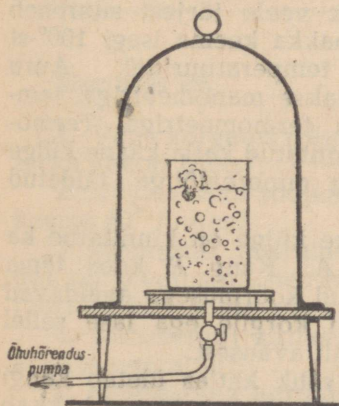
Pööra tähelepanu sellele, et vahetult enne keemise algust muutub vesi häguseks. Miks?

Hoja vee keemise ajal puhas taldrik kaldu veeanuma kohal. Mida näed? Selgita. Kirjuta töö kohta lühike kokkuvõte.

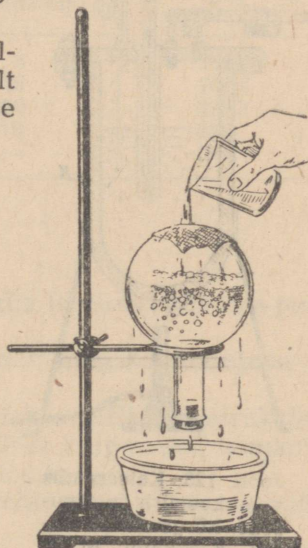
§ 63. Keemistemperatuuri sõltuvus rõhust.

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 hõrenduse puhul hakkab vesi klaasis uuesti keema, olgugi et vee temperatuur on madalam kui 100° (joon. 121).

Kui soojendada vett ümmarguses kolvis keemiseni, võtta kolb kiiresti tulelt ära ning sulgeda ta kohe (vee keemise



Joon. 121. Vee keemine madaldatud rõhul.



Joon. 122. Vee keemine jahutatavas kolvis.

ajal) korgiga, siis keemine lakkab. Vesi hakkab samas kolvis uuesti keema, kui pöörata kolb ümber ning valada kolvi põhjale külma vett (joon. 122) või veelgi parem panna kolvi põhjale lund. Jahtumisel kolvis olevad aaurud 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 vee eraldamiseks normaalsest rõhust madalamal rõhul. Sel juhul on keemistemperatuur madal ning suhkur ei kõrbe.

2. Keemine kõrgendatud rõhul. Kui keeta vett lahtises anumas, siis keemisel tekkinud aur pääseb anumast vabalt välja ning veele mõjub kogu aeg atmosfääri rõhk. Sel juhul vee keemistemperatuur jääb muutumatuks.

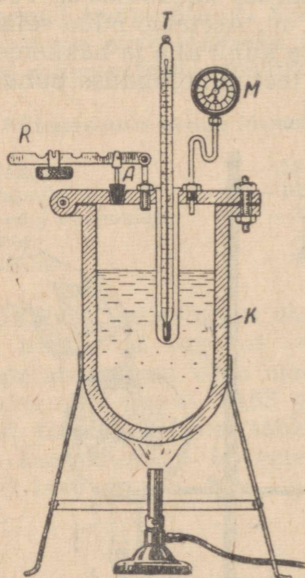
Kui aga keeta vett kinnises anumas, siis aur koguneb vee kohale ning rõhk veele järjest suureneb, mistõttu keemistemperatuur tõuseb.

Seda nähtust on hea jälgida erilise katseseadeldise abil.

See seadis kujutab endast paksuseinalist metallkatelt (joon. 123), mille kaant saab poltide ja mutrite abil tiheidalt sulgeda. Katla soojendamisel tekib temas veeaur. Kuna aurul 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 A. Kang R 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.



Joon. 123. Katseseadis vee keemise uurimiseks kõrgendatud rõhul. K — katel, M — manomeeter, T — termomeeter, R — kaitseventiili kang, A — kaitseventiil.

Keemise vältel näitab termomeeter kogu aeg püsivat temperatuuri. Et auru rõhku katlas suurendada, tuleb koormust nihutada kangi välimise otsa poole.

Selle tagajärjel suureneb kangi rõhk ventiili korgile ning auru väljumine katlast lakkab. Auru huik katlas ning auru rõhk kasvavad. Rõhu suurenemise tõttu vee keemine lakkab. Vesi hakkab katlas uuesti keema hoopis kõrgema temperatuuri juures.

Igal katlal on olemas 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 atmosfäärides (tehnilistes)	Vee keemistemperatuur (C°)	Veeauru rõhk atmosfäärides (tehnilistes)	Vee keemistemperatuur (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 29.

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. Aurueduri 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 164 at rõhu all uuesti keema?

7. Arvuta koormuse suurus, mis tuleb riputada aurukatla kaitseventiili korgile (joon. 123), kui ventiili avause läbilõike pindala on 2 cm^2 , 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. 120, 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 ainete aurustumissoojused on antud alljärgnevas tabelis.

Mõnede vedelike aurustumissoojused keemistemperatuuril ja normaalsel rõhul.

	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{g}} \text{ või } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$
Vesi	539
Ammoniaak	327
Piiritus	204
Eeter	84
Elavhõbe	69

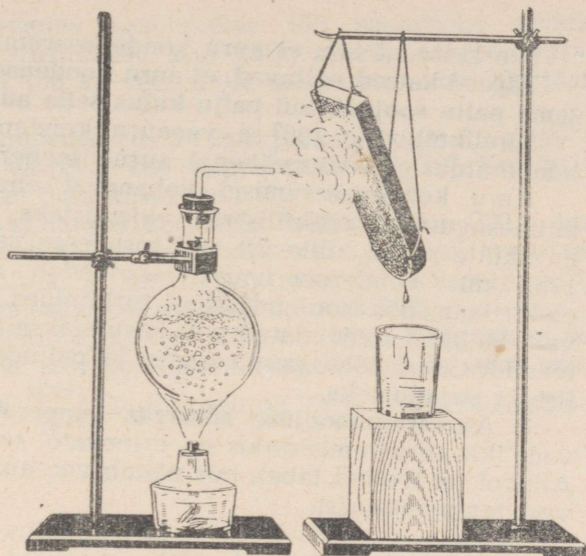
Aurustumissoojus näitab, kui palju suureneb 1 g aine siseenergia tema aurustumisel jääval temperatuuril.

Seega, 1 g 100° -se veeauru energia on 539 kalori võrra suurem 1 g 100° -se vee energiast; 1 g 78° -se piirituseauru energia on 204 kalori võrra suurem 1 g 78° -se vedela piirituse energiast.

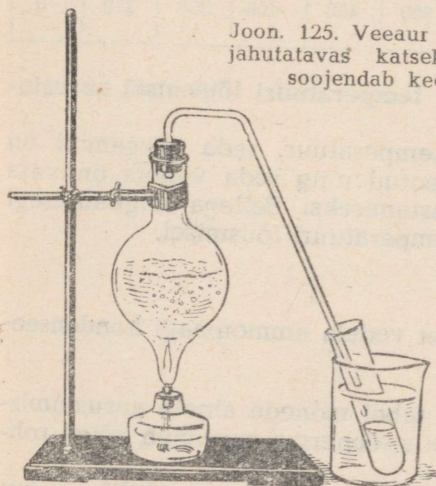
2. **Kondenseerumissoojus.** Kui veeauru juba suunata vastu külma eset (joon. 124), siis aur, puutudes kokku selle külma esmega, jahtub ja muutub veeks — kondenseerub.

Teeme järgmise katse. Kallame keeduklaasi külma vett ning paneme sellesse katseklaasi, millesse omakorda juhime kolvist veeauru (joon. 125). Näeme, et veeaur, sattudes katseklaasi, kondenseerub, keeduklaasis olev vesi aga soojeneb.

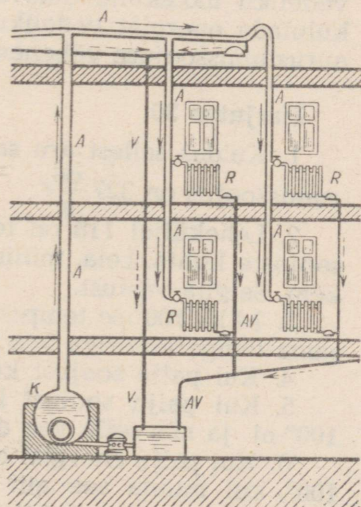
Joon. 124. Veeauru kondenseerumine külma metallisele pinnale.



