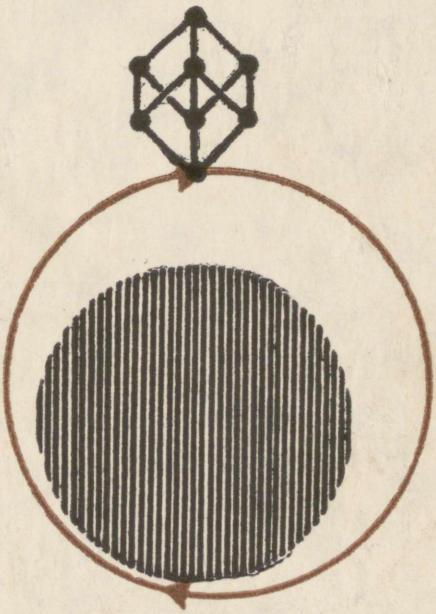
A. PJORÕŠKIN
N. RODINA

FÜÜSIKA

7. KLASSILE





A. PJORÕŠKIN · N. RODINA

FÜÜSIKA

VII KLASSILE

2. trükk

ARHIIVKOGU

KIRJASTUS «VALGUS»
TALLINN 1970

53
P57

Originaali tiitel:

А. В. Перышкин, Н. А. Родина. Физика. Учебное пособие для шестого класса. Под редакцией академика И. К. Кикоина. Утверждено Министерством просвещения СССР. Издание третье. Изд. «Просвещение», Москва 1970.

Vene keelest tõlkinud A. Siirak

Kunstiliselt kujundanud J. Palm

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt

Tartu Ülikooli
RAAMATUKOGU

ARHIIVKOGU

6—6

SISSEJUHATUS.

1. Loodus ja inimene.

Õhk, vesi, maa, taevakehad, taimed, loomad, s. o. kõik see, mis meid ümbritseb, ning lõpuks ka meie ise — kõike seda kokku nimetatakse *looduseks.*

Loodus on eksisteerinud alati, ka siis, kui inimest veel ei olnud. Ta on igavene, on alati olnud ning on ka tulevikus.

Meie maailmas on aga palju loodud inimese poolt, tema tööga ja mõistusega. Inimene rajas linnad ja külad, ehitas vabrikud ja tehased, kündis põllud, leiutas mitmesugused masinad. Ta rajas samuti teaduse, mis võimaldab loodust tundma õppida ning kasutada seda oma huvides.

Õppides tundma looduses toimuvaid muutusi, tegi inimene kindlaks, et kõik need ei toimu juhuslikult, vaid üksteisega tihedalt seotuna — seaduspäraselt. Nii näiteks toimub kehade langemine Maa külgetõmbejõu mõjul; aastaaegade vaheldumine on seotud Maa liikumisega ümber Päikese; tuule tekkimise üheks põhjuseks on õhu ebaühtlane soojenemine jne.

Leides teaduslikud seletused looduses toimuvatele muutustele, võib inimene võidelda religiooniga.

Loodusteaduste eesmärgiks on avastada, õppida tundma looduse seadusi ning kasutada neid inimese vajaduseks.

Loodusteadused arenevad pidevalt. Inimene õpib ikka täielikumalt ja sügavamini tundma looduse seadusi ning leiab nendele ikka ulatuslikumaid praktilisi kasutamisvõimalusi.

Selles raamatus esitatakse ühe tähtsama loodusteaduse, nimelt *füüsika* alused.

Küsimused.

1. Mis on loodus? 2. Milline on inimese osa looduse ümberkujundamisel? 3. Milline on loodusteaduste ülesanne?

2. Mõned füüsikalised algmõisted.

Kõrvuti harilike sõnadega kasutatakse teaduses palju sõnu, mida tavalises kõnekeeles kohtame harva või üldse mitte. Tõsi, mõned nendest sõnadest on järkjärgult läinud igapäevasesse kõnekeelde, näiteks sellised sõnad nagu «elekter», «energia», «kosmos». Esimesena kasutati neid sõnu füüsikas.

Teiselt poolt võib teaduses kohtuda sõnadega, millel on igapäevase kõnekeele tähendusega võrreldes hoopis teistsugune tähendus. Näiteks kui me igapäevases elus kasutame sõna «keha», siis peame silmas kas looma või inimese keha.

Füüsikas on sõnal «keha» palju laiem tähendus: *kehaks nimetatakse maailmas esinevat mistahes eset.* Seega on liivatera, Päike, pliiats, klaas, kivi jne. kõik füüsikalised kehad.

Teise näitena vaatleme sõna «mateeria». Vene kõnekeeles tähendab see sõna eelkõige riiet, millest õmmeldakse kas villaseid, sitsist või siidist rõivaid. Teaduses on samal sõnal teine, väga lai tähendus, mida ei ole kerge korraga seletada. Võib öelda, et *mateeriast koosneb kogu loodus, mis on kogu aeg eksisteerinud ning eksisteerib igavesti.*

Seda mateeria vormi, millest koosnevad füüsikalised kehad, nimetatakse harilikult aineks. Raud, vesi, õhk, kuld, paber jne. on mitmesugused ained.

Sageli ei ole võimalik teaduses kasutatavate sõnade tähendust mõne sõnaga seletada. Nii näiteks kasutatakse füüsikas väga sageli sõnu *ruum* ja *aeg,* kuid seletada lühidalt, mis on ruum ja aeg, ei ole võimalik. Me teame, et kõik sündmused maailmas toimuvad ruumis ja ajas. See tähendab, et igasugune sündmus toimub kusagil ning mingil ajal. Seega on sündmuse tundmaõppimiseks vaja teada, kus ja millal see toimus.

Nii näiteks startis Juri Aleksejevitš Gagarin Baikonuri kosmodroomilt 12. aprillil 1961. aastal kell 9 hommikul Moskva aja järgi. Nende andmetega on täpselt kindlaks määratud sündmus ehk *nähtus,* milleks oli inimese esimene kosmoselend. Need andmed mitte ainult ei määra kindlaks mingit sündmust, vaid aitavad seda ka tundma õppida, näiteks arvutada esimese kosmoselennu kestust, kiirust jne.

Füüsikas tavaliselt ei räägita, et toimus vee soojenemise sündmus, vaid öeldakse, et tegemist on vee soojenemise *nähtusega* ehk lihtsalt vee soojenemisega.

Kõiki looduses toimuvaid muutusi nimetatakse nähtusteks. Jää sulamine, vee keemine, kivide langemine, juhtme soojenemine, lambi hõõgniidi helendamine, välk — kõik need on mitmesugused nähtused.

Küsimused.

1. Mida väljendatakse füüsikas sõnaga *keha?* 2. Milline sisu antakse füüsikas sõnale *mateeria?* 3. Mida mõistetakse *aine* all? 4. Kuidas mõista fraasi «kõik sündmused maailmas toimuvad ajas ja ruumis»? 5. Mida nimetatakse füüsikas loodusnähtuseks?

3. Millega tegeleb füüsika?

Füüsika on üks vanemaid teadusi. Esimesteks füüsikuteks olid kreeka õpetlased, kes elasid mitusada aastat enne meie ajaarvamist. Esimestena püüdsid need teadlased selgitada maailma tekkimist ning maailmas vaadeldavaid muutusi loodusseaduste abil.

Suurimaks vana-aja õpetlaseks oli Aristoteles (384—322 a. e. m. a), kes tõigi teadusse sõna *füüsika.* Vene keelde tõi selle sõna vene teaduse rajaja M. V. Lomonossov.

Sõna füüsika tuleneb kreekakeelsest sõnast *physis,* mis tähendab loodust.

Füüsika arengu algperioodil kuulus sellesse teadusesse kõik, mis teati maapealsetest ja taevastest nähtustest. Koos teaduse arenemisega kitsenes nähtuste ring, millega füüsika tegeleb.

Füüsika uurib selliseid nähtusi nagu mehhaanilised, soojuslikud, elektrilised, valgusnähtused jne. Kõiki neid nähtusi nimetatakse *füüsikalisteks.* Füüsikalised nähtused erinevad teiste teaduste poolt uuritavatest loodusnähtustest.

Vaatleme näiteks sellist kõigile tuttavat loodusnähtust nagu põlemine. Tõmbame tuletiku põlema — see põleb ära. Tähendab — kindel füüsikaline keha, nimelt tuletikk, hävis põlemisel. Kuid tuletikk ei hävinud jäljetult, sellest jäi järele süsi, tuhk ja gaasid. Toimus ühe aine muundumine teiseks. Selliseid muundumisi nimetatakse keemilisteks nähtusteks, neid uurib keemia.

On olemas palju teisi loodust uurivaid teadusi, näiteks astronoomia, botaanika, zooloogia jt.

On vaja rõhutada, et kõik *loodusteadused kasutavad füüsika seadusi.* Ning see on ka mõistetav, mis-



Mihhail Vassiljevitš Lomonossov (1711—1765)

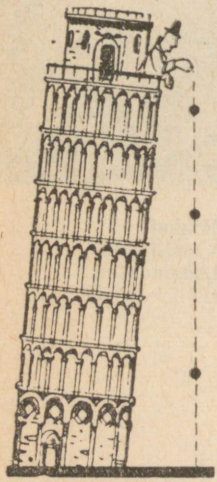
pärast. Nii näiteks võib ruumis liikuda mistahes keha, nii elus kui ka elutu, füüsika poolt avastatud liikumisseadused kehtivad nende kohta ühteviisi. Täpselt samuti võivad kõik varem loetletud füüsikalised nähtused toimuda kõigi kehadega, nii elusate kui elututega. Järelikult kasutab füüsika seadusi ka zooloogia. Neid kasutatakse ka teistes teadustes, näiteks füüsilises geograafias kliima, jõgede voolamise, tuulte tekkimise ja teiste nähtuste selgitamiseks.

Seepärast loetaksegi füüsikat põhiliseks loodusteaduseks.

Küsimused.

1. Kes tõi teadusesse sõna «füüsika»? 2. Mis on füüsika? 3. Millega füüsika tegeleb? 4. Milliseid loodusnähtusi nimetatakse füüsikalisteks nähtusteks? 5. Miks loetakse füüsikat põhiliseks loodusteaduseks?

4. Vaatlus ja katse.

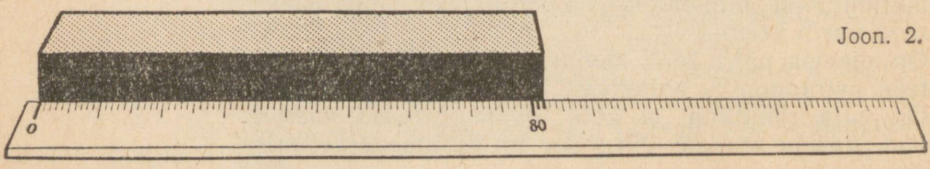


Joon. 1.

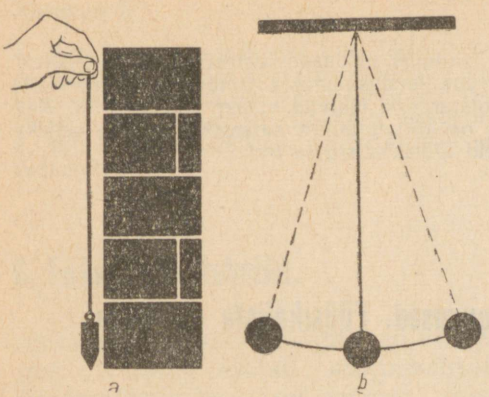
Igaüks meist teab, et ülesvisatud kehad langevad maapinnale, et jää soojas ruumis sulab, vesi aga muutub külmaga jääks, et magnet tõmbab enda külge rauda, et peegel peegeldab valgust jne.

Kust on saadud need teadmised? Palju teadmisi ühe või teise asja kohta oleme saanud teistelt inimestelt, kuid paljud teadmised on pärit meie isiklikest kogemustest, katsetest. Nii näiteks teame me oma kogemustest, et keha, mis kusagile ei toetu, langeb maapinnale. Sellisel moel oleme saanud ka paljud teised teadmised.

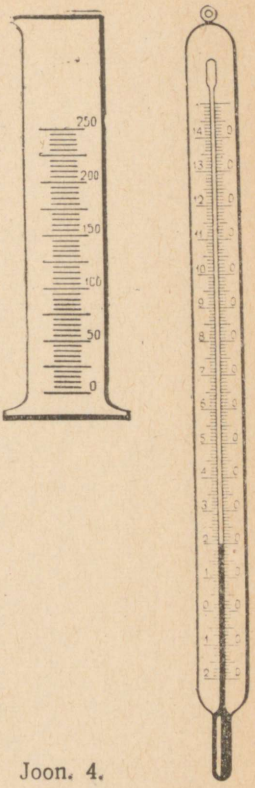
Kogemus on inimese parim õpetaja. Teadlased ammutavad oma teadmisi aga mitte ainult kogemustest, vaid eelkõige katsetest. Teadlase katsel on kindel ja läbimõeldud eesmärk. Nii näiteks laskis kuulus itaalia teadlane Galilei langemise uurimiseks kuulikestel langeda viltusest Pisa tornist (joon.1). Järelikult



Joon. 2.



Joon. 3.



Joon. 4.

on teadusliku katse ülesandeks saada vastus mingile küsimusele.

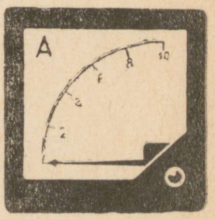
Katse on füüsikaliste teadmiste allikas.

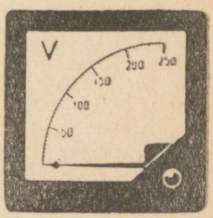
Kindlate teadmiste saamiseks on ainult katsetest vähe, tuleb osata katse tulemusi läbi mõelda ja selgitada, leida nähtuse põhjus. Kõik see nõuab uurijalt pingelist vaimset tööd.

Teadlane-füüsik vajab oma katseteks füüsikariistu. Ühed neist on väga lihtsad ning määratud vähesteks vaatlusteks ning lihtsateks mõõtmisteks. Selliseks riistaks on näiteks mõõtejoonlaud (joon. 2), niidi otsa seotud koormus, mis võib olla püstloodiks (joon. 3, *a*) või siis pendliks (joon. 3, *b*), mensuur (joon. 4) vedeliku ruumala mõõtmiseks, kaalud ja teised riistad.

Koos füüsika arenguga muutusid riistad keerulisemaks ning täiuslikumaks. Füüsikakabinettidesse ja laboratooriumidesse ilmus kõikvõimalikke mõõteriistu: termomeetreid, ampermeetreid, voltmeetreid (joon. 5) ja teisi. Eriti keerulised on need riistad, mille abil kaasaja füüsikud uurivad aine ehitust. Nii on Moskva lähedal Dubnas loodud väga keerulise ehitusega hiiglaslikud seadmed. Ühe sellise seadme, nimelt sünkrofasotroni keerulisusest räägivad järgmised andmed: diameeter on ligikaudu 60 m, seadme koosseisu kuuluvate magnetite valmistamiseks kulus 36 000 t terast, seadme poolt tarbitav võimsus moodustab peaaegu veerandi Dnepri hüdroelektrijaama võimsusest. Sellel sünkrofasotronil töötab teadlasi kõigist sotsialismimaadest.

Kaasaegne füüsika nõuab kogu maailma teadlaste ühendatud jõupingutusi.





Joon. 5.

Küsimused.

1. Kuidas saadakse teadmisi loodusnähtustest? 2. Mille poolest erineb meie igapäevane loodusnähtuste tundmaõppimine teadlaste poolt selleks otstarbeks läbiviidavatest katsetest? 3. Kas teadmiste saamiseks on küllalt ainult katsest? Mida on selleks veel vaja? 4. Milliseid füüsikariistu te teate?

5. Füüsikalised suurused. Füüsikaliste suuruste mõõtmine.

Kehad erinevad üksteisest oma kvaliteedi ehk, nagu öeldakse, *omaduste* poolest, näiteks tugevuse, värvuse, mõõtmete poolest. Ühed kehad juhivad soojust hästi, teised halvasti. Kõik metallid on head elektrijuhid, parimateks nende hulgast on aga hõbe ja vask. Vilgukivi, kummi, plastmassid ja mõned teised ained on halvad elektrijuhid, see tähendab — head isolaatorid.