Joon. 125. Veeaur kondenseerub külma veega jahutatavas katseklaasis. Kondenseeruv aur soojendab keeduklaasis olevat vett.



Joon. 126. Aurukütte skeem. *P* — torud, mida mööda liigub aur; *R* — radiaatorid; *AV* — torud vee ja auru seguga; *V* — torud, mida mööda liigub vesi; *K* — katel.



See katse näitab, et auru kondenseerumisel eraldub energiat.

Täpsed katsed näitavad, et auru kondenseerumisel eraldub niisama palju soojust, kui palju kulus selle auru tekkimisekski.

Järelikult, 1 g 100°-se veeauru kondenseerumisel sellesama temperatuuriga veeks väheneb auru siseenergia 539 cal võrra.

Auru kondenseerumisel vabanevat energiat võib kasutada mitmesugusteks praktilisteks vajadusteks. Nii näiteks juhitakse aurukütte puhul küttesüsteemi torudesse vee asemel auru (joon. 126), mis kondenseerumisel soojendab radiaatoreid. Suurtes elektriiaamades 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 30.

1. Kuidas sellest aru saada, et vedela ammoniaagi kondenseerumissoojus on $327 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$?

2. Lebeküljel 118 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 eraldub 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 100 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 kuulub 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.

VI PEATUKK.

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. 110).

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 § 43 kirjeldatud katses (joon. 110). Kui pudelis olev õhk teeb tööd pudeli pealt korgi äralükkamisel, 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, sise põlemismootor, auruturbiin, reaktiivmootor.

Aurumasin ja auruturbiin muundatakse kütuse energia mehhaaniliseks energiaks aurukateldest saadava kuuma veeauru abil. Sise põlemismootorites 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.

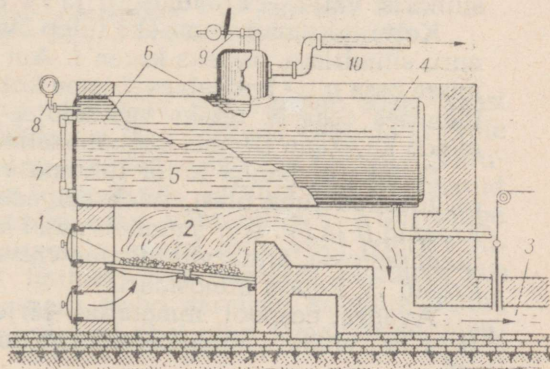
§ 67. Aurumasin.

Aurumasin leiutati juba XVIII sajandil. Ta on üheks esimeseks soojusmasinaks. Vaatleme aurumasinat ehitust ja töötamise põhimõtet.

Töötavaks kehaks aurumasinast on veeaur, mille rõhk on suurem atmosfääri rõhust. Sellist auru saadakse aurukatlast.

Joonisel 127 on kujutatud lihtsa aurukatla ehituse skeem. Aurukatla 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. Täna-



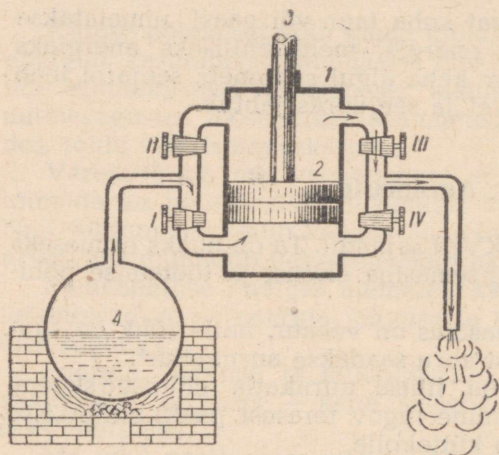
Joon. 127. Lihtsaim aurukatel.
1 — põlev kütus; 2 — küttekolle; 3 — suitsulõõr siibriga; 4 — katel (teraslehtedest kinnine nõu); 5 — katlas olev vesi; 6 — ruum, kuhu koguneb aur; 7 — veemõõtja; 8 — manomeeter; 9 — kaitseventiil; 10 — aurujuhe.

päeval 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 katla le ohtliku rõhu puhul katlast väljuda.

Aurukatlast juhitakse aur aurumasinasse.

Aurumasinna põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 128. Tõeliselt on aurumasinad ehitatud veidi teisiti, kui allpool selgitatud. Joonisel 128 kujutatud masina skeem aitab meil ainult paremini mõista tegeliku aurumasinna töötamist.



Joon. 128. Lihtsaima aurumasinna skeem. 1 — silinder; 2 — kolb; 3 — kolvivar; 4 — aurukatel. I, II — kraanid, mille abil suunatakse aur silindrisse; III, IV — kraanid, mille abil lastakse aur silindrist välja.

Aurumasinna põhisaks 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.

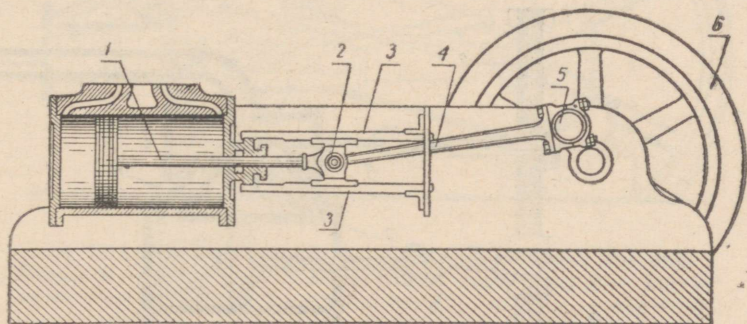
Tehes kolvi nihutamisel tööd, aur silindris paisub ja seejuures jahtub, kuna osa tema siseenergiast läheb mehhaanilise töö tegemiseks. Silindrist väljuva äratarvitatud auru temperatuur on alati madalam kui aurul, mis tuleb katlast silindrisse.

§ 68. Kolvi vahelduvasuunalise liikumise muutumine võlli pöörlevaks liikumiseks.

Paisuva auru mõjul liigub kolb aurumasina silindris kord ühele, kord teisele poole. Kolvi sellist liikumist nimetatakse vahelduvasuunaliseks liikumiseks.

Vahelduvasuunalist liikumist võib kasutada näiteks pumba või sepalõõtsa 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 129 kujutatud mehhanismi.



Joon. 129. Aurumasina mehhanism vahelduvasuunalise liikumise muutmiseks pöörlevaks liikumiseks. 1 — kolvivarv; 2 — nihkur; 3 — juhtliistud; 4 — keps; 5 — väntvõlli; 6 — hooratas.

Kolvivarv 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 viltumiseku silindris. Nihkur on liigendi ehk šarniiri abil ühendatud kepsuga 4, mis annab liikumise edasi väntvõllile 5. Võlli külge on kinnitatud raske hooratas, mille inerti tõttu võlli pöörlev liikumine omandab vajaliku ühtluse. Kui hooratas puuduks, siis võlli pöörlemine võiks katkeda kolvi äärmiste asendite puhul, siis kui kolvivarb ja keps asetsevad ühel ning samal sirgel. Nen-

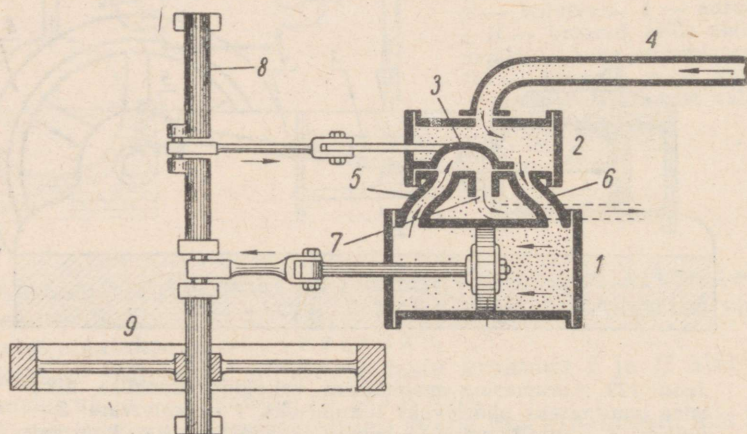
des asendites, mida on hakatud nimetama „surnud seisudeks“, ei saa kolb panna väntvõlli pöörlema. Pöörlev hooratas aitab aga masina nendest surnud seisudest välja.

§ 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 jagamiseks, s. o. masin ise avab ja suleb vajalikul momendil auru sisse- ja väljalaskeklapid.

Vaatleme kõige levinuma automaatse aurujaotaja ehitust.

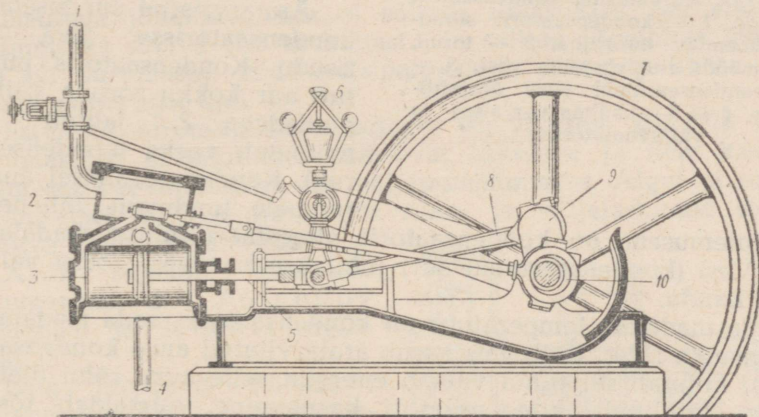
Kõlvi 1 külge (joon. 130) on kinnitatud nõndanimetatud siibrikarp 2, mille sees liigub erilise kujuga keha — siiber 3. Aurukatlast tuleb aur toru 4 kaudu siibrikarpi. Siibrikarp on kahe kanali abil (5 ja 6) ühendatud aurusilindriga. Nende kahe kanali vahel on kanal 7, mille kaudu pääseb aur silindrist välja.



Joon. 130. Aurumasina silinder ja siibrikarp. 1 — aurumasina silinder; 2 — siibrikarp; 3 — siiber; 4 — aurujuhe; 5 ja 6 — silindrit siibrikarbiga ühendavad kanalid; 7 — auru väljalaske kanal; 8 — väntvõlli vänt; 9 — hooratas.

Siiber on ehitatud selliselt, et ükskõik millise asendi puhul avab ta ühe kahest silindrisse minevast kanalist (joonisel on avatud 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 vāntvõlli 8. Seejuures siiber, mis on teise vāntmehhanismi 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. Aurumasinana võll jätkab pöörlemist ja nihutab siibri jälle vasakule, nagu kujutatud joonisel 130.



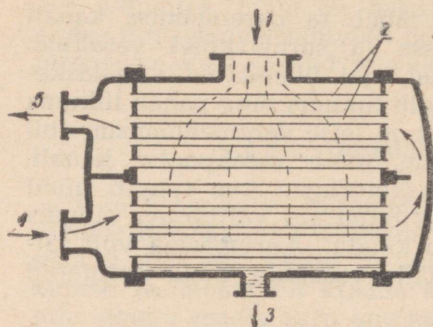
Joon. 131. Aurumasinana osade paigutus. 1 — aurujuhe; 2 — auru-siiber; 3 — silinder; 4 — äratarvitatud auru juhe; 5 — kolvi-
vars; 6 — regulaator; 7 — hooratas; 8 — keps; 9 — vāntvõlli
vānt; 10 — ekstsentrisk siibri liikumapanemiseks.

Selliselt — siibri abil — toimubki auru automaatne jaotamine. Aurumasin võib töötada suure kiirusega, kuid siiber, mis on seotud pöörleva võlliga, laseb regulaarselt (vajalikel momentidel) auru silindrisse ja sealt jälle välja.

Töötava aurumasinana osade paigutus on kujutatud joonisel 131.

§ 70. Kondensaator.

Aurumasin silindrist võib 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 võimalik sel juhul saada atmosfääri rõhust madalamat rõhku.



Joon. 132. Aurumasina kondensaatori läbilõige. 1 — kondensaatorit silindriga ühendav aurujuhe; 2 — torud, mida mööda ringleb külm vesi; 3 — toru kondenseerunud auru ärajuhtimiseks; 4 ja 5 — külma vee sisse- ja väljavoolutorud.

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. 132). 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 auru ruumala tunduvalt väheneb.

Selle tulemusena on kondensaatoris atmosfääri rõhust madalam rõhk. Vesi (kondenseerunud aur) juhitakse kondensaatorist välja toru 3 kaudu.

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 aurumasina 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 äratarvitatud auru 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.

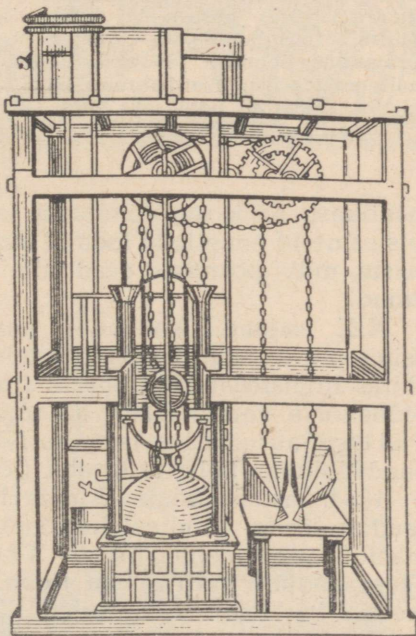
§ 72. Aurumasina leiutamise ja rakendamise ajaloost.

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.

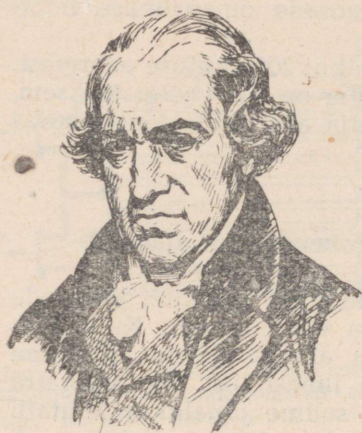
Esimeste aurumasinate kasutegur oli väiksem kui 1%. Need aurumasinad ei tekitanud pöörlevat liikumist ja neid kasutati peamiselt kaevandustest vee väljapumpamiseks. Algul ei tuntud automaatset aurujaotajat, auru sisse- ja väljalaskmine toimus vastava töölise poolt käsitsi.

XVIII sajandil täiustasid aurumasinat I. I. Polzunov Venemaal ja J. Watt Inglismaal.

Ivan Ivanovitš Polzunov, väljapaistev vene soojustehnik, lõpetas mäme-str.te kooli ja töötas algul Uraals, seejärel aga Altais kõrgahjude juures meistrina. Nähes ebatäiuslikke veejõumasinaid, mida kasutati õhupuhumislõõtsade käimapanemiseks, seadis Polzunov endale ülesandeks konstrueerida ja ehitada aurumasin. 1766. aastaks oli selline masin valmis (joon. 133). Selle masina põhisadeks 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. Klappid pani tegevusse auru-



Joon. 133. Polzunovi aurumasina mudel.



James Watt (1736—1819) — silmapaisteve inglise õpetlane, leiutaja. Kuni Wattini kasutati aurumasinaid ainult veepumpade käimapanemiseks. Watt rekonstrueeris aurumasina, eraldas kondensaatori silindrist, võttis kasutusele automaatse aurujaotaja, varustas aurumasina hooratta ja tsentrifugaalregulaatoriga. Watti aurumasin saaj tol ajajärgul põhiliseks tööstuslikuks jõumasinaks.

maatikast. Kõik see võimaldas tal leida ja kõrvaldada puudused, mis esinesid enne teda loodud aurumasinate juures, ja luua selline masin, mille peamised osad pole tänapäevani peaaegu üldse muutunud.

XIX sajandil kohandati aurumasin transpordi vajadusteks. Esimese auruvehuri, mis oli tehniliselt täiesti kasutamiskõlblik, ehitas Inglismaal 1814. aastal (joon. 134) George Stephenson. Mõnevõrra varem (1807. a.) monteeris ameerika leiutaja Robert Fulton aurumasina laevale. Nii saadi esimene aurik. See aurik pandi liikuma kahe ratta abil (joon. 135).