Ühe ja sama keha omadused võivad mitmesugustel põhjustel muutuda. Harilik klaas näiteks on külmalt hea isolaator, pärast tugevat kuumutamist muutub aga elektrijuhiks. Elastne kummist kera muutub väga madalatel temperatuuridel hapraks ning löömisel puruneb ta kergesti.

Kehade omadustest ja füüsikalistest nähtustest täpsema kujutluse saamiseks kasutatakse mitmesuguseid *füüsikalisi suurusi*. Pikkus, pindala, aeg, kiirus, temperatuur, kaal — need on füüsikalised suurused.

Füüsikalist suurust võib alati mõõta. Mõõta mingit suurust tähendab võrrelda seda teise samanimelise suurusega, mis on võetud mõõtühikuks.

Nii näiteks tuleb laua pikkuse mõõtmiseks võrrelda seda teise pikkusega, mis on võetud pikkusühikuks, näiteks meetriga. Suuruse mõõtmise tulemusena saadakse arv, mis näitab, kui mitu korda on mõõdetav suurus suurem või väiksem ühikuks võetud samanimelisest suurusest.

Iga füüsikalise suuruse mõõtmiseks on oma mõõtühik. Nii näiteks kasutatakse pindala mõõtmiseks pindalaühikut (1 m^2), aja mõõtmiseks ajaühikut (1 sek.), ruumala mõõtmiseks — ruumalaühikut (1 m^3).

Küsimused.

1. Mille poolest erineb üks keha teisest? Tooge näiteid kehade omaduste muutumise kohta temperatuuri muutumisel. 3. Milleks kasutatakse füüsikalise suuruse mõistet? Tooge näiteid füüsikalistest suurustest. 4. Mis tähendab mõõta mingisugust suurust? 5. Milliseid pikkusühikuid, pindalaühikuid ja ruumalaühikuid te tunnete?

6. Füüsika ja tehnika.

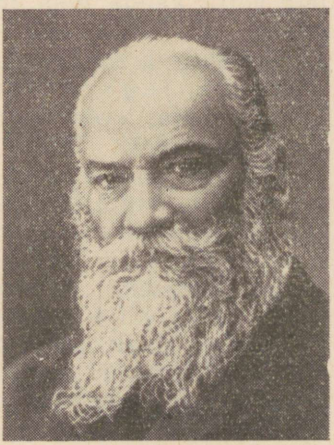
Avastused füüsikas mõjutavad suuresti tehnika arengut. Näiteks ehitati soojusnähtuste põhjalikuma tundmaõppimise järel mootor, mis paneb liikuma autod, traktorid, mootorvedurid jt. Tänapäeva kino tekkis pärast seda, kui oli tundma õpitud paljusid hääle-, valgus- ja elektrinähtusi.

Kõik see, mis on avastatud ja tundma õpitud füüsikas, on mitmete maade paljude teadlaste pingelise töö tulemus.

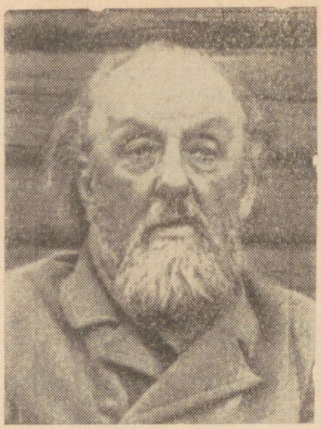
Paljud tähtsad avastused, mis aitasid kaasa füüsika arengule, tehti selliste teadlaste nagu G. Galilei, I. Newton, M. V. Lomonossov, M. Faraday, D. I. Mendelejev, P. ja M. Curie, E. Rutherford, A. Einstein, A. F. Joffe, S. I. Vavilov, J. V. Kurtšatov jt. poolt. Väljapaistvate vene teadlaste seas on eriline koht Mihhail Vassiljevitš Lomonossovil —



Aleksander Stepanovitš Popov (1859—1906)



Nikolai Jegorovitš Žukovski (1847—1921)



Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski (1857—1935)



Igor Vassiljevitš Kurtšatov (1903—1960)

esimesel vene akadeemikul. Oma määratu tööarmastusega saavutas M. Lomonossov edu mitmetel teadusaladel. A. S. Puškin kirjutas M. V. Lomonossovist: «Ta asutas esimese vene ülikooli. Parem on öelda, et ta ise oli meie esimeseks ülikooliks.»

Raadio on tänapäeva kõige vajalikum sidevahend. Raadio leiutas vene teadlane Aleksander Stepanovitš Popov. 7. mail 1895. a. teatas ta sellise riista leiutamisest, mis võimaldab ilma juhtmeteta võtta kauge maa tagant vastu elektrilisi signaale.

Lennunduse arendamiseks tegi palju vene õpetlane Nikolai Jegorovitš Žukovski, keda V. I. Lenin nimetas «vene lennunduse isaks».

Vene insenerid Pavel Nikolajevitš Jablotškov ja Aleksander Nikolajevitš Lodõgin leiutasid elektrivalgustuse, mida inimkond tänapäeval nii laialt kasutab.

Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski uuris esimesena reaktiivliikumise seaduspärasusi ning töötas välja lennuaparaadi — raketi projekti lendudeks Maalt päikesesüsteemi teistele planeetidele. Tsiolkovski teaduslikke saavutusi kasutasid teadlased ja insenerid kosmoselendude ettevalmistamiseks.

Kogu maailmale on teada nõukogude teaduse ja tehnika saavutused. Nende saavutuste näideteks on maailma esimese aatomielektrijaama loomine, Maa

esimese tehiskaaslase ja esimese kosmoseraketi orbiidile viimine. Esimeseks raketiks, mis jõudis Kuule, oli nõukogude rakett. Maailma esimene kosmonaut oli nõukogude inimene — Juri Aleksejevitš Gagarin.
Tuumaenergeetika areng meie maal on seotud väljapaistva teadlase Igor Vassiljevitš Kurtšatovi nimega.
Suuri teeneid esimeste kosmoselendudega seotud teaduslike ja tehniliste küsimuste lahendamisel on andekal nõukogude teadlasel Sergei Pavlovitš Koroljovil.

Küsimused.

1. Kuidas mõjutab füüsika tehnika arengut? Illustreerige seda näidetega. 2. Milliseid teadlasi te teate? Millises teadus- või tehnikaharus nad töötasid?

7. Milleks on vaja tunda kehade siseehitust.

Füüsika üheks tähtsamaks ülesandeks on leida selgitus ühele või teisele nähtusele, saada teada, miks see toimub. Sel otstarbel viiakse läbi vaatlusi ning korraldatakse spetsiaalseid katseid. Sageli aitavad siin inimest tema igapäevased kogemused. Nii näiteks on igaühel teada, et tahkel kehal on kindel kuju, mida mitte alati pole kerge muuta. Vedelikud aga, vastupidi, muudavad kergesti oma kuju ning võtavad selle anuma kuju, millesse nad valatakse. Gaasidel ei ole oma kuju ning nad ei säilita kindlat ruumala. Seepärast tuleb neid hoida kinnistes nõudes või spetsiaalsetes balloonides.

Füüsika mitte üksnes ei vaatle ega kirjelda nähtusi ning kehade omadusi, vaid, teades nähtuse kulgu, püüab neid ka *selgitada*.

Näiteks kuidas selgitada seda, et puupõrandale kallatud vesi valgub mööda põrandat laiali ning ei kogune ühte kohta? Miks muutub vesi jahtumisel tahkeks kehaks — jääks, soojendamisel aga gaasitaoliseks kehaks — veeauruks? Miks on gaasi kerge kokku suruda, vedelikke ja tahkeid kehi aga väga raske? Miks on kuumutatud terasetükki kergem painutada või laiaks taguda kui külma?

Nii nendele kui ka paljudele teistele küsimustele võib vastata, kuid selleks on vaja tunda kehade siseehitust. Need teadmised võimaldavad selgitada paljude kehade omadusi, aitavad luua uusi inimestele vajalike omadustega aineid. Teaduse abiga on näiteks loodud sellised materjalid nagu metallide kerged ja vastupidavad sulamid, plastmassid, kunstlik kautšuk, kaproon, nailon. Kõiki neid materjale kasutatakse ulatuslikult tehnikas ja igapäevases elus.

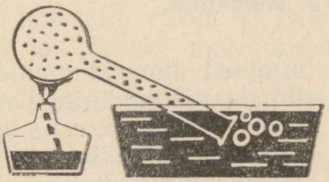
Küsimused.

1. Milliseid kehade omadusi me tunneme igapäevaste kogemuste põhjal? 2. Milleks on vaja tunda kehade siseehitust?

8. Kehade siseehitus.

Kui palli kätega suruda, siis väheneb pallis oleva õhu ruumala. Surudes saab kergesti vähendada ka kummitüki või vaha ruumala. Pliitüki löömisel vasaraga me muljume ta kokku ning tüki maht mõningal määral väheneb.

Joonisel 6 on kujutatud klaaskolb, mis on kaelapidi vette torgatud. Kui kuumutada kolvis olevat õhku, siis viimase ruumala suureneb ning õhumullid tungivad kolvist välja. Kolvi jahtumisel tungib kolbi vett, sest kolbi jäänud õhu ruumala jahtumisel väheneb.



Joon. 6.

Teraskuul, mis mahub vabalt läbi rõnga, soojendamisel paisub ning jääb seetõttu rõngale toetuma (joon. 7). Kuuli jahtumisel tema ruumala väheneb ning kuul mahub jällegi rõngast läbi.

Seega kinnitavad katsed, et keha ruumala võib muutuda — kas suureneda või väheneda. Miks see nii on?

Kehade ruumala võib muutuda sellepärast, et **kehad ei ole jagamatud, vaid koosnevad väikestest osakestest, mille vahel on vaba ruumi.** Keha ruumala suurenemisel osakesed eemalduvad üksteisest, ruumala vähenemisel aga lähenevad üksteisele.

Ettekujutuse nende osakeste suurusest annab järgmine katse. Väike värviterakene lahustatakse klaasitäies vees. Pärast seda kallatakse õige vähe värvilahust teise klaasi ning sellele puhast vett, kuni klaas saab täis. Teise klaasi vesi on esimesega võrreldes vähem värvitud. Teisest klaasist kallatakse omakorda veidike vett kolmandasse ning see täidetakse puhta veega. Nii toimitakse mitu korda ning veendutakse, et vesi muutub ikka heledamaks ja heledamaks.

Vaatleme viimast lahust. Vaatamata sellele, et see on väga hele, on ta ühtlaselt värvunud. Tähendab, igas veetilgas on värviosakesi. Ometi paigutasime me vette väikese värviterakese ning viimasesse klaasi sattus sellest omakorda üsna väike osa. *Järeli-*



Joon. 7.

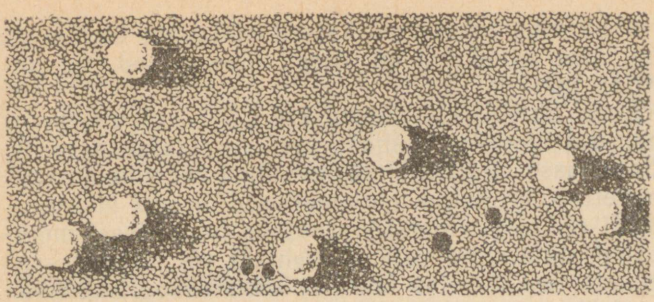
kult oli värviterakeses väga palju väga väikeste mõõtmetega osakesi.
See ning teised vaatlused ja katsed, mida me hiljem tundma õpime, lubavad järeldada, et *kõik kehad koosnevad väga väikestest osakestest.*

Küsimused.

1. Missugused nähtused viitavad sellele, et kehad ei ole pidevad? 2. Kuidas saab näidata, et kehad koosnevad väga väikestest osakestest? 3. Kuidas muutub keha koostisosakeste paigutus keha ruumala vähenemisel ja suurenemisel?

9. Molekulid.

Inimesed aimasid ammu, et mistahes aine koosneb silmale nähtamatutest osakestest. Juba 2500 aastat tagasi kinnitas kreeka õpetlane Demokritos, et ained koosnevad üliväikestest nähtamatutest osakestest.
Uuesti sündis see õpetus XVII—XVIII sajandil. Kui vanal ajal teadlased ainult aimasid aine väikseimate osakeste olemasolu, siis XIX sajandil tõestati selliste osakeste eksisteerimine.
Osakesi, millest kehad koosnevad, nimetatakse *molekulideks* (sõna «molekul» tuleneb ladinakeelsest sõnast, mis tähendab väikest massi). Kui suured on molekuli mõõtmed?
On teada, et suhkrutükki võib jagada väga väikesteks terakesteks, nisutera võib jahvatada jahuks, kullast võib valmistada plaadi paksusega kuni 0,0001 mm. Veepinnal laialivalgunud õlikile paksus on 0,000002 mm (sellise kile paksus on 40 000 korda väiksem inimese juukse jämedusest). Kuid jahuteras, kuldlehe ja õlikile paksuses sisaldub rohkem kui üks molekul. Tähendab molekulide mõõtmed on siin märgitud arvudest veelgi väiksemad.
Ettekujutuse molekulide väikestest mõõtmetest võib anda järgmine võrdlus: molekul on õunast niisama palju kordi väiksem, kui mitu korda on õun väiksem maakerast. Kui kõik kehad saaksid miljon korda pikemaks (inimese keskmine pikkus oleks siis 1600 km, tema sõrme pikkus 10 km ning juuksekarva läbimõõt 80 m), siis oleksid molekuli mõõtmed 2 korda väiksemad selle õpiku trükikirja punkti mõõtmetest.
Erinevate ainete molekulid erinevad üksteisest oma mõõtmete poolest, kuid kõik nad on väga väikesed.



Joon. 8.

Kaasaegsed elektronmikroskoobid lubavad vaadelda ja fotografeerida suurimaid molekule (joon. 8). Nii saadud fotod on veel üheks kinnituseks molekulide olemasolule.

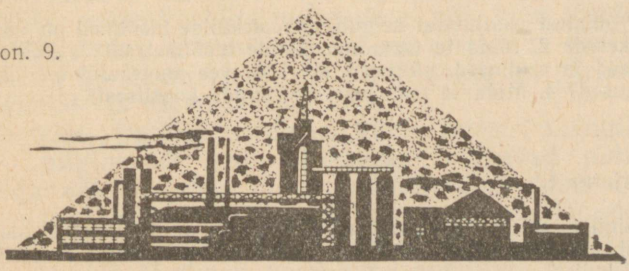
Füüsikas on olemas mitmesuguseid viise molekulide mõõtmete kindlaksmääramiseks.

Kuna molekul on väga väike, siis on neid igas kehas hiiglaslik hulk. Veetilgas on näiteks molekule mitu miljardit korda rohkem kui maakeral elanikke. 1 cm^3 õhus on niipalju molekule, et nendega võrdne arv liivaterasid moodustaksid mäe, mis kataks suure tehase (joon. 9).

Kas ühe ja sama aine molekulid erinevad üksteisest?

Looduses erinevad kõik kehad üksteisest millegi poolest. Ei ole olemas ühesuguste nägudega inimesi. Ühel puul kasvavate lehtede hulgas ei ole kaht täiesti ühesugust. Isegi liivahunnikus me ei leia kahte ühesugust liivatera. Kuullaagrite jaoks valmistatakse tehases ühe ja sama näidise järgi miljoneid kuule. Kui neid kuule aga hiljem mõõta täpsemini, kui seda tehti tootmise käigus, siis veendume, et ka nende hulgast ei ole võimalik leida kahte täiesti ühesugust.

Joon. 9.

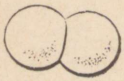












Joon. 10.

Arvukad ning keerulised katsed näitavad, et ühe ja sama aine molekulid on täiesti ühesugused. See on huvitav fakt.

Korjame ühte klaasi vihmavett, teise valame mereveest destilleeritud puhast vett (eraldatakse sool), kolmandasse aga viinamarjamahlast või piimast saadud vett. Kõigi kolme vee omadused on aga ühesugused. Ei ole isegi võimalik eraldada teineteisest mereveest destilleeritud vett ja mahlast või piimast saadud vett. See kinnitab fakti, et kõik veekogused koosnevad ühesugustest molekulidest.

Ühe ja sama aine kõik molekulid on ühesugused.

Molekul kujutab endast antud aine kõige väiksemat osakest.

Kui näiteks jagada veetilk väikesteks osakesteks, siis on ka kõige väiksem tilgakene väike veekogus. Vee molekul kujutab endast samasugust väikest veehulka, ainult et selle jagamisel ei saada enam vett, vaid hoopis teiste ainete osakesed.