1834. aastal ehitati Uraalis Nižni Tagilis Venemaa esimene raudtee. Sellel raudteel kasutatava auruvehuri ehitasid kohaliku mäetööstuse mehhaanikud Tšerepanovid (isa ja poeg). Tšerepanovite auruvedurit (joon. 136) võib lugeda Venemaa esimeseks kodumaiseks auruveduriks.

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 auruveduritel.

masin ise. Kettide ja rataste abil kanti kolvi liikumine üle õhupuhamislõõtsale.

Haigus ja raske töö murdsid 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 aurumasinate arengu ajaloos: ta ehitas esimese aurumasina, mis rahuldab tööstuse nõudeid.

18 aastat pärast I. I. Polzunovi surma, 1784. aastal ehitas inglise mehhaanik James Watt veelgi täiuslikuma aurumasina. Sellel masinal oli juba siibrikarp ja kondensaator.

Töötades ülikooli töökojas Glasgow' linnas, Watt samaaegselt ka õppis ning omandas laialdased teadmised füüsikast ja mate-

matikast. Kõik see võimaldas tal leida ja kõrvaldada puudused, mis esinesid enne teda loodud aurumasinate juures, ja luua selline masin, mille peamised osad pole tänapäevani peaaegu üldse muutunud.

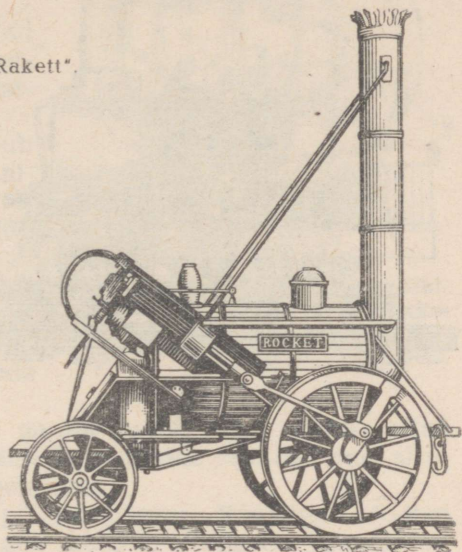
XIX sajandil kohandati aurumasin transpordi vajadusteks. Esimese auruvehuri, mis oli tehniliselt täiesti kasutamiskõlblik, ehitas Inglismaal 1814. aastal (joon. 134) George Stephenson. Mõnevõrra varem (1807. a.) monteeris ameerika leiutaja Robert Fulton aurumasina laevale. Nii saadi esimene aurik. See aurik pandi liikuma kahe ratta abil (joon. 135).

1834. aastal ehitati Uraalis Nižni Tagilis Venemaa esimene raudtee. Sellel raudteel kasutatava auruvehuri ehitasid kohaliku mäetööstuse mehhaanikud Tšerepanovid (isa ja poeg). Tšerepanovite auruvedurit (joon. 136) võib lugeda Venemaa esimeseks kodumaiseks auruveduriks.

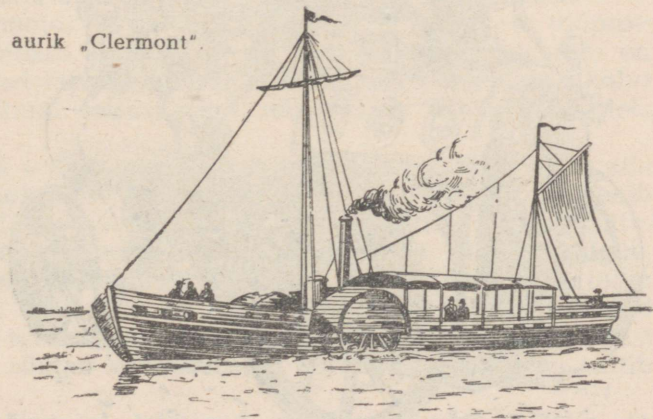
Tänapäeval ei kasutata aurumasinaid enam nii palju kui varem. Tänu laialdasele elektrifitseerimisele töötavad tehaste masinad ja tööpingid nüüd elektrimootorite abil. Aurumasinat kasutatakse tänapäeval veel ainult aurikutel ja auruveduritel.

Kuid ka auruvedurid asendatakse üha rohkem ja rohkem mootorvedurite ja elektriveduritega, aurikud aga mootorlaevadega. Mootorvedurite ja -laevade jõuallikaks on sise põlemismootorid. Väikese võimsusega aurujõumasinaid, lokomotiive (joon. 137), kasutatakse mõnikord veel põllumajanduses ja metsatööstuses. Kütusena kasutatakse lokomotiivides metsatööstuse ja põllumajanduse jäätmeid.

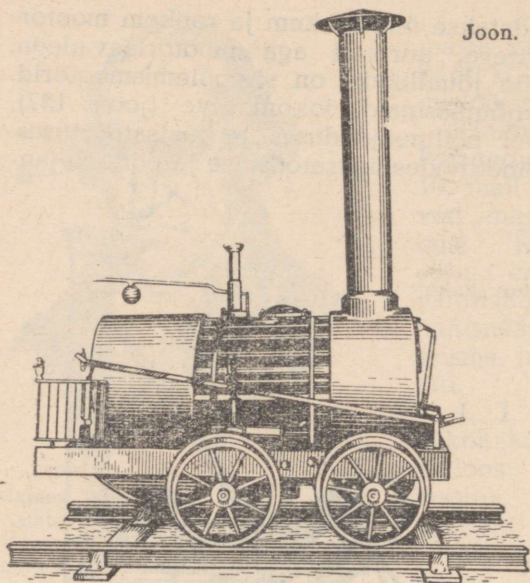
Joon. 134. Stephensoni auruvedur „Rakett“.



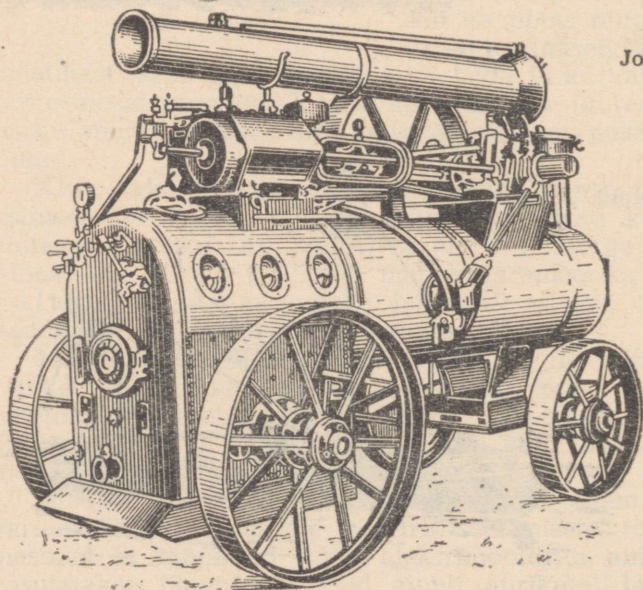
Joon. 135. Fultoni aurik „Clermont“.



Joon. 136. Tšerepanovite aurueduri
mudel



Joon. 137. Lokomotiiv.



§ 73. Sisepõlemismootor.

Kõige levinumaks soojusmasinaks on sisepõlemismootor. See jõumasina liik sai oma nime tuse sellest, et nendes põleb kütus otse silindris, mootori enda sees.

Sisepõlemismootorid töötavad kas vedelkütustega (bensiin, petrooleum, nafta) või põlevgaasidega.

Sellise mootori silindris toimub perioodiliselt küttesegu, bensiinaurude 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 siseenergiat kulutavad nad töö tegemiseks.

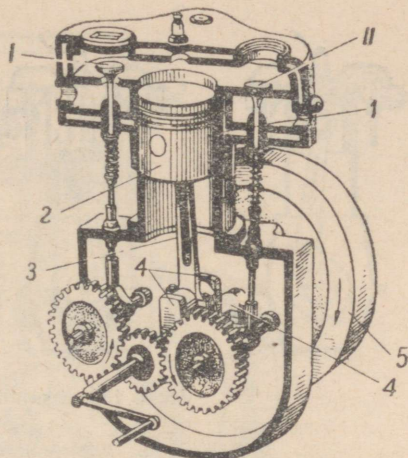
Joonisel 138 on antud sisepõlemismootori läbilõige. Mootor koosneb silindrist 1, milles liigub kolb 2. Kolb on ühendatud kepsu 3 abil vääntvõlliga 4. Võlli külge on kinnitatud raske hooratas 5. Silindri ülemises osas on kaks klappi I ja II, mis mootori töötamise ajal vajalikel momentidel automaatselt avanevad ja sulguvad. Klapi II kaudu siseneb karburaatorist silindrisse küttesegu, klapi I kaudu aga väljuvad silindrist põlemisaadused.