Osakesi, milleks jagunevad molekulid, nimetatakse *aatomiteks*. Kahest ühesugusest aatomist koosneb näiteks hapniku molekul. Vee molekul koosneb aga kolmest aatomist (kahest vesiniku ja ühest hapniku aatomist).

Vee molekuli jagamisel saadakse kaks vesiniku aatomit ja üks hapniku aatom. Vesiniku aatomid ühinevad kahekaupa vesiniku molekulideks ning hapniku aatomid omakorda hapniku molekulideks. Skemaatiliselt on see kujutatud joonisel 10.

Kuid ka aatomid ei ole jagamatud osakesed, nad koosnevad omakorda veel lihtsamatest osakestest (aatomi ehitusest räägitakse üksikasjalisemalt vanemate klasside füüsika ja keemia õpikutes).

Küsimused.

1. Millistest vaatlustest selgub, et molekulide mõõtmed on väga väikesed? 2. Mida te teate molekulide mõõtmetest? 3. Millised katsed ja arutlused näitavad, et kõik vee molekulid on ühesugused? 4. Mida te teate vee molekulide koostisest?

Harjutus 1.

Vesiniku molekuli läbimõõt on 0,00000023 mm. Kui pikk oleks ahel, mis koosneks 1 000 000 järjestikku paigutatud vesiniku molekulist?

Ülesanne.

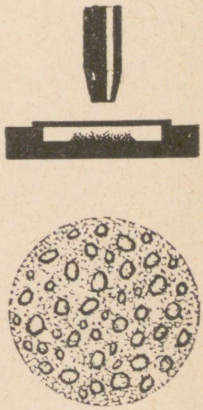
Valage sügavale taldrikule vett ning asetage veepinnale väike tilgake masinaõli. Vaadelge õli laialivalgumist veepinnal. Pange tähele, kas laialivalgumine jätkub ka mõni tund pärast katse algust ning järgmisel päeval. Tehke järeldus. Mõelge, kuidas saab selle katse abil määrata õli molekuli diameetrit.

10. Molekulide liikumine.

Arvukad katsed näitavad, et **kõikide kehade molekulid pidevalt liiguvad.**

Molekulide liikumise katseliseks tõestuseks on nähtus, mida 1827. a. jälgis inglise teadlane Brown, vaadeldes mikroskoobiga taimede eoseid.

Katseks võib kasutada ka värvi või tušši, mis on eelnevalt peenestatud nii väikesteks osakesteks, et neid võib näha ainult mikroskoobiga. Värv tuleb segada veega ning saadud segu jälgida mikroskoobiga (joon. 11).



Joon. 11.

Sellise katse läbiviimisel võib näha, et värviosakesed vahetpidamata liiguvad. Kõige väiksemad värviosakesed liiguvad ühest kohast teise, pidevalt muutes oma liikumise suunda, s. o. nad liiguvad korrapäratult. Suuremad osakesed võnguvad, jäädes oma esialgsele kohale. Vaadeldavat värviterakeste liikumist nimetatakse *Browni liikumiseks.*

Vaatlused näitavad, et Browni liikumine *kunagi ei lakka.* Veetilgas (kui seda ei lasta ära kuivada) võib värviosakeste liikumist vaadelda päevi, kuid ja aastaid. See liikumine ei katke ei suvel ega talvel, ei päeval ega öösel.

Browni liikumise põhjuseks on pidev, mitte kunagi katkev molekulide liikumine selles vedelikus, kuhu värviosakesed paigutati. Muidugi on värviosakesed molekulidest palju kordi suuremad ning kui me näeme mikroskoobis värviosakeste liikumist, siis ei tule arvata, et me näeme molekulide endi liikumist. Hariliku mikroskoobiga molekule ei näe, kuid nende olemasolu ning liikumise üle võime otsustada värviosakeste liikumise järgi, mille põhjuseks on põrked molekulide ja värviosakeste vahel.

Võib teha järgmise võrdluse. Rühm inimesi mängib vees hiiglasuurt palli. Inimesed tõukavad palli kätega, käte tõugetest liigub pall kord ühes, kord teises suunas. Kui vaadelda seda mängu suurest kaugusest, siis inimesi pole näha, palli korrapäratu liikumine paistab toimuvat nagu ilma põhjuseta.

Täpselt samuti ei näe me molekule, kuid saame aru, et nende põrgete tulemusena liiguvadki värviosakesed kaootiliselt ja pidevalt.
Browni liikumise tundmaõppimisel oli suur tähtsus aine ehituse teooriale. See nähtus kinnitas, et *kehad koosnevad tõepoolest üksikutest osakestest — molekulidest — ning et molekulid liiguvad pidevalt ning kaootiliselt.*

Küsimused.

1. Kirjeldage katset, mille abil võib vaadelda Browni liikumist. Mis on selle liikumise põhjuseks? 2. Milline on molekulide liikumise iseloom? 3. Milline tähtsus teadusele oli Browni liikumise avastamisel? 4. Kuidas seletada kõige suuremate ja kõige väiksemate värviosakeste liikumise erinevust lahuses?

11. Difusioon gaasides, vedelikes ja tahketes kehades.

Vaatleme katset, mida võib seletada ainult sellega, et keha koosneb molekulidest. Selles katses ilmneb ka *molekulide kõige tähtsam omadus — nende liikumine.*
Klaasanumasse valatakse vaskvitrioli vesilahust. See lahus on tumerohekassinise värvusega ning veest raskem. Lahuse peale kallatakse väga ettevaatlikult (et vadelikke mitte segada) puhta vee kiht. Katse algul on vee ja vaskvitrioli lahuse eralduspind hästi nähtav.
Anum jäetakse paigale ning jälgitakse vedelike eralduskihti. Mõne päeva pärast ilmneb, et eralduskiht on hägustunud. Umbes kahe nädala pärast on vedelike eralduspind peaaegu kadunud, anumas asub ühtlaselt helesinise värvusega vedelik.
Kirjeldatud nähtust selgitatakse järgmiselt. Alguses muudavad eralduspinna läheduses olevad vee ja vaskvitrioli molekulid vastastikku oma asukohti. Vedelike eralduspinna teravus kaob, sest sellise kohtade vahetamise tulemusena satuvad vaskvitrioli molekulid alumistesse veekihtidesse ning veemolekulid vaskvitrioli lahuse ülemistesse kihtidesse. Sellele järgneb molekulide vahetus järgmiste kihtidega. Vedelike eralduspinna teravus väheneb veelgi. Kuna molekulid liiguvad pidevalt ning korrapäratult, siis jätkub kirjeldatud protsess seni, kuni lahus ei ole muutunud homogeenseks.

Ühe aine molekulide tungimist teise ainesse nimetatakse difusiooniks.

Veel kergem on difusiooni vaadelda gaasides. Kui tuua tuppa mingisugust lõhnavat ainet, näiteks naftaliini, siis levib selle lõhn peagi kogu ruumis. Tähendab, naftaliini molekulid jõudsid järk-järgult ruumi kõikidesse osadesse, s. t. toimus difusioon. Naftaliini molekulid, põrkudes õhu molekulidega ning liikudes kaootiliselt, levivad toas kõikides suundades.

Difusioon esineb ka tahketes kehades. Ühes katses asetati poleeritud plii- ja kuldplaat teineteise peale ning pandi surve alla. Toatemperatuuril (umbes 20°C) kasvasid plaadid 5 aastaga teineteise külge, olles tunginud teineteisesse 1 mm sügavuselt. Nähtuse ainuvõimalik seletus seisneb järgmises: 5 aastat kestnud difusiooniprotsessis tungisid kulla molekulid pliiplaati ning plii molekulid kuldplaati.

Küsimused.

1. Mis on difusioon? 2. Kuidas selgitada difusiooni aine molekulaarse ehituse seisukohalt? 3. Kirjeldage difusiooni vedelikes, gaasides ja tahketes kehades ning nende erinevusi.

12. Molekulide liikumise kiirus ja keha temperatuur.

Meie ümber toimub mitmesuguseid füüsikalisi nähtusi, mis on seotud kehade soojenemisega ja jahtumisega ning üleminekuga ühest olekust teise. Sellisteks nähtusteks on näiteks õhu soojenemine ja jahtumine, jää sulamine, metallide sulamine. Selliseid nähtusi nimetatakse soojusnähtusteks.

Me teame, et vee soojendamisel muutub see esialgu soojaks ning seejärel kuumaks. Tuba soojendades ahi jahtub, kuid tuba, s. t. toa õhk soojeneb.

Sõnadega «külm», «soe», «kuum» märgime me kehade mitmesuguseid soojusastmeid ehk nagu öeldakse füüsikas — kehade mitmesuguseid *temperatuure.*

Kuuma vee temperatuur on kõrgem külma vee temperatuurist. Talvel on õhu temperatuur väljas madalam kui suvel.

Keha temperatuuri mõõdetakse teatavasti termomeetriga. Temperatuuri mõõtühikuks on kraad.
Keha temperatuurist olenevad keha paljud omadused. Nii näiteks on terasetükk toatemperatuuril jäik, muutub aga sepistatavaks, kui teda kuumutada valge hõõgumiseni (700—800°C). Plii aga, mis toatemperatuuril on pehme, muutub jahutamisel — 180°C rabedaks.
Kui vaadelda vedelike difusiooni kahes anumas, millest üks on paigutatud külma, teine aga sooja kohta (kuid mida ei soojendata alt), siis veendume, et *difusioon toimub soojemas vedelikus kiiremini kui külmas vedelikus.* See tähendab, et molekulide liikumise kiirus ja selle keha temperatuur on omavahel seotud.
Aine molekulaarse ehituse tundmine võimaldab teha tähtsa järelduse. Antud keha temperatuur on seotud keha molekulide liikumise kiirusega. Soe vesi koosneb samadest molekulidest, millest külm vesi. Erinevus nende vahel seisneb vee molekulide liikumise kiiruses.
Mida kiiremini liiguvad keha molekulid, seda kõrgem on keha temperatuur.
Kuna keha temperatuur on seotud molekulide liikumise kiirusega, siis nimetatakse gaaside, vedelike ja tahkete kehade molekulide korrapäratut liikumist soojusliikumiseks.

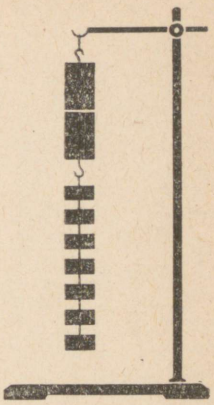
Küsimused.

1. Milliseid nähtusi nimetatakse füüsikas soojusnähtusteks? 2. Mida väljendab sõna *temperatuur?* 3. Kuidas toimub difusioon kõrgematel ja madalamatel temperatuuridel? 4. Kuidas on keha temperatuur seotud tema molekulide liikumise kiirusega? 5. Mille poolest erinevad külmas ja soojas vedelikus toimuvad Browni liikumised?

13. Molekulide vastastikune külgetõmme.

Näeme, tahked kehad ja vedelikud ei jagune molekulideks, kuigi molekulide vahel on vaba ruumi ning molekulid ise on pidevas liikumises. See tähendab, et on olemas põhjused, mis hoiavad molekule üksteise kõrval ning ei lase neil laiali lennata.
Teame hoopis, et kehad ei lagune üksikuteks molekulideks ning et tahkete kehade venitamine või purustamine on koguni raske. Kuidas siis seletada asjaolu,

et molekulid hoiduvad kehas üksteise lähedale ja avaldavad nendevaheliste kauguste suurendamisele tugevat vastupanu.
Asi on selles, et *molekulide vahel eksisteerib vastastikune külgetõmme.* Iga molekul tõmbab enda poole naabermolekule ning viimased omakorda ka neid.
Molekulidevaheline külgetõmme on märgatav ainult siis, kui molekulid asuvad üksteisele väga lähedal. Kaugustel, mis on veidi suuremad molekulide mõõtmetest, väheneb külgetõmme tunduvalt.
Murrame kriiditüki pooleks ning sobitame siis mõlemad tükid uuesti kokku. Nad ei jää aga enam teineteise külge. Tühiselt väikesed vahemikud kriidiosakeste vahel (väiksemad kui 0,000001 cm) on küllaldased selleks, et molekulidevahelised tõmbejõud tunduvalt nõrgeneksid.
Kui aga kasutada pehmet materjali, näiteks kitti, siis selle tükid liituvad kergesti. Seda seepärast, et kititükke saab viia teineteisele niivõrd lähedale, kus pääsevad mõjule molekulidevahelised tõmbejõud.
Purunenud klaasi tükid ei liitu teineteisega. Kui aga klaasitükkide servi kuumutada nii, et need hakkavad sulama, siis võib saada tugeva ühenduse. See nähtus on analoogiline kititükkide liitumisega. Kirjeldatud moodusel põhineb ka jootmine metallidega.
Kaks pliitükki ühinevad ning võivad taluda suurt koormust (joon. 12), kui nad asetada värskelt lõigatud pindadega tihedalt teineteise vastu.



Joon. 12.

Küsimused.

1. Miks ei jagune tahked kehad ja vedelikud üksikuteks molekulideks? 2. Millistel tingimustel on märgatav molekulidevaheline külgetõmme? 3. Miks kaks kokkusobitatud kriiditükki ei ühine, kititükid või pliitükid aga ühinevad?

14. Aine kolm olekut.

Talvel kattub järvede ja jõgede pind jääga, vesi muutub tahkeks aineks — jääks. Jää all olev vesi jääb aga vedelasse olekusse. Siin näeme üheaegselt vee erinevaid olekuid — tahket (jää) ja vedelat (vesi). Eksisteerib veel kolmas vee olek, nimelt gaasiline. Veeauruna esineb vett meid ümbritsevas õhus.
Vee olekute vaatlemise põhjal võime öelda, et *aine esineb looduses kolmes olekus — tahkes, vedelas ja gaasilises.*

Nendes tingimustes, milles me elame, näiteks toatemperatuuril, me harilikult ei kohta sama ainet erinevates olekutes. Osa aineid esineb tavaliselt tahkes olekus, näiteks kriit, teras, klaas. Neid nimetatakse *tahketeks aineteks.*

Tahketest ainetest valmistatud kehad säilitavad oma kuju ja ruumala. Tavaliselt on nende painutamiseks, muljumiseks või lõhkumiseks vaja suurt jõupingutust.

Selliseid aineid nagu elavhõbe, tint, piiritus, piim, nimetatakse *vedelikeks.*

Vedelik võtab selle anuma kuju, milles ta asetseb. Ainult väga väikestel vedelikutilkadel, näiteks elavhõbedatilgal või veetilgal on oma kuju, nimelt kera kuju. Selliseid tilgakesi võib näha kaste mahalangemisel.

Selleks et jaotada vedelikku osadeks, ei ole vaja suurt jõupingutust. Pannes käe vette, me surume hõlpsasti vee laiali, pritsime tema osakesi eemale. Erinevalt tahketest kehadest on vedelike osakesed liikuvad.

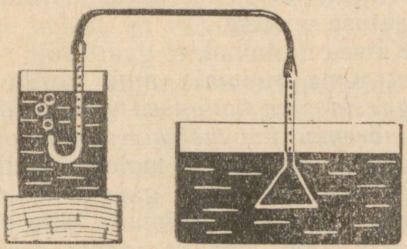
Vedeliku kuju on kerge muuta, kuid ruumala mitte. Ruumala säilib vedeliku valamisel ühest anumast teise, ning muutub väga vähe isegi suurte rõhkude mõjul. On säilinud kirjeldus ühest ajaloolisest katsest, milles prooviti vett kokku suruda järgmisel viisil. Vesi valati pliikerasse, mis joodeti kinni. Et kera kokku suruda, löödi seda raske vasaraga. Ja mis juhtus! Vee ruumala ei vähenenud, vaid vesi imbus kerast välja läbi pragude, mis tekkisid löömisel.

Õhk, hapnik, vesinik, süsihappegaas, vingugaas on harilikes tingimustes *gaasid.*

Paljud gaasid on läbipaistvad ning värvitud. Seepärast me neid ka ei näe. Õhus on kergem liikuda kui vees, sest õhuosakesi on veel kergem üksteisest eraldada kui veeosakesi. Ainult väga kiirel liikumisel, näiteks lennuki, rongi ja auto sõitmisel või siis tugeva tuulega märkame õhu olemasolu enda ümber.