Vaadeldav mootor on neljataktiline. See tähendab, et tööprotsess (tsükkel) toimub mootoris nelja takti vältel. Pärast seda on mootori kõik osad lähteasendis tagasi. Taktiks nimetatakse kolvi käiku ühest surnud seisust teise, mis vastab vääntvõlli poolele pöördele.

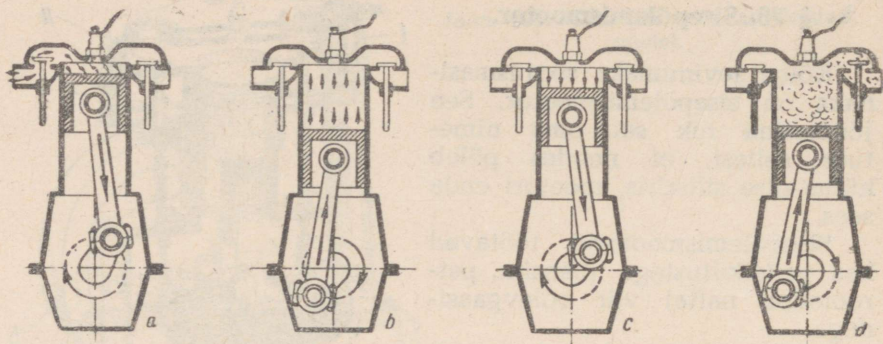
Mootori võlli pöördumisel liigub kolb esimese takti algul alla (joon. 139, a). Kolvi kohal olev ruum suureneb ning kolvis tekib hõrendus. Samal ajal avaneb klapp II ja silindrisse tungib küttesegu. Takti lõpul on silinder täidetud kütteseguga. Klapp II sulgub.

Võlli edasisel pöördumisel liigub kolb üles (joon. 139, b) ja surub küttesegu kokku. Teise takti lõpul, kui kolb on liikunud ülemisse surnud seisust, tekib põlemiskambris (silindri ülemises osas) elektrisäde, mis süütab kokkusurutud küttesegu. Küttesegu süttib ja plahvatab.

Küttesegu põlemisel tekkinud gaasid rõhuvad kolvile ja



Joon. 138. Sisepõlemismootori läbilõige. I, II — sisse- ja väljalaskeklapid; 1 — silinder; 2 — kolb; 3 — keps; 4 — vääntvõll; 5 — hooratas.



Joon. 139. Sisepõlemismootori töö skeem.

lukkavad selle alla. Kolvi liikumine kandub üle kepsule ja selle kaudu omakorda hoorattaga vääntvõllile (joon. 139, c).

Kolvi liikumine põlemisel tekkivate gaaside mõjul toimub kolmanda takti ajal. Selle takti vältel 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. 139, d). Neljanda takti lõpul klapp *I* sulgub.

Hooratta inertsi tõttu jätkab võll pöörlemist 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.

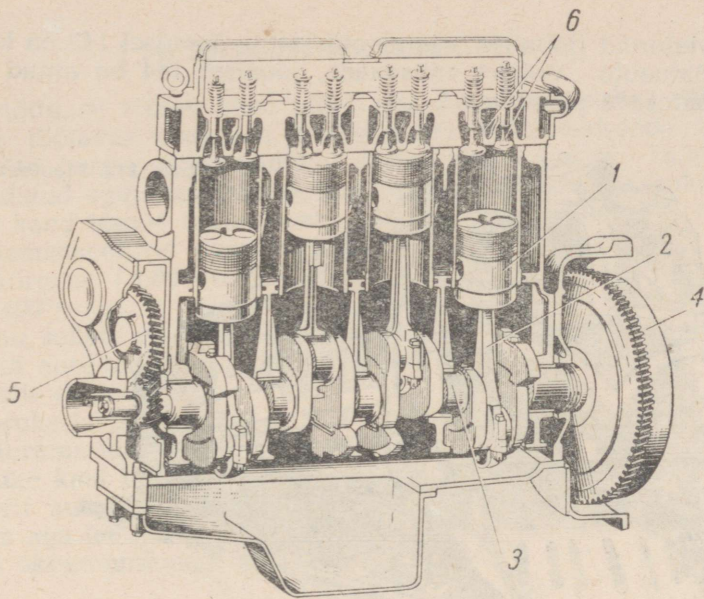
Sisseimemine. Kolb liigub alla ja tekitab silindri sees hõren-duse. Sisselaskeklapp avaneb. Küttesegu tungib silindrisse.

Kokkusurumine. Kolb liigub üles ja surub küttesegu kokku. Mõlemad klapid on seejuures kinni. Survetakti lõpul toimub küttesegu süütamine elektrisädemega.

Töötakt. Segu süttimisel tekkinud gaasid rõhuvad kolvile ja panevad selle liikuma alla. Sellega panevad nad aga ka vääntvõlli pöörlema.

Väljalase. Kolb liigub üles. Avaneb väljalaskeklapp ja põle-misproduktid lükatakse silindrist välja.

Mootori käivitamiseks tuleb tema võll panna kahe esimese takti vältel mingi välisjõu mõjul liikuma. Seda võib teha spetsiaalse vända või starteri — elektrimootori — abil. Alates kolmandast taktist hakkab mootor töötama iseseisvalt. Edaspidi toimuvad kõik ettevalmistavad taktid (neljas, esimene ja teine) pöörle-va hooratta energia arvel.

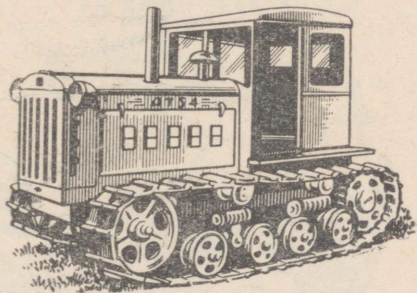


Joon. 140. Neljataktilise sise põlemismootori läbilõige. 1 — kolb; 2 — keps; 3 — vāntvõll; 4 — hooratas; 5 — hammasratas liikumise ülekandmiseks; 6 — sisse- ja väljalaskeklapid.

Kirjeldatud tüüpi sise põlemismootoris on hoorattal täita väga tähtis osa. Ta mitte ainult ei aita mootorit surnud seisudest välja, vaid paneb kolvi liikuma ka ettevalmistavate taktide ajal.

Kuna mootori võlli kahe pöörde jooksul saab hooratas energiat juurde ainult ühe poolpöörde vältel, siis on loomulik, et võlli pööreline ei toimu ühtlaselt. Et mootor töotaks ühtlasemalt, ehitatakse ta mitme silindriga, kõige sagedamini nelja silindriga — taktide arvu järgi. Joonisel 140 on toodud neljasilindrilise sise põlemismootori läbilõige. Silindrite töö reguleeritakse selliselt, et nad teeksid oma töökäigud kõik üksteise järel ja vāntvõll saaks kogu aeg ühelt kolvilt energiat.

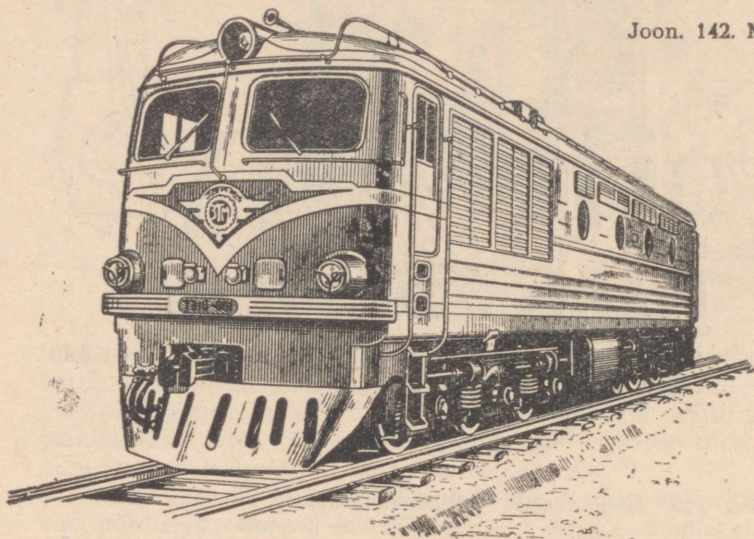
Sise põlemismootorite kasutamise võimalused on erakordselt laiad. Nad panevad liikuma autosid ja traktoreid (joon. 141),



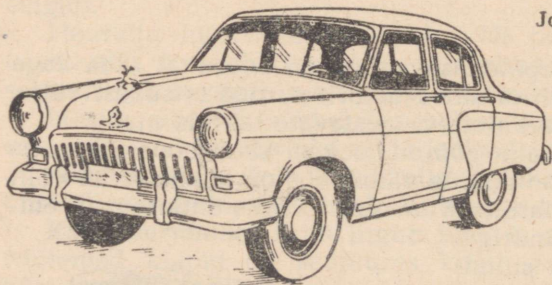
Joon. 141. Traktor DT-54.

mootorvedureid (joon. 142) ja mootorlaevu. Joonisel 143 on kujutatud sõiduauto „Volga” välisvaade, joonisel 144 on antud aga tema põhiosade paigutust.

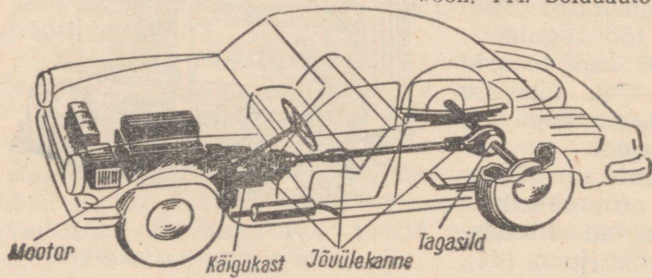
Joon. 142. Mootorvedur.



Joon. 143. Sõiduauto „Volga”.



Joon. 144. Sõiduauto „Volga” põhiosad.



§ 74. Sisepõlemismootorite 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 aurukatla, nimelt kaod tõmbe tekitamiseks küttekoldes jm. Peale selle on sisepõlemismootoris gaaside temperatuur töötakti algul tunduvalt kõrgem ($1600-1800^{\circ}$) kui auru temperatuur aurukatlas ($300-400^{\circ}$).

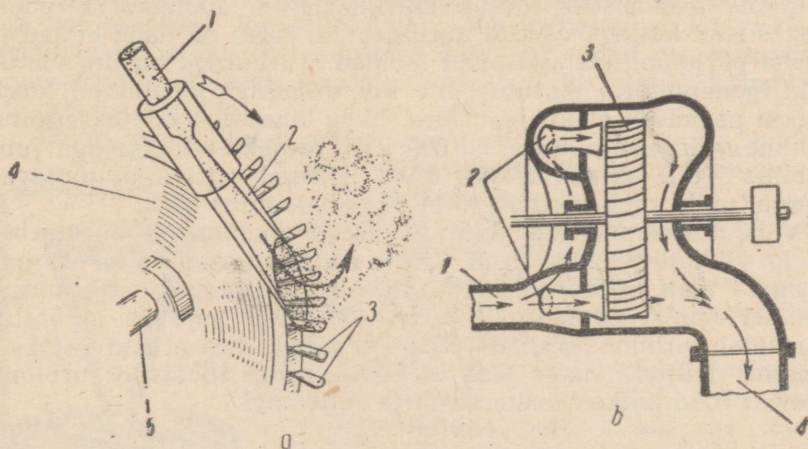
Tänu sellele on sisepõlemismootori kasutegur tunduvalt suurem kui aurukatla kasutegur, ulatudes 25% -st 40% -ni (olenevalt mootorite tüübist).

Aurukatla puudumine teeb sisepõlemismootori sama võimsusega aurumasinast märksa kergemaks.

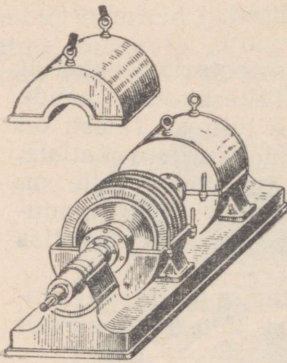
Väike kaal ja suur võimsus võ maldas kohaldada sisepõlemismootorit autode ja, mis eriti tähtis, lennukite jaoks. Viimasel ajal on aga lennunduses hakatud sisepõlemismootoreid asendada veelgi ökonoomsemate reaktiivmootoritega.

§ 75. Auruturbiin.

Tänapäeval kasutatakse tehnikas laialdaselt soojusmasinaid, kus aur või kuum gaas paneb jõumasina võlli pöörlema kolvi,



Joon. 145. 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 — ketta labidatega; 4 — toru, mida mööda äratarvitatud aur läheb kondensatorisse.



Joon. 146. Ühele ja samale võllile paigutatud auruturbiin ja elektrivoolu generaator.

kepsu ja väntvõlli vahendusega. Selliseid soojusmasinaid nimetatakse **turbiinideks**.

Lihtsaima auruturbiini töötamise skeem on toodud joonisel 145, a. Võllile 5 on asetatud ketas 4, mille põiale 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 145, b) puuduseks on väga suur pöörlemiskiirus — 30 tuhat ja enamgi pöört minutis. Jõumasinaid, mille võll teeb nii palju pöördeid, kasutatakse harva.

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 pöört minutis. See lubab kasutada neid turbiine elektrigeneraatorite pöörlema panemiseks soojuselektrijaamades. Joonisel 146 näete ülestõstetud kattega väikest auruturbiini. Hästi on näha kettad ja nendel pärjatooliselt asetsevad labidad. Turbiiniga on ühendatud elektrigeneraator. 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 kaaslasi, 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.

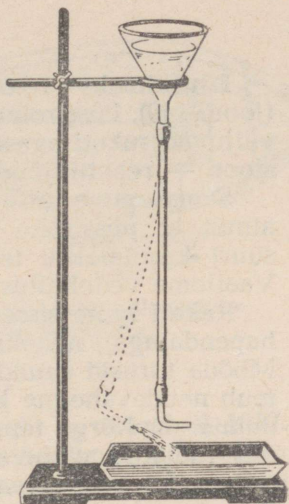
Vaatleme järgmist katset. Kinnitame statiivi külge kummitoriga leetri ja tõmbame kummitoru teise otsa kõverale, täisnurga all painutatud klaastorule (joon. 147). Kui valada letrisse vett, siis hakkab ta klaastorust välja voolama. Seejuures kaldub kummitoru kõrvale vastupidiselt veejoo väljavoolu suunale.

Kui veesakesed liiguvad toru kõveras osas, siis mõjub nendele toru seinte poolt tekitatud jõud. Selle jõu mõjul muudavad veesakesed oma liikumise suunda. Veesakeste liikumine muutub vertikaalsest horisontaalseks. Veesakesed avaldavad aga omalt poolt jõudu toru seintele. Selle jõu suund on vastupidine veesakeste liikumise suunale. See jõud kallutabki kummitoru algasendist kõrvale.

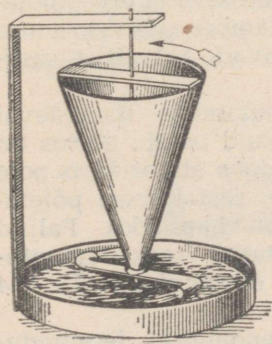
Jõudu, mis kallutab antud katses kummitoru kõrvale, nimetatakse **väljavoolava joo reaktsiooniks**.

Väljavoolava vedeliku- või gaasijoo reaktsioon võib panna liikuma mistahes keha. Joonisel 148 on kujutatud niinimetatud Segneri ratas, mis pöörleb kõveratest torudest väljavoolavate vedeliku- ja gaasijoo reaktsiooni tõttu.

Gaasijoo reaktsiooni võib hästi jälgida laste õhupalli juures. Kui lasta gaasil vabalt väljuda palli avast, siis lendab pall suunda, mis on vastupidine gaasijoo suunale.



Joon. 147. Kummitoru kõrvalekaldumine väljavoolava veejoo mõjul (veejoo reaktsioon).



Joon. 148. Segneri ratas.

§ 77. Reaktiivmootor.