Paigutame vette põhjaga ülespoole keeratud klaasi. Vesi ei tungi klaasi, sest viimane on õhuga täidetud. Kui lasta vette lehter, mis on kummivooliku abil ühendatud klaastoruga (joon. 13), siis väljub õhk lehtrist vooliku ja toru kaudu. Mõlemad katsed näitavad, et *gaasil on oma kindel ruumala.* Gaasi ruumala on küllalt kerge muuta. Selles seisnebki gaaside ja vedelike peamine erinevus. Gaasi võib tugevasti kokku suruda. Isegi kätega saab pallis olevat õhku

nii kokku suruda, et tema ruumala tunduvalt väheneb.
Pöörame tähelepanu veel ühele gaasi omadusele, mis eraldab teda vedelikest ja tahketest kehadest. Nimelt iga gaas võtab endale võimalikult suure ruumala. Selles võib veenduda katseliselt. Võetakse võrkpalli sisekumm ning pumbatakse sellesse õhku. Pärast seda ühendatakse see kumm tühja õhukummiga. Õhk tungib esimesest kummist teise ning täidab mõlemad sisekummid.



Joon. 13.

Kui teilt küsitakse, missuguste ainete hulka kuulub näiteks tina, siis ärge tõtake vastama, et ta on alati tahke keha.
Tahke keha võib muutuda vedelikuks või gaasiliseks. Näiteks on sulaterasel kõik vedeliku omadused: ta voolab, võtab selle anuma kuju, kuhu ta valatakse.
Kindlatel tingimustel muutub vedelik tahkeks kehaks. Näiteks tahkestub elavhõbe suure külmaga.
Suure rõhu ning tugeva jahutamisega võib gaasi muuta vedelikuks või isegi tahkeks kehaks. Süsihappegaasi kokkusurumisel ning jahutamisel saadakse tahke süsihape ehk kunstlik jää.
Järelikult oleneb see, millises olekus aine esineb, kas tahkes, vedelas või gaasilises, ümbritsevatest tingimustest.

Küsimused.

1. Tooge näiteid aine tahke, vedela ja gaasilise oleku kohta. 2. Nimetage tahkete kehade ühised omadused. 3. Milliseid vedelikke te tunnete? Loetlege vedelike ühiseid omadusi. 4. Millised on gaaside ühised omadused? 5. Kas võib kinnitada, et elavhõbe on alati vedelik, teras tahke keha ja hapnik gaas?

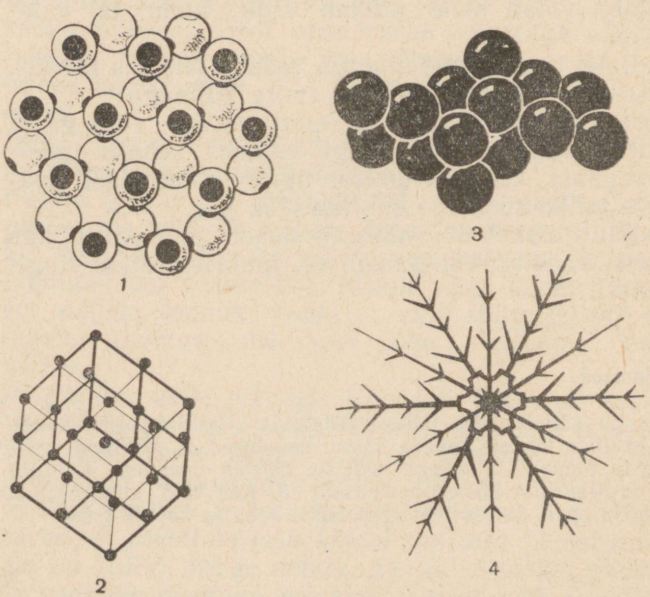
15. Erinevused tahkete kehade, vedelike ja gaaside molekulaarses ehituses.

Teades aine molekulaarset ehitust, võib selgitada tahkete kehade, vedelike ja gaaside erinevusi.

Vesi esineb kolmes olekus: tahkes, vedelas ja gaasilises. Jää, vee ja veeauru molekulid ei erine üksteisest. Molekulide järgi ei ole võimalik kindlaks teha, kas ta kuulub jääle, veele või veeaurule. Järelikult ei erine kolm olekut mitte molekulide, vaid nende paigutuse poolest.

Katsed näitavad, et gaasi võib selliselt kokku suruda, et tema ruumala mitu korda väheneb. Järelikult, *gaasides on kaugused molekulide vahel suured, palju suuremad kui molekuli enda mõõtmed.* Sellistel kaugustel tõmbavad molekulid üksteist väga nõrgalt. Seepärast ei olegi gaasidel oma kuju ning püsivat ruumala. Ei ole võimalik täita pudelit või klaasi gaasiga ainult poolest saadik, sest molekulid, liikudes igas suunas ning praktiliselt üksteist mitte külge tõmmates, täidavad kiiresti kogu anuma.

Tahke keha on vastupidav, ta säilitab oma kuju. Osa neist omavad loodusliku, väga keerulise, ilusa ning korrapärase kuju (näiteks lumeräitsakas, joon. 14, *4*). Kuidas selgitada seda tahkete kehade omadust?



Joon. 14. Mõnede ainete kristallide mudelid: *1* — jääkristall; *2* — keedusoola kristall; *3* — joodi kristall; *4* — lumeräitsakas.

Enamiku *tahkete kehade,* selliste nagu jää, sool, naftaliin, metallid, molekulid on paigutatud kindla korra järgi. Need molekulid küll liiguvad, kuid teevad seda kindla punkti ümber analoogiliselt kellapendliga, s. o. võnguvad. Molekul ei saa asuda sinna, kuhu tahab, ning seepärast tahke keha ei valgugi laiali. Selliseid tahkeid kehi nimetatakse *kristallilisteks.*

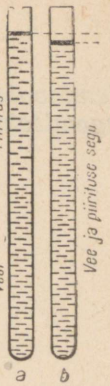
Joonisel 14 *1, 2,* ja *3* on kujutatud osakeste paigutus jää, keedusoola ja joodi kristallides.

Vedelikes on molekulid paigutatud tihedamini kui gaasides. See järgneb sellest, et vedelikke on väga raske kokku suruda.

Kui gaasides on harilikes tingimustes molekulidevahelised kaugused näiteks 10 korda suuremad kui molekulide endi mõõtmed, siis vedelikes on molekulid paigutatud nii tihedalt, et nendevahelised kaugused on molekulide endi mõõtmetest isegi väiksemad. Vedelike molekulid tõmbavad üksteist tugevamini kui gaasi molekulid. Seepärast on molekulide liikumisel vedelikes keerulisem, segasem iseloom. Erinevalt tahketest kehadest ei ole vedelike molekulide paigutuses kindlat korda. Vedelike molekulid võivad üksteise suhtes vabalt liikuda. Sellega seletub vedelike omadus muuta kergesti oma kuju.

Vahemike olemasolu tahkete kehade ja vedelike molekulide vahel on tõestatud varem vaadeldud katsetega. Vedelikud ja tahked kehad soojenemisel paisuvad ja jahtumisel tõmbuvad kokku nagu gaasidki. Neis esineb ka difusioon.

Vahemike olemasolu molekulide vahel kinnitab ka järgmine katse. Klaastorusse valatakse poolest saadik vett, vee peale aga ettevaatlikult piiritust. Piirituse nivoo asukoht märgitakse torule (joon. 15, *a*). Nüüd suletakse toru korgiga ning pööratakse toru otsa mitu korda alla ja üles, et torus olev vesi ja piiritus hästi seguneksid. Saadud segu ruumala osutub väiksemaks piirituse ja vee ruumalade summast (joon. 15, *b*). See tähendab, et segus on molekulid paigutatud tihedamalt.



Joon. 15.

Küsimused.

1. Kuidas on paigutatud molekulid gaasides ning kuidas need molekulid liiguvad. 2. Kirjeldage tahkete kehade ja vedelike molekulaarset ehitust. 3. Kirjeldage tahkete kehade, vedelike ja gaaside omadusi, lähtudes aine molekulaarse ehituse teooriast. 4. Kirjeldage katset, mis tõestab vahemike olemasolu molekulide vahel.

16. M. V. Lomonossov aine ehitusest.

Täiendavaks lugemiseks

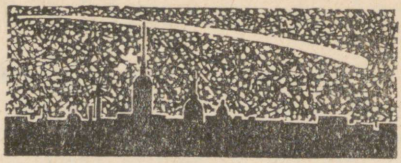
Arvukate tööde hulgas oli M. V. Lomonossovil ka teoseid aine ehituse kohta. Nendes väljendatud ideed ennetasid teaduse arengut rohkem kui 100 aastat. Ta oli üheks esimeseks, kes kinnitas, et soojusnähtused on seotud nende nähtamatute osakeste liikumise ja asetusega, millest kehad koosnevad. Selgitades, miks me ei näe seda liikumist, ta kirjutas: «...ei saa eitada liikumist seal, kus silm seda ei näe, kes hakkab eitama, et metsas tugeva tuulega puude lehed ja ladvad liiguvad, kuigi kaugelt ei ole mingit liikumist märgata. Nii nagu siin kauguse tõttu on soojusnähtustes osakeste liikumine mittevaadeldav nende väiksuse tõttu.»

Gaaside ehitust kujutas M. V. Lomonossov endale järgmiselt: õhuosakesed «põrkuvad kokku teiste naaberosakestega korrapäratult, tõukuvad üksteisest eemale ning põrkuvad uuesti lähemate osakestega, tõukuvad uuesti, püüavad hajuda kõikides suundades üksteist vastastikuste löökidega pidevalt tõugates».

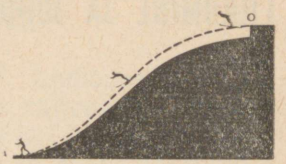
M. V. Lomonossov selgitas õigesti ka paljusid teisi nähtusi, tema seisukohad aine ehituse alal olid lähedased kaasaegsetele seisukohtadele.

17. Mehhaaniline liikumine.

Nagu teame, koosnevad kõik kehad molekulidest. Kõikide kehade molekulid on pidevas liikumises.
Iga keha sisaldab endas lugematu hulga molekule, nende liikumine on täiesti kaootiline. Nagu juba märgitud, nimetatakse seda liikumist molekulaarseks ehk soojusliikumiseks, sest see on seotud keha temperatuuriga.
Selleks et uurida nii keerulist liikumist, nagu seda on molekulide soojusliikumine, on algul vaja vaadelda palju lihtsamat ühe keha liikumist.
Vaatleme kõigepealt, mis on liikumine. Kõigepealt teeme kindlaks, mille alusel võib kinnitada, et keha liigub. Selleks et otsustada, kas keha liigub või mitte, on tarvis vaadelda, kas keha muudab aja jooksul oma asendit teda ümbritsevate kehade suhtes. Nähes, kuidas muutub teatud aja vältel auto asend puude või majade suhtes, ütleme, et auto liigub. Vesi jões liigub kallaste suhtes, rong raudteetammi suhtes.
Keha asukoha muutumist teiste kehade suhtes nimetatakse mehhaaniliseks liikumiseks.
Inimese, mootorpaadi, lennuki, raketi liikumine, lindude lendamine — kõik need on mehhaanilise liikumise näited.
Öeldes, et auto liigub puude suhtes või rong raudteetammi suhtes, loeme me puid ja raudteetammi liikumatuiks. Tegelikult aga liiguvad puud ja raudteetamm koos Maaga, mis teatavasti pöörleb ümber oma telje ning samal ajal tiirleb ümber Päikese. Looduses ei ole paigalseisvaid kehi, kõik kehad liiguvad. Meil on aga mugav vaadelda kehade asukoha muutumist just Maa suhtes.
Asudes ühest punktist teise liigub keha mingit joont mööda. *Joont, mida mööda keha liigub, nimetatakse liikumise trajektooriks ehk teeks.*
Kui kirjutada kriidiga tahvlile, siis liigub kriit seejuures mingit joont mööda. See joon on kriiditüki



Joon. 16.



Joon. 17.

liikumise trajektoor. Nähtava trajektoori, nimelt helendava jälje jätab öisesse taevasse meteoor (joon. 16). Gaasi molekuli liikumise trajektoor on murdjoon.

Olenevalt trajektoori kujust nimetatakse liikumist sirgjooneliseks või kõverjooneliseks. Kuuli liikumine püssi torus on sirgjooneline, kellapendli liikumine aga kõverjooneline.

Trajektoori pikkust, mille keha mingi ajavahemiku jooksul läbib, nimetatakse selle ajavahemiku jooksul läbitud teepikkuseks. Joonisel 17 on näha mäelt laskuva suusataja jälg. Trajektoori lõigu *0A* pikkus on laskumise ajal läbitud tee.

Uurida mehhaanilist liikumist tähendab leida teepikkus, mis läbiti liikumiseks kulutatud ajavahemiku jooksul või siis aeg, mis kulutati teepikkuse läbimiseks.

Küsimused.

1. Tooge näiteid mehhaanilisest liikumisest. 2. Millist liikumist nimetatakse mehhaaniliseks? 3. Mida nimetatakse liikumise trajektooriks? Tooge näiteid sirgjooneliste ja kõverjooneliste liikumiste kohta. 4. Mida nimetatakse ajavahemikus läbitud teeks?

Harjutus 2.

1. Selgitage, missuguste kehade suhtes on reisija rongis paigal ning missuguste kehade suhtes ta liigub.
2. Paat ujub pärivoolu. Kas võib udus, kui kaldaid ei ole näha, otsustada paadi liikumise suuna üle?
3. Missugust joont kujutab kellaosuti otsa liikumise trajektoor?
4. Kergejõustiklane jookseb võistlustel mööda staadioni jooksurada. Millisest punktist alates ning kuidas mõõdetakse tema poolt läbitud teed?

Ülesanne.

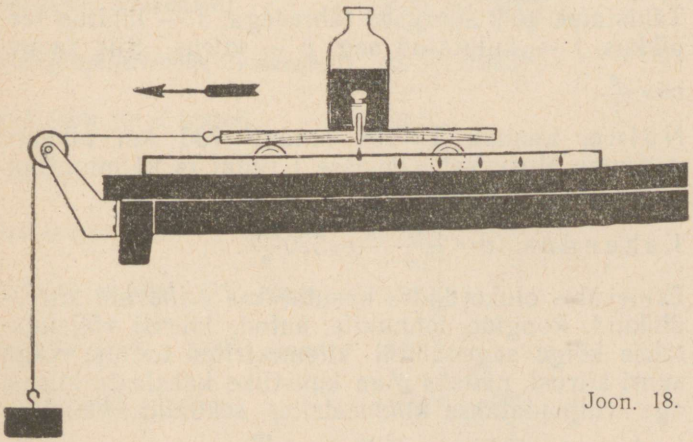
Mõõtke oma sammu pikkus ning seejärel määrake sammudega kooli koridori pikkus. Pange tähele, kui palju aega kulus selle teepikkuse läbimiseks.

18. Ühtlane liikumine.

Nii sirgjooneline kui ka kõverjooneline liikumine võib olla kas ühtlane või mitteühtlane ehk muutuv. Kõige lihtsam on tundma õppida ühtlast liikumist. *Ühtlasel liikumisel läbib keha mistahes võrdsetes ajavahemikes võrdsed teepikkused.* Kui näiteks lennuk lendab pool tundi ühtlaselt ning läbib selle ajaga 420 km, siis tähendab see, et iga 15 minutiga läbis lennuk 210 km, iga kümne minutiga 140 km, iga minutiga 14 km jne.

Küllalt lähedane ühtlasele liikumisele on Maa pöörlemine ümber oma telje ning tiirlemine ümber Päikese, samuti täpsete kellade osutite liikumine.

Ühtlast liikumist võib demonstreerida katsel vankrikesega (joon. 18). Vankrikese külge seotakse niit, mis pannakse üle ploki, niidi teise otsa aga riputatakse koormus. Vankrikesele paigutatakse tilguti, millest võrdsete ajavahemike tagant tilgub värvitud vee tilgakesi. Pärast seda lükatakse vanker liikuma. Niidi otsa riputatud koormus valitakse selline, et vankrikese liikumisel oleksid tilgajälgede vahemaad omavahel võrdsed. Järelikult läbib vankrike sel juhul võrdsetes ajavahemikes võrdsed teed. Kui tilguti kraan keerata rohkem lahti, kukuvad tilgad sagedamini. Kuid ka sel juhul on tilgajäljed üksteisest võrdsel kaugusel. Järelikult ka väiksemates võrdsetes ajavahemikes läbib vankrike võrdsed teepikkused ning tema liikumine osutub ühtlaseks.



Joon. 18.

Küsimused.

1. Millist liikumist nimetatakse ühtlaseks? 2. Tooge näiteid ühtlastest liikumistest. 3. Missuguse katse abil saab vaadelda ühtlast liikumist?

19. Kiirus. Kiiruse ühikud.

Maanteel ühtlaselt liikuv auto jõuab ühtlaselt liikuvast inimesest ette. Mille poolest erinevad teineteisest need kaks ühtlast liikumist? Nende erinevus seisneb selles, et auto liigub *kiiremini* kui jalakäija. Lennuk liigub kiiremini kui auto, Maa kunstlik kaaslane aga kiiremini kui lennuk. See tähendab, et ühe ja sama ajavahemiku jooksul läbib auto pikema tee kui jalakäija, lennuk aga pikema tee kui auto.

Jalakäija, auto ja lennuki liikumised erinevad üksteisest k i i r u s e poolest. See keha, mis läbib ajaühikus pikema tee, liigub suurema kiirusega.

Ühtlasel liikumisel näitab keha kiirus, missuguse teepikkuse läbib keha ajaühikus.

Kui iseliikuv kombain läbib igas tunnis 9 km ja lennuk 600 km, siis öeldakse, et kombaini kiirus on 9 km tunnis, lennuki kiirus aga 600 km tunnis.

Keha kiirus on füüsikaline suurus. Selle mõõtmiseks on olemas vastavad ühikud.

Kiiruse ühikuks võetakse sellise ühtlase liikumise kiirus, mille juures ühes ajaühikus (1 sekund[1], 1 minut, 1 tund[2]) läbitakse ühe pikkusühikuga (1 cm, 1 m, 1 km) võrdne tee.

Kui § 18 kirjeldatud katses vankrike läbis 3 sekundiga 45 cm, siis võib leida tee, mis läbiti 1 sekundiga, s. o. leida vankrikese kiiruse. Vankrikese kiirus on: $\frac{45\ \text{cm}}{3\ \text{s}} = 15\frac{\text{cm}}{\text{s}}$.

Tähistame kõik suurused tähtedega: s — läbitud teepikkus, t — kulutatud aeg, v — kiirus. Siis saame

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

N ä i d e. Lennuk TU-104 lendab 730 km pikkuse vahemaa Moskvast Kiievisse 1 tunni ja 24 minutiga. Leida lennuki kiirus.

L a h e n d u s: $v = \frac{730\ \text{km}}{1{,}4\ \text{h}} \approx 520\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Erinevates olukordades kasutatakse erinevaid kiirusühikuid. Rongide, lennukite, autode kiirusi väljendatakse kõige sagedamini kilomeetrites tunnis, väga suuri kiirusi, näiteks Maa kunstlike kaaslaste kiirusi aga väljendatakse kilomeetrites sekundis. Füüsikas on kiiruse põhiliseks ühikuks $1\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Kiiruse ühikud:

$1\frac{\text{cm}}{\text{s}}$; $1\frac{\text{cm}}{\text{min}}$

$1\frac{\text{m}}{\text{min}}$; $1\frac{\text{km}}{\text{h}}$

$1\frac{\text{km}}{\text{s}}$ jne.

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

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

[1] Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kasutatakse sekundi lühendina tähte **s**.

[2] Tunni lühend h tuleneb ladinakeelsest sõnast *hora* — tund.

Ühte ja sama kiirust võib väljendada mitmesugustes ühikutes.

Näide. Helikopter liigub kiirusega 270 $\frac{km}{h}$. Väljendada see kiirus $\frac{m}{s}$ -tes.

Lahendus: Teisendame kilomeetrid meetriteks ning tunnid sekunditeks: 270 km=270 000 m; 1 h= 3600 s. Kiirus on seega:

$$270\frac{km}{h} = \frac{270\,000\ m}{3600\ s} = 75\frac{m}{s}.$$

Seega oleneb kiiruse arvuline väärtus nagu iga teisegi füüsikalise suuruse (pikkuse, ruumala jne.) arvuline väärtus valitud mõõtühikust.

Looduses ja tehnikas esinevaid kiirusi.

Tigu	$0{,}0015\frac{m}{s}$ $(0{,}15\frac{cm}{s})$
Jalakäija	$1{,}2—1{,}8\frac{m}{s}$
Kirjatuvi	$13—16\frac{m}{s}$
Uisutaja	kuni $12{,}5\frac{m}{s}$
Rong (keskmiselt)	$20\frac{m}{s}$ $(72\frac{km}{h})$
Sõiduauto (keskmiselt)	$30\frac{m}{s}$ $(\approx 110\frac{km}{h})$
Turbopropellerlennuk (keskmiselt)	$200\frac{m}{s}$ $(720\frac{km}{h})$
Hääl õhus (0° C juures)	$332\frac{m}{s}$
Püssikuul	$860\frac{m}{s}$
Kuu ümber Maa	$1000\frac{m}{s}$
Vesiniku molekul (0°C juures)	$1692\frac{m}{s}$
Vesiniku molekul (200°C juures)	$2232\frac{m}{s}$
Maa kunstlik kaaslane	$8000\frac{m}{s}$ $(8\frac{km}{s})$
Maa ümber Päikese	$\approx 30\,000\frac{m}{s}$ $(30\frac{km}{s})$
Valgus ja raadiolained	$\approx 300\,000\,000\frac{m}{s}$ $(300\,000\frac{km}{s})$

Küsimused.

1. Mida näitab keha liikumise kiirus? 2. Milliseid kiiruse ühikuid te teate? 3. Kuidas määrata keha liikumise kiirust, kui on teada tee pikkus ja aeg? 4. Kuidas väljendada $\frac{km}{h}$-des antud kiirust $\frac{m}{s}$-tes?

Harjutus 3.

1. Elektriveduri ВЛ-23 kiirus on $90\frac{km}{h}$. Väljendage see kiirus $\frac{m}{s}$-tes.
2. Pääsuke lendab 10 sekundiga 300 m. Kas suudab pääsuke mööduda sõiduautost «Volga», mis sõidab kiirusega $105\frac{km}{h}$?

20. Ühtlase liikumise teepikkuse ja aja arvutamine.

Teades ühtlaselt liikuva keha kiirust, võib arvutada keha poolt antud ajavahemikus läbitud tee pikkuse. Olgu näiteks rongi kiirus 25 $\frac{m}{s}$. See tähendab, et igas sekundis läbib rong 25 m. 5 sekundiga läbib rong 5 korda pikema tee, seega $25\frac{m}{s} \cdot 5\ s = 125$ m, 10 sekundiga sõidab rong $25\frac{m}{s} \cdot 10\ s = 250$ m jne.

$s = vt$

Ühtlasel liikumisel läbitud teepikkuse arvutamiseks tuleb keha kiirus korrutada liikumise ajaga.

Teades keha ühtlase liikumise teepikkust ja kiirust, võib arvutada selle liikumise aja.

Teeme kindlaks aja, mille jooksul kiirusega 1,5 $\frac{m}{s}$ liikuv jalakäija läbib 3 km pikkuse tee.

Iga 1,5 m pikkuse tee läbimiseks kulutab jalakäija 1 sekundi. Selleks et leida sekundite arvu, mis kulub 3000 m läbimiseks, tuleb 3000 jagada 1,5 m-ga: $\frac{3000}{1{,}5} = 2000$.

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

Märgitud teepikkuse läbimiseks kulus 2000 sekundit ≈ 33 minutit.

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

Seega ühtlasel liikumisel $\text{aeg} = \frac{\text{teepikkus}}{\text{kiirus}}$ ehk $t = \frac{s}{v}$.

Küsimused.

1. Kuidas arvutada keha poolt ühtlasel liikumisel läbitud teepikkust, kui liikumise kiirus ja aeg on teada? 2. Kuidas saab ühtlase liikumise teepikkuse ja kiiruse abil leida selle liikumise aega?

Harjutus 4.

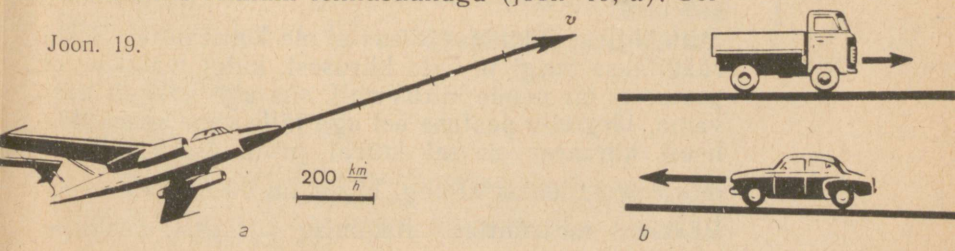
1. Püssikuul liigub kiirusega 800 $\frac{m}{s}$. Kui pika tee läbib see kuul 0,3 sekundiga?
2. Toatemperatuuril liigub vesiniku molekul kiirusega 1840 $\frac{m}{s}$. Kui pika tee läbiks vesiniku molekul 2 sekundiga, liikudes ühtlaselt selle kiirusega? Kas eemaldub vesiniku molekul lahtisest anumast 2 sekundiga sellisele kaugusele? Põhjendage vastust.
3. Jalgrattur võib sõita kiirusega 3 $\frac{m}{s}$. Kas ta jõuab poole tunniga jaama, mis asub 5 km kaugusel?

21. Kiiruse suund.

Keha liikumise kindlaksmääramiseks ei ole küllalt teepikkuse ning kiiruse teadmisest. On tarvis teada ka liikumise *suunda*. Et teada, kui kaugel on 2 tundi pärast Moskvast startimist ning kiirusega 650 $\frac{km}{h}$ lendav lennuk, on tarvis teada lennuki lennusuunda. Selleks on lepitud kokku märkida kiiruse suund. Kõige otstarbekam on kujutada kiirust sirglõiguna, mille suund langeks kokku keha liikumise suunaga. Nool lõigu otsas näitab, millises suunas mööda lõiguga märgitud joont keha liigub. Lõigu pikkus kujutab vastavas mastaabis kiiruse arvulist väärtust.

N ä i d e. Lennuk lendab kiirusega 800 $\frac{km}{h}$. Kujutame selle kiiruse graafiliselt. Valime mastaabi. Märgime näiteks 1 cm pikkuse lõiguga kiiruse 200 $\frac{km}{h}$. Siin kujutab lennuki kiirust 4 cm pikkune lõik, mille suund ühtib lennuki lennusuunaga (joon 19, *a*). Sel-

Joon. 19.



liseid suurusi nagu *kiirus*, nimetatakse füüsikas *vektoriaalseteks*. Nende määramiseks on vaja teada mitte ainult suuruse arvulist väärtust, vaid ka selle suunda ruumis. Igat vektoriaalset suurust võib kujutada suunatud sirglõiguna. Joonisel 19, *b* kujutavad suunaga sirglõigud (neid nimetatakse vektoriteks) kahte suunalt ja suuruselt erinevat kiirust.

Küsimused.

1. Mida on vaja keha liikumise täielikuks kindlaksmääramiseks? 2. Kuidas kujutatakse kiirust graafiliselt? 3. Milliseid suurusi nimetatakse füüsikas vektoriaalseteks? 4. Miks nimetatakse kiirust vektoriaalseks suuruseks?

Harjutus 5.

Maanteed mööda liigub läänest itta jalakäija, sõidavad jalgrattur ja auto. Kujutage graafiliselt nende kiirused, mis on vastavalt 1 $\frac{m}{s}$; 3 $\frac{m}{s}$ ja 54 $\frac{km}{h}$.

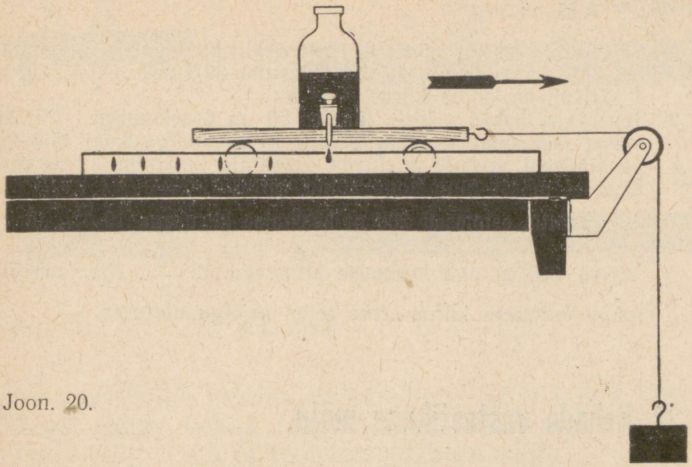
22. Mitteühtlane liikumine. Keskmine kiirus.

Ühtlast liikumist esineb looduses ja tehnikas harva. Näiteks jaamast väljuv rong ei liigu ühtlaselt, ta suurendab kiirust, s. o. läbib võrdsetes ajavahemikes ikka pikemad ja pikemad vahemaad. Jaama sõites aga liigub rong ikka aeglasemalt ja aeglasemalt. Kiiruisutaja kulutab võistlustel ühesuguste ringide läbimiseks erinevad ajavahemikud. Seega liiguvad rong ja kiiruisutaja *mitteühtlaselt*.

Katseliselt võib mitteühtlast liikumist jälgida tilgutiga varustatud vankrikese abil (joon. 20). Kui tilkade poolt jäetud jälgede vahemaad on erineva pikkusega, siis võib öelda, et vankrike liigub mitteühtlaselt, võrdsetes ajavahemikes läbib ta mittevõrdsed teed.

Mitteühtlase liikumise kiirus ei ole konstantne. Siiski räägitakse rongi ja auto kiirusest, kuigi teatakse, et peatustes on nende kiirus null, siis aga hakkab kasvama, järgmise peatuse eel aga jälle vähenema. Millisest kiirusest on sel korral juttu? Millist kiirust mõeldakse, öeldes «Rongi kiirus on 60 $\frac{km}{h}$»?

Rääkides mitteühtlase liikumise kiirusest, peetakse



Joon. 20.

harilikult silmas keskmist kiirust. Selgitame näite abil, mida mõeldakse mitteühtlasel liikumisel keha keskmise kiiruse all.

Moskva ja Novosibirski vaheline kaugus on 3200 km. Mitteühtlaselt sõitev kiirrong läbib selle maa 64 tunniga. Oletame, et rong sõitis selle maa samuti 64 tunniga, kuid liikus seejuures ühtlaselt. Rongi ühtlase liikumise kiirus oleks seega

$$\frac{3200\ \text{km}}{64\ \text{h}} = 50\ \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Seda kiirust nimetataksegi rongi keskmiseks kiiruseks.

Selleks et leida keha mitteühtlase liikumise keskmist kiirust, tuleb jagada keha poolt läbitud teepikkus selle läbimiseks kulunud ajaga nagu ühtlase liikumise korralgi.

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

Keskmine kiirus $= \frac{\text{teepikkus}}{\text{aeg}}$; ehk $v_k = \frac{s}{t}$.

$$s = v_k \cdot t$$

Mitteühtlasel liikumisel läbitud teepikkust võib arvutada valemi $s = v_k \cdot t$ ja aega valemi $t = \frac{s}{v_k}$ abil.

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

Küsimused.

1. Tooge näiteid mitteühtlasest liikumisest. 2. Missugust liikumist nimetatakse mitteühtlaseks? 3. Mida mõeldakse rongi liikumise keskmise kiiruse all? 4. Kuidas leitakse mitteühtlase liikumise keskmist kiirust?

Harjutus 6.

1. J. Grišin püstitas 1963. a. 500 m kiiruisutamises maailmarekordi. Ta läbis nimetatud distantsi 39,5 sekundiga. Leida J. Grišini keskmine kiirus.
2. Suusataja laskus mäest, läbides 50 m 6 sekundiga. Pärast mäest laskumist läbis suusataja 15 sekundiga kuni täieliku peatumiseni veel 30 m. Leida suusataja keskmine kiirus laskumisel mäest ning kogu sõidu vältel.
3. Rong sõitis esimesed 200 m keskmise kiirusega $10\frac{m}{s}$, järgmised 360 m aga keskmise kiirusega $12\frac{m}{s}$. Kui suur oli rongi keskmine kiirus terve selle teelõigu ulatuses.