Lihtsaimaks reaktiivmootoriks on harilik püssirohurakett (joon. 149). Püssirohu põlemisel moodustub palju gaase, mis joana väljuvad raketi avast (düüsist). Selle tulemusena tekib joa reaktsioon — reaktiivjõud, mis tõukabki raketti edasi.

Samasugune on põhiliselt ka kaasaegsete rakettide ehitus, ainult et püssirohu asemel (püssirohu kütteväärtus pole kuigi suur) kasutatakse teisi, suurema kütteväärtusega kütuste liike. Vaatleme vedelkütustel töötavate rakettide ehitust.

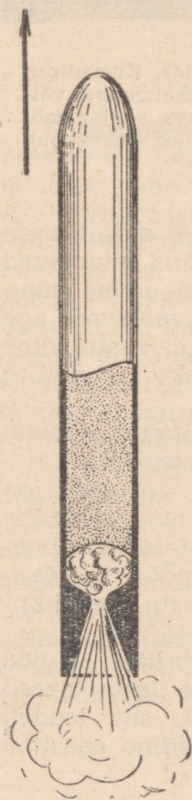
Raketi kesta sisse paigutatakse paagid kütusega (põlevaine ja hapendajaga), näiteks piirituse ja lämmastikhappega (joon. 150). Mööda torusid suunduvad need ained põlemiskambrisse, kus toimub nendevaheline keemiline reaktsioon suure soojushulga eraldumisega. Kõrge temperatuurini kuumenenud gaasitaolised põlemisproduktid väljuvad suure kiirusega düüsist, tekitades võimsa reaktiivjõu. Sellist tüüpi reaktiivmootoreid nimetatakse vedelkütus-reaktiivmootoreiks.

Seda tüüpi reaktiivmootorid tagavad rakettide lennu ka õhuta ruumis, sest neil on kütuse põletamiseks endal kaasas hapendaja,

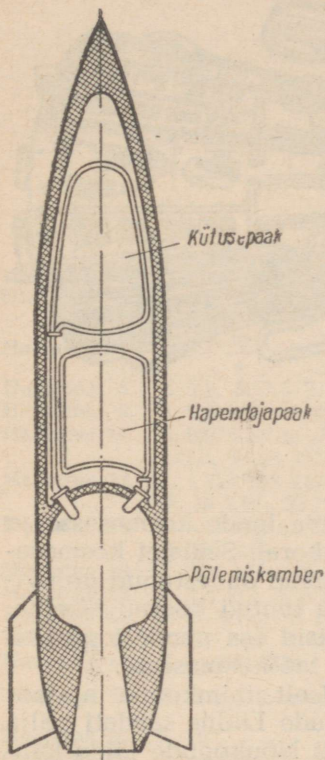
Üks esimesi, kes tegi ettepaneku kasutada reaktiivliikumist lendudeks kosmosesse, oli kuulus vene teadlane K. E. Tsiolkovski (1857—1935). Tsiolkovski töötas esimesena teaduslikult läbi reaktiivliikumise teooria ja 1903. a. projekteeris raketi planeetidevaheliseks lendudeks. Selle raketi ehituskeem on toodud joonisel 151. Voolujoonelise metallkesta esiosa oli ette nähtud inimestele ja aparaatidele. Raketi keskosas paiknesid aga põlevaine (vedel vesinik) ja hapendaja (vedel hapnik) varud. Kuumad gaasid, mis tekivad kütuse põlemisel, lendavad põlemiskambri düüsist suure kiirusega välja ja tõukavad raketti vastasuunas.

Reaktiivmootoreid kasutatakse tänapäeval lennunduses väga 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 õhuhiiglane TV-104 (joon. 152).

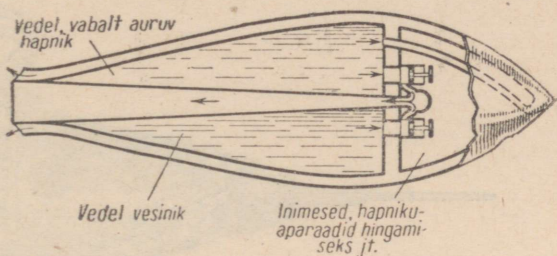
Reaktiivmootorite rakendamisel lennunduses ja raketitehnika ning kosmoselendude alal on Nõukogude Liit esimesel kohal maailmas.



Joon. 149.
Püssirohurakett.



Joon. 150. Vedelkütusega töötav rakett.



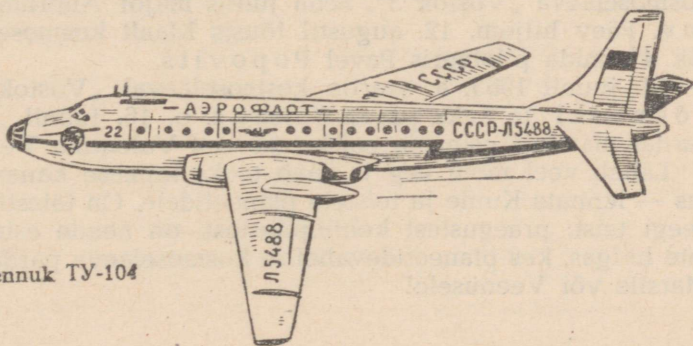
Joon. 151. Tsiolkovski rakett planeetidevahelisteks lendudeks.

Meie maal lasti **4. oktoobril 1957. aastal** esimesena maailmas välja Maa kunstlik kaaslane, mis oli nõukogude teaduse ja tehnika väljapaistvaks saavutuseks. 3. novembril 1957. aastal saadeti Nõukogude Liidus teise Maa kunstliku kaaslasega kosmosesse arvukas teaduslik aparaat ja koer Laika.

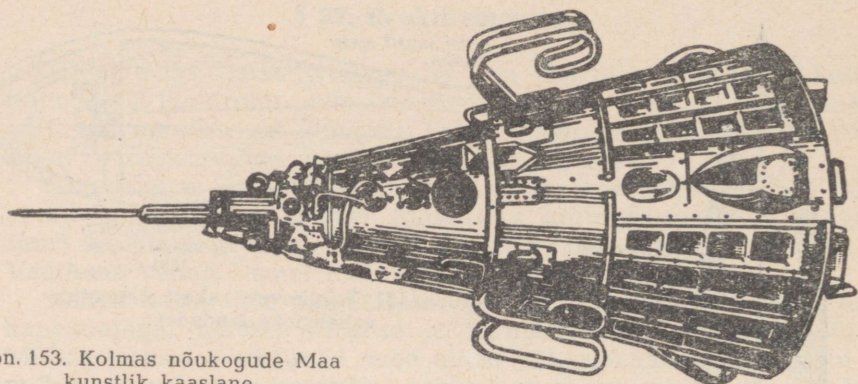
Kolmas nõukogude Maa kunstlik kaaslane, mis lasti välja 15. mail 1958. aastal, kaalus 1327 kG ning tema abil oli võimalik uurida Maa atmosfääri kuni 1880 km kõrguseni (joon. 153).

Edaspidi lasti meie maal edukalt välja seeria kosmilisi rakette. Üks rakettidest viis Nõukogude Liidu vimpli Kuu pinnale. Seejärel lendas 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 ehitasid nõukogude teadlased ja konstruktorid



Joon. 152. Lennuk TV-104



Joon. 153. Kolmas nõukogude Maa kunstlik kaaslane.

kosmilised laevad, mille abil võis sooritada lende kosmosesse ja seejärel maanduda ettenähtud kohta maakeral. Sellistel kosmoselaevadel sooritati aastatel 1960—1961 mitmeid õnnestunud proovilende elusolenditega. Nii on kõigile hästi tuntud koerad Strelka, Belka, Zvjozdotška ja Tšernuška, kes võtsid osa nendest proovilendudest. Need lennud avasid inimesele tee kosmosesse.

12. aprillil 1961. aastal sai esmakordselt inimkonna ajaloos teoks inimese lend kosmosesse. Nõukogude Liidus saadeti välja kosmoselaev „Vostok“, mille piloodiks oli Nõukogude Liidu kangelane lendur-kosmonaut J. A. Gagarin.

See päev läheb igaveseks inimkonna ajalukku kui kosmose alistamise ajastu algus, kui nõukogude rahva loova geeniuse triumfi päev.

6. augustil 1961. a. tegi kosmonaut G. Titov kosmoselaeval „Vostok 2“ 17 tiiru ümber Maa ning tõestas sellega inimese kestvate kosmoselendude võimalikkuse.