23. Kehade vastastikune mõju.

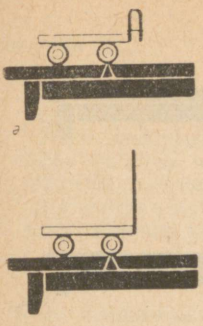
Eelmistes paragrahvides vaadeldi kahte liikumise liiki — ühtlast ja mitteühtlast liikumist. Ühtlasel liikumisel on kehal konstantne kiirus, mitteühtlase korral see aga muutub. Vaatleme nüüd nähtusi, mille mõjul keha muudab oma kiirust.

Meid ümbritsevas maailmas on lugematu arv mitmesuguseid kehi. Ühed neist on Maa suhtes paigal, teised aga liiguvad. Oma liikumisel võivad kehad kohtuda teiste kehadega ning mõjuda üksteisele. Seda nimetatakse vastastikuseks mõjuks. Vastastikuse mõju tulemusena hakkavad paigalseisvad kehad mingisuguse kiirusega liikuma, liikuvad kehad aga muudavad oma liikumise kiirust. Kontrollime seda katseliselt.

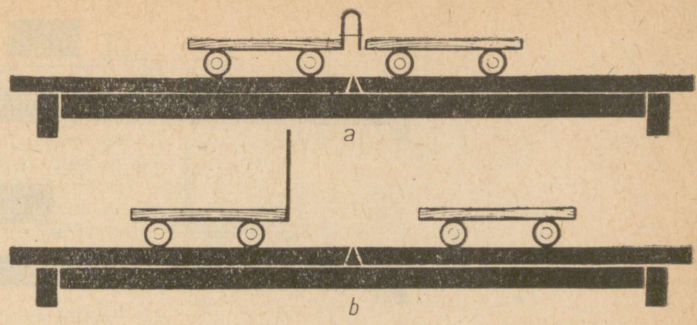
Joonisel 21, *a* kujutatakse vankrikest, mille külge on kinnitatud elastne plaadike. Plaadike on kõveraks painutatud ning niidiga kinni seotud. Vankrike on laua suhtes paigal. Kas hakkab vankrike liikuma, kui plaadike sirgestub? Küsimusele vastamiseks põletame plaadikest kinnihoidva niidi läbi. Plaadike sirgestub, kuid vankrike jääb paigale (joon. 21, *b*).

Kirjeldatud katset võib teisendada. Selleks asetame painutatud plaadi kõrvale veel teise vankrikese (joon. 22, *a*). Pärast niidi läbipõletamist ning plaadi sirgenemist hakkavad mõlemad vankrikesed laua suhtes vastassuundades liikuma (joon. 22, *b*).

Oli vaja teist keha, et muuta vankrikese kiirust. Seejuures aga muutus ka selle keha, teise vankrikese kiirus. Mõlemad vankrikesed hakkasid laua suhtes liikuma, mõlemad mõjusid vastastikku teineteisele. Seega, **kehade kiirused võivad muutuda ainult kehade vastastikuse mõju tulemusena.**



Joon. 21.



Joon. 22.

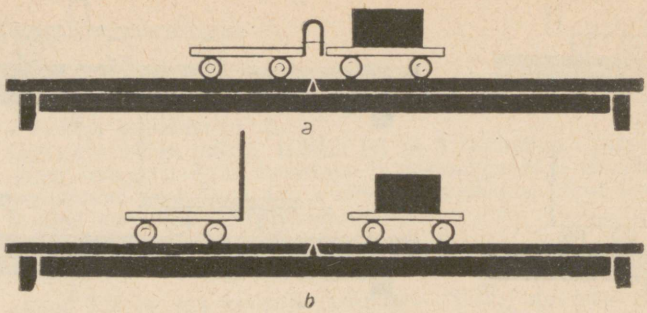
Me vaatlesime kehade vastastikuse mõju kõige lihtsamat juhtu: kehad (vankrikesed) olid enne vastastikust mõju laua ja teineteise suhtes paigal.
Enne lasku on kuul püssi suhtes paigal. Lasu ajal toimuva vastastikuse mõju tulemusena hakkavad kuul ja püss liikuma vastassuundades. Tekib tagasilöök.
Kui paadis istuv inimene lükkab käega teist paati, siis hakkab liikuma ka tema enda paat. Kui inimene hüppab paadist kaldale, siis hakkab paat liikuma vastupidises suunas.
Toodud näited kinnitavad, et kehade kiiruse muutumine toimub kehade vastastikuse mõju tõttu (kuul ja püss, inimene ja paat). Seejuures võivad kiirused, millega kehad vastastikuse mõju tulemusena liikuma hakkavad, olla küllaltki erinevad (kuul ja püss) või ka enam-vähem võrdsed (paat ja inimene).

Küsimused.

1. Kirjeldage katseid, mis kinnitavad, et kehad hakkavad liikuma ainult vastastikuse mõju tulemusena. 2. Tooge näiteid, kus vastastikuse mõju tulemusena muutub mõlema keha kiirus. 3. Kirjeldage kehade vastastikust mõju püssilaskmise näite põhjal.

24. Keha mass.

Vaatleme veel kord vankrikeste vastastikust mõju, kuid kasutame seekord erinevaid vankrikesi — üks koormusega, teine aga ilma (joon. 23, *a*). Pärast niidi läbipõletamist eemalduvad vankrikesed teineteisest erinevate kiirustega: koormuseta vankrike liigub kiiremini kui koormusega vankrike (joon. 23, *b*). Vankrikese kohta, mis vastastikuse mõju tulemusena



Joon. 23.

sai väiksema kiiruse, öeldakse, et ta on massiivsem, tema *mass* on suurem.

Vastastikku mõjuvate kehade kiirused sõltuvad nende kehade massidest.

Kehade poolt saadud kiirusi võib mõõta. Kiiruste abil võib võrrelda vastastikku mõjuvate kehade masse.

Nii mitu korda kui ühe keha poolt saadud kiirus on suurem teise keha kiirusest, on esimese keha mass väiksem teise keha massist. Teisiti öeldes — *vastastikku mõjuvate kehade massid on pöördvõrdelised nende kehade poolt saadud kiirustega.*

N ä i d e. Enne vastastikust mõju oli mõlema vankrikese kiirus null, pärast vastastikust mõju oli aga ühe vankrikese kiirus 20 $\frac{cm}{s}$, teisel 40 $\frac{cm}{s}$. Kuna teise vankrikese kiirus oli esimesest 2 korda suurem, siis on tema mass esimese vankrikese massist 2 korda väiksem.

Kui inimene hüppab kaldale raskesti koormatud paadist, siis saab paat hüppega vastassuunalise kiiruse. Paadi kiirus on palju kordi väiksem inimese kiirusest, sest paadi mass on inimese massist tunduvalt suurem.

Kehade vastastikuse mõju vaatlemisel tutvusime me füüsikalise suurusega, mida nimetatakse keha massiks. Massi mõistet selgitatakse füüsika edasisel tundmaõppimisel.

Küsimused.

1. Kuidas toimub kahe vankrikese vastastikune mõju sel juhul, kui üks neist on koormatud, teine aga mitte? 2. Tooge näiteid, mis näitavad, et kehade vastastikusel mõjutamisel saadud kiirused on pöördvõrdelised nende massidega. 3. Kuidas saab kindlaks teha, mitu korda on ühe vankrikese mass teise vankrikese massist suurem?

Harjutus 7.

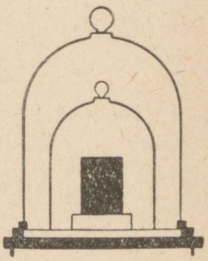
1. Miks hakkab kerge paat liikuma peaaegu samasuguse kiirusega kui inimene, kes sellest paadist välja hüppas?
2. Püssist laskmisel tuleb püss suruda tugevasti vastu õlga. Miks väheneb sel juhul tagasilöögi kiirus?
3. Jahipüssi padrunite valmistamisel arvestatakse püssi massiga: kerge püssi jaoks võetakse väiksem haavlilaeng, raskematel püssidel võib see olla suurem. Selgitage miks.
4. Inimene hüppas seisvast paadist välja kiirusega 5 $\frac{m}{s}$. Selle tulemusena sai paat kiiruse 0,5 $\cdot \frac{m}{s}$. Mitu korda on paadi mass inimese massist suurem?

25. Massiühikud. Massi mõõtmine.

Eelmises paragrahvis käsitletud kehade vastastikune mõju võimaldab võrrelda nende kehade masse, s. o. teha kindlaks, mitu korda on ühe keha mass teisest suurem.

Samal viisil võib mõõta kehade masse, see tähendab võrrelda neid massiga, mis on võetud ühikuks.

Massi ühikuks on võetud *kilogramm* — 1 kg. *Kilogramm on plaatina ja iriidiumi sulamist valmistatud etaloni mass.* Rahvusvahelist kilogrammi etaloni (joon. 24) hoitakse Pariisi lähedal Sèvres'is. Massi etalonist on teiste maade jaoks tehtud suure täpsusega koopiad.



Joon. 24.

Praktikas kasutatakse veel kilogrammist suuremaid ja ka väiksemaid ühikuid:

1 tonn (t) = 1000 kg;
1 tsentner (ts) = 100 kg;
1 gramm (g) = 0,001 kg;
1 milligramm (mg) = 0,000001 kg.

Vaatleme nüüd, kuidas mõõta keha massi. Pöördume uuesti vankrikestega korraldatava katse (§ 24) juurde. Olgu ühe vankrikese mass 1 kg, teise vankrikese mass aga tundmatu. Vastastikuse mõju tulemusena sai teine vanker kaks korda suurema kiiruse kui esimene. Järelikult on teise vankrikese mass esimese vankrikese massist kaks korda väiksem. Seega on teise vankrikese mass

$$\frac{1 \text{ kg}}{2} = 0{,}5 \text{ kg}.$$

Selleks et mõõta keha massi, tuleb sellele mõjuda kehaga, mille mass on teada ning mõõta mõlema

keha poolt saadud kiirused. Kui kehad olid alguses paigal ning said vastastikusel mõjutamisel ühesuguse kiiruse, siis on nende kehade massid võrdsed. Kui aga saadud kiirused ei ole ühesugused, siis on määratav mass tuntud massist nii mitu korda suurem või väiksem, kui mitu korda on selle kiirus väiksem või suurem tuntud massiga keha kiirusest.

Küsimused.

1. Missugune mass on võetud massiühikuks? 2. Mida kujutab endast 1 kg massi etalon? 3. Milliseid massiühikuid te veel teate? 4. Kirjeldage katset, mille abil saab määrata keha massi.

26. Molekulide mass.

Kaasaegne füüsika on varustatud selliste täpsete mõõteriistade ja mõõtmistehnikaga, mis võimaldab suure täpsusega määrata aine väikseimate osakeste, nimelt molekulide mõõtmeid ja massi. Tänapäeval on määratud kindlaks kõikide ainete molekulide massid. Nii näiteks on vee molekuli mass 0,000000000000000000000030 g. See on väga väikene suurus. Kui hästi teritatud pliiatsi otsaga teha paberile punktike, siis on paberile jääva grafiidi mass ligikaudu miljon korda suurem vee molekuli massist. Kõige väiksem on vesiniku molekuli mass. Täpsemalt on tema mass 0,000000000000000000000033 g. Elavhõbeda molekuli mass on vesiniku molekuli massist 100 korda suurem, hapniku molekuli mass 16 korda suurem, vee molekuli mass 9 korda suurem.
On kindlaks tehtud, et 1 cm^3 vees on 33000000000000000000000 molekuli. Kõikide nende molekulide mass kokku moodustab 1 cm^3 vee massi, mis on 1 g. Kui paigutada termomeetri torusse 1 g elavhõbedat, siis on seal ligikaudu 30000000000000000000 molekuli.

27. Aine tihedus.

Mitmesugustest ainetest valmistatud kehadel on ühesuguse massi korral erinevad ruumalad. Ühe tonni telliste ruumala on 0,5 m^3, tonni värske heina ruumala aga 20 m^3.

Sellised ained nagu heinad, õled ja puuvill pressitakse nende transportimise hõlbustamiseks tihedalt kokku.

Analoogiliselt toimitakse ka gaasidega — hapnikuga, vesinikuga, süsihappegaasiga. Gaasid surutakse balloonidesse suure rõhu all, mõnikord aga koguni veeldatakse. Kokkusurutud gaasid on *tihedamad,* sest nende molekulid on üksteisele lähemal.

Lennuki ehitamisel tuleb jälgida, et sellel oleksid kindlaksmääratud mõõtmed. Lennuki kandepinna mõõtmetest, selle ruumalast sõltub lennuki tõstejõud. Kuid lennukil peab tema suurte mõõtmete juures olema võimalikult väike mass, et oleks võimalik lennukit märgatavalt koormata. Seepärast tuleb lennuki ehitamisel valida niisugused materjalid, millest valmistatud detailid oleksid küllalt suure ruumalaga, kuid väikese massiga.

Vaia maasse löömiseks kasutatava rammimisnuia valmistamisel tuleb vastupidiselt eelöeldule jälgida seda, et nuia mass oleks suur, ruumala aga võimalikult väike.

Toodud näidetest selgub, et materjalide valikul tuleb arvestada nende tihedusega.

Aine tiheduseks nimetatakse selle aine ruumalaühiku massi.

1 m^3 raua mass on 7800 kg. Järelikult on raua tihedus 7800 kg kuupmeetri kohta. Seda kirjutatakse järgmiselt: 7800 $\frac{kg}{m^3}$. Tiheduse ühikuks on 1 $\frac{kg}{m^3}$.

N ä i d e. Arvutame sellise aine tiheduse, mille 2 m^3 mass on 1,8 t. Kõigepealt väljendame massi kilogrammides: 1,8 t = 1800 kg. Edasi leiame 1 m^3 massi. Selleks jagame massi ruumalaga: $\frac{1800\ kg}{2\ m^3} = 900\ \frac{kg}{m^3}$. Selline tihedus on jääl.

Aine tiheduse leidmiseks tuleb keha mass jagada keha ruumalaga.

Märgime vastavad suurused tähtedega: ϱ[1] — aine tihedus; m — keha mass; V — keha ruumala. Siis võib aine tiheduse arvutamise eeskirja kirjutada valemina: $\varrho = \frac{m}{V}$.

$$\text{tihedus} = \frac{\text{mass}}{\text{ruumala}}$$

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

Aine tihedust väljendatakse ka grammides kuupsentimeetri kohta ($\frac{g}{cm^3}$).

[1] ϱ — kreeka täht roo.

Näiteks väljendame raua tiheduse $\frac{g}{cm^3}$-tes. Kuna raua tihedus on 7800 $\frac{kg}{m^3}$, siis on 1 m^3 raua mass 7800 kg. Väljendame massi grammides, ruumala aga kuupsentimeetrites. 7800 kg = 7 800 000 g; 1 m^3 = 1 000 000 cm^3. Jagades massi grammides ruumalaga kuupsentimeetrites leiame raua tiheduse:

$$\varrho = \frac{7\,800\,000\ g}{1\,000\,000\ cm^3} = 7{,}8\ \frac{g}{cm^3}.$$

Seega on $\frac{kg}{m^3}$-tes väljendatud tiheduse teisendamiseks $\frac{g}{cm^3}$-teks vaja kilogrammid teisendada grammideks, kuupmeetrid kuupsentimeetriteks ning seejärel esimene arv jagada teise arvuga.

Näited: vee tihedus on 1000 $\frac{kg}{m^3}$ = 1 $\frac{g}{cm^3}$; elavhõbeda tihedus 13 600 $\frac{kg}{m^3}$ = 13,6 $\frac{g}{cm^3}$.

Mõnede tahkete ainete tihedused $\frac{kg}{m^3}$

Osmium	22 500	Graniit	2 600
Iriidium	22 400	Klaas	2 500
Plaatina	21 500	Portselan	2 300
Kuld	19 300	Betoon	2 200
Plii	11 300	Orgaaniline klaas	1 200
Hõbe	10 500	Kapron	1 140
Vask	8 900	Polüetüleen	940
Messing	8 500	Parafiin	900
Teras, raud	7 800	Jää	900
Tina	7 300	Tammepuit (kuiv)	800
Tsink	7 100	Männipuit (kuiv)	440
Malm	7 000	Kork	240
Alumiinium	2 700	Poroloon	200—600
Marmor	2 700		

Mõnede vedelike tihedused $\frac{kg}{m^3}$ (temperatuuril 15—20°C)

Elavhõbe	13 600	Nafta	800
Väävelhape	1 800	Atsetoon	790
Merevesi	1 030	Eeter	710
Vesi	1 000	Bensiin	710
Masinaõli	900	Vedel tina	
Bensool	880	(t = 409°C)	6 830
Petrooleum	800	Vedel õhk	
Piiritus	800	(t = —194°C)	860

Mõnede gaaside tihedused $\frac{kg}{m^3}$ **(temperatuuril 0°C ja rõhul 760 mm Hg).**

Kloor	3,210	Vingugaas (süsinikoksiid)	1,250
Süsihappegaas	1,980	Veeaur (100°C)	0,600
Hapnik	1,430	Vesinik	0,090
Õhk (0°C)	1,290		
Lämmastik	1,250		

Küsimused.

1. Mida nimetatakse aine tiheduseks? 2. Kirjutage raua tihedus. Mida tähendab kirjutatud arv ning sellele järgnev nimetus? 3. Kuidas arvutatakse aine tihedust? 4. Kuidas väljendada $\frac{kg}{m^3}$-tes antud tihedust $\frac{g}{cm^3}$-tes?

Harjutus 8.

1. Haruldase metalli osmiumi tihedus on 22 500 $\frac{kg}{m^3}$. Mida see arv tähendab?
2. Marmorist, jäät ja messingist kuupidel on ühesugune ruumala. Missugusel kuubil on kõige suurem ja missugusel kõige väiksem mass?
3. Portselanist ja rauast kehal on mõlemal 2 kg suurune mass. Kumma keha ruumala on suurem?
4. Leidke tabelist plii, parafiini ja korgi tihedus. Väljendage need $\frac{g}{cm^3}$-tes.
5. Kõige kergem puu on balsapuu. Selle puu 100 cm^3 mass on 20 g. Leidke balsapuu tihedus $\frac{g}{cm^3}$-tes ja $\frac{kg}{m^3}$-tes.
6. 1 l petrooleumi mass on 0,8 kg. Leidke petrooleumi tihedus.
7. Malmist kaaluvihi mass on 200 g, ruumala aga ligikaudu 28 cm^3. Arvutage malmi tihedus.

28. Keha massi ja ruumala arvutamine tiheduse kaudu.

Aine tiheduse teadmisel on praktikas suur tähtsus. Insener võib masinat konstrueerides arvestada tulevase masina massi, kui ta teab masina valmistamiseks vajalike materjalide tihedust ja ruumala. Enne hoone ehitamist võib arvestada selle massi ning järelikult teha kindlaks ehitusmaterjalide kogused. Olgu meil tarvis kindlaks määrata bensiini mass tsisternis, mille ruumala on 50 m^3. Leiame tabelist bensiini tiheduse. See on 710 $\frac{kg}{m^3}$. Järelikult on 1 m^3 bensiini mass 710 kg. 50 m^3 bensiini mass on 50 korda suurem kui 1 m^3 bensiini mass, s. o. 710 kg · 50 = 35 500 kg = 35,5 t.

Selline massi määramise moodus on väga mugav, sest tsisterni ruumala võib mõõta, tiheduse saab aga vastavast tabelist.
Keha massi arvutamiseks on vaja keha tihedus korrutada tema ruumalaga:

$m = \varrho V$

mass = tihedus × ruumala ehk $m = \varrho V$.

Kui keha mass on teada, võib massi ja tiheduse kaudu määrata keha ruumala. Mõnikord on selline moodus kõige otstarbekam, näiteks siis, kui kehal ei ole korrapärast kuju.
Vaatleme näidet. Graniitrahnu mass on 6,5 t, graniidi tihedus aga 2600 $\frac{kg}{m^3}$. Kui suur on selle rahnu ruumala?
Tihedust väljendav arv näitab, et iga kuupmeetri graniidi mass on 2600 kg. Järelikult on rahnu ruumala 1 kuupmeetrist nii mitu korda suurem, kui mitu korda on 6500 kg suurem 2600 kg-st. Arvutamisel leiame: 6500 : 2600 = 2,5. Järelikult on graniitrahnu ruumala 2,5 m^3.

Selleks, et massi ja tiheduse kaudu leida keha ruumala, tuleb keha mass jagada tema tihedusega:

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

ruumala = $\frac{\text{mass}}{\text{tihedus}}$ ehk $V = \frac{m}{\varrho}$.

Küsimused.

1. Kuidas arvutada keha massi tema tiheduse ja ruumala kaudu?
2. Kuidas leida keha ruumala, kui on teada tema mass ja tihedus?

Harjutus 9.

1. Määrake 10 l vee, piima ja elavhõbeda mass.
2. Kui suur on 100 m^3 plii mass? Kas on niisama suur ka 100 m^3 haavlite mass? Miks?
3. Valamiskopa maht on 10,8 m^3. Kui suur on koppa mahtuva malmi mass. Sulamalmi tihedus on 7100 $\frac{kg}{m^3}$.
4. Mitu kilogrammi petrooleumi mahub viieliitrisesse pudelisse?
5. Määrake sellise jäätüki ruumala, mille mass on 108 g.
6. Termomeetri reservuaar (kuulike) mahutab 20,4 g elavhõbedat. Määrake selle elavhõbeda ruumala.
7. 2,5 mm^2 ristlõikepindalaga vasktraadi mass on 1,78 kg. Leidke traadi pikkus.

29. Aine tiheduse väljendamine molekulide massi ja ruumala ühikus oleva molekulide arvu kaudu.

Kuna kõik ained koosnevad molekulidest, siis on iga keha mass keha molekulide massi kogum niisamuti nagu on hernepaki mass võrdne pakis olevate herneste massiga.

Kui kõik herneterad oleksid ühesugused, siis võiks herneste kogumassi leida ühe hernetera massi korrutamisel herneste arvuga.

Ühe aine molekulid on ühesugused. Seepärast on veetilga mass võrdne vee molekuli massi ning tilgas olevate molekulide arvu korrutisega.

Meie arutlust võib rakendada ka 1 m^3 vee või mõne teise aine massi, s. o. aine tiheduse kohta. Hapniku tihedus on näiteks 1,43 $\frac{kg}{m^3}$. See tähendab, et 1 m^3 hapniku mass on 1,43 kg. Selle tulemuse võime saada, kui korrutada hapniku molekuli mass molekulide arvuga 1 kuupmeetris hapnikus.

Mistahes aine tihedus on võrdne selle aine molekuli massi ja ruumalaühikus asuva molekulide arvu korrutisega.

Looduses esinevate ainete tihedused on väga mitmesugused. Ainete tiheduste erinevust võib seletada aine molekulaarse ehitusega. Võrdleme näiteks kahe vedeliku, nimelt vee ja elavhõbeda tihedusi. Need on vastavalt 1000 $\frac{kg}{m^3}$ ja 13 600 $\frac{kg}{m^3}$, s. o. elavhõbeda tihedus on 13,6 korda suurem kui vee tihedus. See erinevus seletub sellega, et elavhõbeda molekuli mass on ligikaudu 11 korda suurem vee molekuli massist. Kuid see ei ole erinevuse ainuke põhjus. Elavhõbeda molekulid on paigutatud üksteisele veidi lähemale kui vee molekulid. Seepärast on ka elavhõbeda molekulide arv ühes kuupmeetris suurem kui vastav vee molekulide arv.

Lehekülgedel 42 ja 43 toodud tabelites on antud mõnede tahkete, vedelate ja gaasiliste ainete tihedused. Vaadelge neid tabeleid ning pöörake tähelepanu gaaside ja tahkete ainete tiheduste suurele erinevusele.

Hapniku tihedus on 1,43 $\frac{kg}{m^3}$. Tugeval jahutamisel ning suure rõhu juures võib saada vedela hapniku,

mille tihedus on 1140 $\frac{kg}{m^3}$. Nii gaasiline kui vedel hapnik koosnevad ühesugustest molekulidest, nimelt hapniku molekulidest. Miks erinevad siis väga suurelt (ligi 1000 korda) teineteisest nende tihedused? See seletub asjaoluga, et gaasides on molekulid üksteisest kaugemal kui vedelikes (vt. § 15).

Aine tihedust määratakse lihtsate katsetega. Ühe molekuli massi suutsid teadlased kindlaks teha palju keerukamate katsete tulemusena. Teades aine tihedust ning selle aine molekuli kaalu, võib arvutada aine 1 kuupmeetris olevate molekulide arvu. Me juba rääkisime, et see arv on määratu suur ning seda ei saa lugeda vahetult. Kui näiteks lasta 1 m^3 õhust igas sekundis välja miljon molekuli, siis nõuaks kõikide molekulide ülelugemine ligikaudu 900 miljardit aastat.

Küsimused.

1. Kuidas väljendatakse aine tihedust molekulide massi ja ruumalaühikus oleva molekulide arvu kaudu? 2. Miks on gaaside tihedus väiksem vedelike ja tahkete kehade tihedusest? 3. Näidake vee ja elavhõbeda tiheduste erinevuse põhjused. 4. Mida on vaja teada aine 1 m^3 olevate molekulide arvu kindlaksmääramiseks?

Harjutus 10.

1. Vee tihedus 100°C juures on 958 $\frac{kg}{m^3}$. Veeauru suurim tihedus samal temperatuuril on aga 0,598 $\frac{kg}{m^3}$. Kuidas seletada erinevust vee ja veeauru tiheduse vahel?
2. On teada, et 1 m^3 mistahes gaasi sisaldab ühesuguse arvu molekule. Kuidas selgitada, miks on neooni tihedus 10 korda suurem kui vesiniku tihedus?
3. Määrake molekulide arv 1 m^3 vesinikus.
4. Gaasilise vesiniku tihedus on 0,09 $\frac{kg}{m^3}$, tahke vesiniku tihedus aga 80 $\frac{kg}{m^3}$. Selgitage selle erinevuse põhjus.

30. Inerts.

Eelmistest paragrahvidest selgus, et keha kiirus võib muutuda ainult vastastikuse mõju tulemusena (tuletage meelde katset kahe vankrikesega). Igapäevased kogemused kinnitavad tehtud järeldust. Kui näiteks maapinnal seisab pall, siis hakkab ta liikuma ainult sel juhul, kui temale mõjub mingi teine keha: vastu teda lendab teine pall või lüüakse teda jalaga. Kui aga pallile ei mõju teised kehad, siis iseenesest ta oma kiirust ei muuda, ei hakka maapinna suhtes liikuma.

Vaatleme nüüd sellist olukorda, kus keha ei ole paigal, vaid liigub. Liikumiskiiruse vähenemine ning keha peatumine ei toimu samuti iseenesest, vaid selle kutsuvad esile liikuvale kehale mõjuvad kehad. Laua läbimisel kuuli kiirus väheneb nende vastastikuse mõju tõttu. Veereva palli peatab palli ja maapinna vahel esinev hõõrdumine.

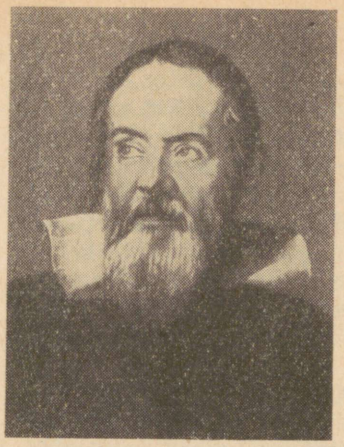
Vaatleme järgmist katset. Lauale paigutatakse kaldpind ja sellest veidi kaugemale valatakse kuhjake liiva. Kaldpinnale asetatakse vankrike ning lastakse sellel mööda kaldpinda alla veereda. Vankrike, mis veereb lauale ning satub liiva, peatub kiiresti. Tasandame laual oleva liivakuhjakese ning laseme vankrikesel samalt kõrguselt uuesti alla veereda. Nüüd läbib vankrike enne peatumist tunduvalt pikema vahemaa. Kui liiv vankrikese teelt hoopis kõrvaldada, läbib vankrike enne peatumist veel pikema tee. Järelikult, mida väiksemat takistust vankrike oma teel kohtab, seda kauem ta liigub, seda lähedasem on tema liikumine ühtlasele liikumisele.

Keha liikumine oleks ühtlane, kui puuduks täielikult teiste kehade takistus. Sel juhul liiguks keha kuitahes kaua, ilma peatumata.

Kiiruse suuna muutumine (pööre) toimub samuti alati mingi keha mõjul. Visatud pall muudab liikumise suunda löögist vastu seina või vastu kätt. Kui kiiresti jooksev inimene tahab pöörata ümber tulba, siis haarab ta sellest kinni. Mööda lauda veerev teraskuulike kaldub sirgjoonest kõrvale, kui lauale (kuulikese tee lähedale) asetatakse magnet.

Järelikult *muutub keha kiirus ainult teiste kehade mõjul.* Pärast seda, kui teiste kehade mõju lakkab, säilitab keha omandatud kiiruse suuna ja suuruse, s. o. liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt.

Keha omadust säilitada oma kiirus pärast teiste kehade mõju lõppemist nimetatakse inertsiks.



Galilei, Galileo (1564—1642) — suur itaalia füüsik ja astronoom. Galilei avastas kehade langemise seadused ning pendli võnkumise seadused, temale kuulub ka inertsiseaduse idee. Galilei leiutas termomeetri, kasutas esimesena teleskoopi astronoomilisteks vaatlusteks, avastas Jupiteri kaaslased, Päikese laigud ning Veenuse faasid.

Inertsinähtus on omane kõikidele kehadele ilma erandita — nii rasketele kaubarongidele kui ka molekulidele. On aga palju raskem muuta raske rongi kiirust kui väikese vankrikese kiirust. Jalgpalli liikumissuunda on raskem muuta kui tennisepalli oma. Põhjuseks on asjaolu, et rongi mass on suurem kui vankrikese mass ning jalgpalli mass suurem kui tennisepalli mass. Mida suurem on keha mass, seda raskem on muuta selle keha kiirust. Sellest, et inerts esineb kõikide kehade juures, rääkis esimesena itaalia teadlane Galileo Galilei.

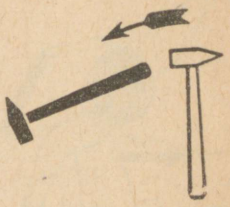
31. Inerts igapäevases elus ja tehnikas.

Kehade inertsiga puutume me kokku igapäevases elus. Jooksev inimene ei saa äkki peatuda, sest inertsi tõttu tema liikumine jätkub. Kui buss või vagun hakkab peatusest liikuma, jääb reisija keha paigale, jalad aga hakkavad koos põrandaga liikuma ning inimene kaldub tahapoole. Vastupidine on olukord järsul pidurdamisel: reisija jätkab liikumist ning kaldub ettepoole.

Ei ole võimalik momentaanselt peatada liikuvat rongi, autot, mootorratast. Isegi siis, kui pidurite abil katkestada autorataste pöörlemine, liigub auto inertsi mõjul teatud aja edasi, libisedes ratastega mööda teed.

Kui autot ei pidurdata, vaid lülitatakse välja tema mootor, siis auto ei peatu kohe, vaid liigub inertsi mõjul edasi. Seejuures täieliku peatumiseni läbitud

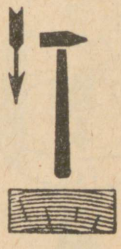
tee pikkust nimetatakse vaba pidurdusteekonna pikkuseks. Kui kiirusega 50 $\frac{km}{h}$ liikuva «Moskvitš-408» mootor välja lülitada, läbib auto kuni täieliku peatumiseni veel 355 m. See ongi «Moskvitš-408» pidurdusteekonna pikkus. Samade tingimuste juures on «Volga» pidurdusteekonna pikkuseks 455 m. Ületades teed liikuva transpordivahendi ees, tuleb arvestada, et mitte ühtegi sõidukit ei saa pidurdamisega momentaanselt peatada.



Joon. 25.

Küsimused.

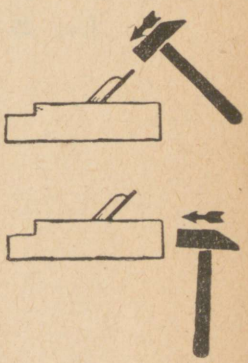
1. Tooge näiteid, mis kinnitavad, et keha liikumise kiirus muutub ainult teiste kehade mõjul. 2. Kirjeldage katset, mis näitab, kuidas muutub keha liikumine hõõrdumise vähenemisel. 3. Kuidas liiguks keha, kui üldse ei esineks liikumise takistusi? 4. Mis põhjustab keha liikumissuuna muutumist? 5. Mida nimetatakse inertsiks? 6. Tooge inertsi kohta näiteid igapäevasest elust ja tehnikast.