Aasta hiljem, 11. augustil 1962. a. viis võimas rakett orbiidile kosmoselaeva „Vostok 3“. Seda juhtis major Andrian Nikolajev. Päev hiljem, 12. augustil tõusis Maalt kosmoselaev „Vostok 4“, mida piloteeris Pavel Popovitš.

14. juunil 1963. a. startis kosmoselaeval „Vostok 5“ Valeri Bõkovski ja kaks päeva hiljem, s. o. 16. juunil „Vostok 6“, pardal maailma esimene naiskosmonaut Valentina Tereškova.

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 9. 3. 0,5 kG, vertikaalselt alla.
- Harjutus 11. 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 12. 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 14. 6. a) kang ei jää tasakaalu; b) kang jääb tasakaalu. 7. $\approx 11 \text{ kG}$. 8. 417 kG.
- Harjutus 15. 2. 224 kGm. 7. 10 kG. 8. 2,5 kG; 5 cm; 0,25 kGm.
- Harjutus 16. 2. 2,4 kG. 3. 5 kG; 20 kG; 0,15 m.
- Harjutus 17. 1. 60 kGm; 3 kG. 2. 120 kG; 6000 kGm.
- Harjutus 18. 3. 625 mm. 4. 80.
- Harjutus 19. 4. 50 000 kGm.
- Harjutus 22. 5. 5 kg. 8. $\approx 90,4 \text{ kcal}$. 9. $5,4^\circ \text{C}$. 10. $\Theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$.
- Harjutus 23. 6. 36° .
- Harjutus 24. 1. $\approx 42\%$. 2. $\approx 77 \text{ g}$. 3. $\approx 33 \text{ g}$.
- Harjutus 26. 2. 315 cal. 5. 2,5 kg. 7. $\approx 113 \text{ g}$. 8. 192 720 kcal.
- Harjutus 29. 7. 1 kG.
- Harjutus 30. 5. $\approx 3200 \text{ kcal}$. 6. 272 853 kGm; 2 673 959 J. 7. $\approx 3,1 \text{ kg}$. 8. 1140 kcal. 9. $\approx 22,5 \text{ t}$. 10. $\approx 13 \text{ kg}$.

SISUKORD

I PEATUKK. Algteadmisi mehhaanikast	3
§ 1. Mehhaaniline liikumine	3
§ 2. Kehade kulgev ja pöörlev liikumine	4
§ 3. Ühtlane ja mitteühtlane sirgjooneline liikumine	9
§ 4. Aja mõõtmise	10
§ 5. Ühtlase liikumise kiirus. Kiiruse ühikud	12
§ 6. Mitteühtlase liikumise keskmine kiirus	16
§ 7. Hõõrdejõud	17
§ 8. Hõõrdeegur	20
§ 9. Laboratoorne töö nr. 1. Hõõrdeeguri määramine (puu mõõda puud)	22
§ 10. Hõõrdejõu suurendamise ja vähendamise viisid	23
§ 11. Kuul- ja rull-laagrid	24
§ 12. Inerts	26
§ 13. Kuidas võib saada ühtlast sirgjoonelist liikumist	29
§ 14. Mõju ja vastumõju	30
II PEATUKK. Jõudude liitmine. Kehade tasakaal	33
§ 15. Jõudude liitmine. Resultantjõud	33
§ 16. Kahe ühel sirgel mõjuva jõu liitmine	33
§ 17. Raskuskese	36
§ 18. Laboratoorne töö nr. 2. Tasapinnaliste kujundite raskuskeskme leidmine	39
§ 19. Tasakaalu liigid	39
§ 20. Pinnale toetuvate kehade tasakaal	41
III PEATUKK. Töö ja energia. Mehhanismid	45
§ 21. Mehhaaniline energia	45
§ 22. Töö suurus. Tööühikud	46
§ 23. Võimsus. Võimsusühikud	48
§ 24. Kang. Jõu õlg	51

§ 25. Jõumoment. Jõudude tasakaal kangil	53
§ 26. Kas kangide kasutamisel võidetakse töös?	55
§ 27. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus	55
§ 28. Liikumatu plokk	60
§ 29. Liikuv plokk	62
§ 30. Laboratoorne töö nr. 3. Jõudude tasakaalu tingimused kangil ja plokil	64
§ 31. Pöör	67
§ 32. Mehhaanika „kuldreegel“. Mehhanismi kasutegur	68
§ 33. Kaldpind	69
§ 34. Laboratoorne töö nr. 4. Kaldpinna kasuteguri määramine	71
§ 35. Pöörleva liikumise kiirus	72
§ 36. Rihm- ja hammasülekanne	74
§ 37. Lihtmehhanismide kasutamisest masinates	77
§ 38. Kehade potentsiaalne ja kineetiline energia	78
§ 39. Uhe mehhaanilise energia liigi muundumine teiseks	80
§ 40. Veejõumasinad	82
§ 41. Tuulejõumasinad	84
§ 42. Tööde mehhaniseerimine	85
IV PEATÜKK. Soojus ja töö	86
§ 43. Kehade soojenemine hõõrdumisel, tagumisel ja soojusülekanne korral	86
§ 44. Kehade siseenergia. Soojushulk	88
§ 45. Soojushulga ühikud	90
§ 46. Aine erisoojus	91
§ 47. Keha soojenemiseks vajaliku või jahtumisel eralduva soojushulga arvutamine	93
§ 48. Laboratoorne töö nr. 5. Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segunemise puhul	95
§ 49. Kütuse energia. Kütteväärtus	96
§ 50. Soojendaja kasutegur	97
§ 51. Laboratoorne töö nr. 6. Soojendaja kasuteguri määramine	98
§ 52. Tööühiku ja soojushulga ühiku vaheline seos	99
§ 53. Energia jäävuse ja muundumise seadus mehhaanilistes ja soojuslikes protsessides	100
§ 54. Päike kui Maa peamine energiaallikas	101
V PEATÜKK. Aine üleminek ühest agregaatolekust teise	103
§ 55. Kristallilised ja amorfseid kehad	103
§ 56. Kristalliliste ainete sulamine ja tahkestumine	103
§ 57. Laboratoorne töö nr. 7. Naftaliini soojendamise ja sulamise jälgimine	106
§ 58. Sulamis- ja kristalliseerumissoojus	107
§ 59. Sulamid ja nende kasutamine tehnikas	109
§ 60. Aurumine ja kondensatsioon	110
§ 61. Keemine	113

§ 62. Laboratoorne töö nr. 8. Vee vaatlemine tema soojendamisel ja keemisel	114
§ 63. Keemistemperatuuri sõltuvus rõhust	115
§ 64. Aurustumis- ja kondensatsioonisoojus	118
VI PEATÜKK. Soojusmasinad	122
§ 65. Kütuse energia muundumine mehhaaniliseks energiaks	122
§ 66. Soojusmasinad	123
§ 67. Aurumasin	123
§ 68. Kolvi vahelduvasuunalise liikumise muundumine võlli pöörlevaks liikumiseks	125
§ 69. Automaatne aurujaotamine	126
§ 70. Kondensaator	127
§ 71. Soojusmasina kasutegur	128
§ 72. Aurumasinaleiutamise ja rakendamise ajalooost	129
§ 73. Sisepõlemismootor	133
§ 74. Sisepõlemismootorite eelised	137
§ 75. Auruturbiin	137
§ 76. Vedeliku või gaasijoa reaktsioon	139
§ 77. Reaktiivmootor	140
Vastuseid	143

Александр Васильевич Пёрышкин
Евгений Яковлевич Минченков
Вильгельм Вильгельмович Крауклис
Георгий Константинович Карпинский
ФИЗИКА

для 7 класса

Обложка С. Лийберг

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma

Kunstiline toimetaja H. Keigo

Tehniline toimetaja L. Maidla

Korrektorid A. Kalberg ja H. Kull

Ladumisele antud 20. V 1964. Trükkimisele
antud 8. IX 1964. Faber 60×90, 1/16. Trüki-
poognaid 9,25. Arvestuspoognaid 8,54. Trüki-
arv 10 000. Tellimise nr. 1030. Trükikoda
„Punane Täht“, Tallinn, Pikk tn. 54/58.

Hind 16 kop.

A
26145

7148432

16 kop.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00714843 2