Joon. 26.

Harjutus 11.

1. Miks saab haamrile varre taha, kui lüüa teise haamriga varre otsale (joon. 25)?
2. Joonisel 26 on toodud teine moodus haamri varre otsa kinnitamiseks. Selgitage seda.
3. Miks komistav inimene mõnikord kukub? Millises suunas ta kukub?
4. Millel põhineb riiete puhastamine kloppimise või raputamise teel?
5. Hüppav inimene painutab maapinnale jõudmisel jalgu. Selgitage miks.
6. Joonisel 27 näidatakse, kuidas viia höövliraud vajalikku asendisse. Miks rauale löömisel see väljub höövlipakust, höövlipaku otsale löömisel aga liigub raud höövlipaku sisse?
7. Millises suunas kalduvad reisijad bussis selle paigaltvõtmisel? pidurdamisel? pöördumisel paremale? pöördumisel vasakule?
8. Kauba- ja reisirong lähenevad jaamale ühesuguste kiirustega. Kumb rong peab hakkama varem pidurdama?



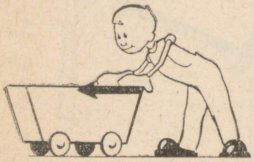
Joon. 27.

32. Jõud.

Paragrahvides 23 ja 30 kirjeldatud kehade vastastikune mõju ja inerts kinnitavad, et mingi keha kiirus võib muutuda ainult temale mõjuvate teiste kehade mõjul. Seda järeldust võib illustreerida mitmesuguste näidetega.

Tõugates vagonetti võib panna selle liikuma, s. o. muuta vagoneti kiirust (joon. 28). Kirjeldatud juhul muutis vagonett oma kiirust inimese mõjul.

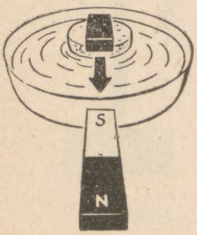
Vette paigutatud korgitükil asuv rauatükk hakkab magneti mõjul liikuma (joon. 29). Antud juhul on magnet selleks kehaks, mis muutis korgi- ja rauatüki kiirust.



Joon. 28.

Käega vedrule mõjudes surume vedru kokku (joon. 30, *a*), s. o. vedru ots hakkab liikuma. Sirgenemisel paneb kokkusurutud vedru liikuma kuulikese (joon. 30, *b*). Algul oli mõjuvaks kehaks inimese käsi, mis pani liikuma vedru otsa. Siis hakkas liikuma kuulike, s. o. kuulike muutis oma kiirust kokkusurutud vedru mõjul.

Käega või reketiga võib peatada lendava palli või siis muuta selle liikumise suunda.



Joon. 29.

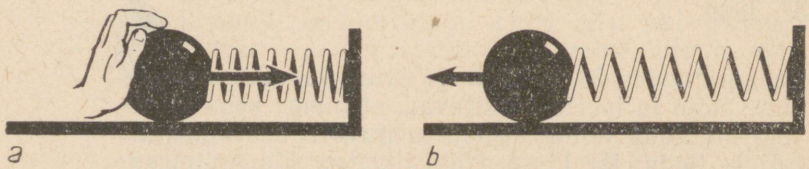
Kõikides kirjeldatud näidetes hakkab keha liikuma, jääb seisma või muudab oma liikumise suunda teise keha mõjul.

Teisiti öeldes — kõikide nende näidete puhul muutus keha kiirus kehale mõjuvate teiste kehade mõjul.

Füüsikas tavaliselt ei näidata, missugune keha ning kuidas see mõjub antud kehale, vaid öeldakse lihtsalt, et kehale mõjub jõud ehk kehale on rakendatud jõud. Seepärast vaadeldakse jõudu kui keha liikumiskiiruse muutumise põhjust.

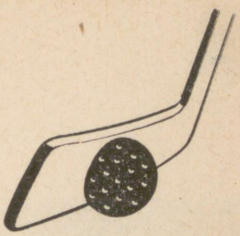
Jõu mõjul võib muutuda mitte terve keha kiirus, vaid tema üksikute osade kiirus. Nii juhtub näiteks kummilitri löömisel hokikepiga. Litri üksikute osade nihkumise erinevus põhjustab litri deformeerumise (kujumuutuse) (joon. 31). Analoogiliselt seletub laua deformeerumine sellel istuva inimese mõjul (joon. 32).

Ühe keha mõju teisele võib toimuda väga mitmel viisil. Näiteks taob sepp vasaraga metallitükki, laual lebav koormus rõhub lauale, elektrivedur veab vaguneid, magnet aga tõmbab rauatükki enda poole. Seepärast erinevad jõud oma mõju poolest.



Joon. 30.

Keha kiiruse muutmisel läheb igal erijuhul vaja erinevat jõudu.
Atra on kohalt raskem nihutada kui kerget vankrit. See tähendab, et adra vedamiseks läheb vaja suuremat jõudu kui vankri vedamiseks.
Jõud on füüsikaline suurus. Jõu mõiste abil iseloomustatakse ühe keha mõju teisele kehale. Selle mõju tulemuseks on keha kiiruse muutumine.
Järgmistes paragrahvides vaatlemegi mõningaid jõudude liike.



Joon. 31.

Küsimused.

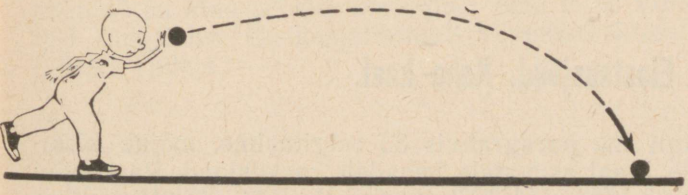
1. Milles avaldub ühe keha mõju teisele kehale? 2. Tooge näiteid, mis kinnitavad, et keha kiirus muutub temale mõjuva teise keha mõjul. 3. Miks muutub keha kuju temale mõjuva teise keha mõjul? 4. Mis on jõud? 5. Nimetage mõned jõud, mis erinevad üksteisest mõju poolest.



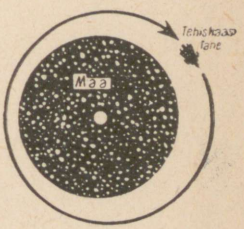
Joon. 32.

33. Gravitatsioon. Raskusjõud.

Vaatleme visatud kivi liikumist (joon. 33). Kivi ei lenda sirgjooneliselt ja ühtlaselt, tema trajektoor on kõverjoon. Järelikult mõjub kivile jõud. See on Maa külgetõmme. Tänu Maa külgetõmbele langevad maapinnalt üles tõstetud ning seejärel lahti lastud kehad jälle alla tagasi. Samal põhjusel voolab ka vesi jõgedes. Üles hüpanud inimene langeb jälle maapinnale tagasi just Maa külgetõmbe tõttu. Samal põhjusel ei liigu üleslastud Maa tehiskaaslased mööda sirgjoont, vaid tiirlevad ümber Maa (joon. 34).
Kõiki kehi, mis asuvad maapinnal või selle lähedal, tõmmatakse Maa poole: inimesi, vett meredes, ookeanides ja jõgedes, maju jne.

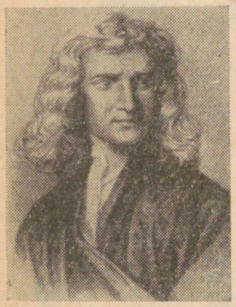


Joon. 33.



Joon. 34.

Tartu Ülikooli
RAAMATUKOGU



Newton, Isaac (1643—1727) — geniaalne inglise füüsik ja matemaatik. Tema avastas mehhaanika põhiseadused, õppis tundma paljusid valguse omadusi ning töötas läbi kõrgema matemaatika kõige tähtsamad osad.

Külgetõmme ei esine ainult Maa ja sellel asuvate esemete vahel. Kõik kehad tõmbavad üksteist. Tõmbavad teineteist Maa ja Kuu. Maa külgetõmme sunnib Kuud liikuma ümber Maa, Kuu külgetõmme aga põhjustab ookeanis tõusude ja mõõnade tekkimise, tõstes määratuid veemasse kaks korda ööpäevas mitme meetri võrra. Maad ja kõiki teisi planeete tõmmatakse Päikese poole ning seepärast nad tiirlevadki ümber Päikese. Tõmbavad üksteist ka kõik maapinnal olevad kehad. Seda *maailmaruumi kõikide kehade vastastikust tõmbumist nimetatakse ülemaailmseks gravitatsiooniks.*

Mida suuremad on kehade massid, seda suurem on nendevaheline tõmbejõud. Kehadevahelise tõmbejõu suurus oleneb samuti kehadevahelisest kaugusest. Selle seaduspärasuse avastas inglise teadlane Isaac Newton.

Kehadevaheline tõmbejõud väheneb nendevahelise kauguse suurenemisel. Kuna Maa on poolustelt veidi kokku surutud, siis on Maa polaarraadius veidi väiksem kui ekvatoriaalraadius. Seega on pooluste piirkonnas olevad kehad Maa keskpunktile lähemal kui ekvaatoril asuvad kehad. Selles on üks põhjus, miks Maa külgetõmme poolustel on veidi suurem kui ekvaatoril ja teistel laiustel. Seepärast on ka Maa külgetõmme kõrgel mäel veidi väiksem kui mäe jalamil.

Jõudu, millega Maa tõmbab enda poole keha antud kohas, nimetatakse raskusjõuks.

Küsimused.

1. Miks ei lenda sirgjooneliselt kivi, mis visatakse horisontaalselt või kaldu horisondiga? 2. Missugune jõud hoiab keha maapinnal? 3. Mis sunnib Kuud liikuma ümber Maa ning Maad koos Kuuga ümber Päikese? 4. Millised Maal vaadeldavad nähtused kinnitavad, et Kuu tõmbab Maad enda poole? 5. Miks tiirlevad Maa tehiskaaslased ümber Maa? 6. Mis on raskusjõud? 7. Miks on raskusjõud poolustel veidi suurem kui ekvaatoril ja teistel laiustel?

34. Elastsusjõud. Keha kaal.

Nagu me paragrahvis 33 selgitasime, mõjub kõikidele Maal asuvatele kehadele raskusjõud. Raskusjõu mõjul langevad kõik toetamata või ülesriputamata kehad maapinnale. Raskusjõu mõjul langevad näi-

teks maapinnale vihmapiisad, lumeräitsakad, okstelt langevad lehed.

Kui aga seesama lumi lamab katusel, mõjub temale endiselt raskusjõud. Lumi aga ei lange, vaid püsib paigal. Vaatleme, miks jäävad toel lebavad kehad ning ülesriputatud kehad paigale.

Joonisel 32 on kujutatud laud, mis lebab horisontaalselt kahel toel. Kui laua keskkohta istub inimene, siis liigub ta koos lauaga mingisuguse aja jooksul raskusjõu mõjul allapoole. Siis aga liikumine lakkab. Mis põhjustas liikumise lakkamise?

Inimese peatumist võib seletada ainult sellega, et peale allapoole suunatud raskusjõu mõjub inimesele veel teine jõud, mis on suunatud üles.

Kust tekkis see teine jõud? Sellele küsimusele vastamiseks teeme kindlaks, mis juhtus lauaga allapoole liikumisel. Liikumisel laud (või mõni teine tugi) paindub, deformeerub. Seejuures tekib jõud, millega tugi (meie näites laud) hakkab mõjuma temal lebavale kehale. See jõud on suunatud üles, s. o. raskusjõuga vastupidises suunas. Seda jõudu nimetatakse *elastsusjõuks.*

Mida rohkem tugi paindub, seda suurem elastsusjõud tekib. Kui elastsusjõud saab kehale mõjuva raskusjõuga võrdseks, jäävad nii keha kui ka tugi paigale.

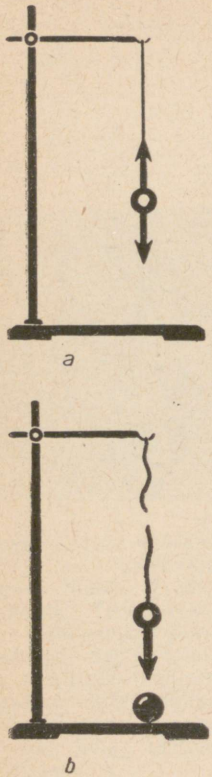
Kui keha paigutatakse toele, siis deformeerub mitte ainult tugi, vaid ka keha, mida Maa enda poole tõmbab. Deformeerunud keha rõhub toele jõuga, mida nimetatakse *keha kaaluks.*

Keha kaal on jõud, millega keha Maa külgetõmbe mõjul (raskusjõud) rõhub toele või pingutab niiti (nööri, trossi), mille otsas ta ripub.

Sel juhul, kui tugi või tross on liikumatu (Maa suhtes), on keha kaal võrdne raskusjõuga. Maa poolustel on keha kaal nagu kehale mõjuv raskusjõudki suurem kui teistel laiustel. Üheks põhjuseks, miks keha kaal sõltub koha geograafilisest laiusest, on Maa lapikus. Teiseks põhjuseks (ja peamiseks) on Maa pöörlemine ümber oma telje. Viimasest räägitakse üksikasjalisemalt vanemate klasside füüsika õpikus.

Küsimused.

1. Milles avaldub raskusjõu mõju? 2. Missugust jõudu nimetatakse elastsusjõuks? 3. Mida nimetatakse keha kaaluks? 4. Missugustes Maa kohtades on keha kaal suurim? väikseim?



Joon. 35.

35. Vertikaalsiht. Püstlood.

Kehale mõjuval raskusjõul on Maa mistahes kohas täiesti kindel suund. Selle suuna antud kohas võib leida niidi otsa riputatud väikese koormuse abil (joon. 35, *a*). Koormusele mõjuva raskusjõu mõjul võtab niit sama sihi, mis on raskusjõul antud maakohas. Märgime niidi ja koormuse asukoha ning viime siis koormuse tema esialgsest asendist veidi kõrvale ning laseme lahti. Pärast mõnda võnget jääb koormus uuesti oma esialgsesse asendisse. Kui nüüd niit läbi põletada, siis langeb koormus raskusjõu mõjumise suunas (joon. 35, *b*). Katseliselt võib veenduda, et koormus langeb piki seda sirget, millel asus koormuse poolt pingutatud niit.

Sihti, mille võtab koormuse mõjul niit, nimetatakse vertikaalsihiks.

Niiti tema otsa seotud koormusega (kuulikesega) nimetatakse *püstloodiks.*

Püstloodi kasutatakse vertikaalsihi kindlaksmääramiseks. Joonisel 3, *a* on kujutatud püstlood, mida kasutatakse ehitustöödel. Seina ladumisel kontrollib müürsepp püstloodiga seina vertikaalsust. Joonisel 36 on toodud püstloodi asendid Maa mitmesugustes kohtades.

Küsimused.

1. Kuidas näidata, et niit koos tema külge seotud raskusega võtab alati kindla sihi? 2. Missugust sihti nimetatakse vertikaalseks? 3. Kuidas nimetatakse riista, mille abil saab määrata ja kontrollida vertikaalsihti? 4. Kus kasutatakse püstloodi?



Joon. 36.

Ülesanne.

Valmistage püstlood ja kontrollige maja ja kapi seinte ning lauajala vertikaalsust.

Täiendavaks lugemiseks.

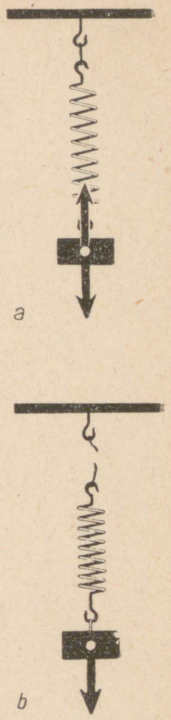
36. Kaalutuse mõiste.

Me elame kosmose alistamise ajastu künnisel, ümber Maa, teistele päikesesüsteemi planeetidele ning Kuule lendavate kosmoselaevade ajastul. Sageli tuleb meil kuulda ja lugeda, et kosmonaudid ning neid ümbritsevad esemed viibivad kosmoselaeva vaba

lennu ajal erilises nn. *kaaluta olekus*. Mis olek see niisugune on ning kas sellist olekut võib vaadelda ka Maal? Üldise ettekujutuse kaaluta olekust võib saada juba praegu, füüsika õppimise algperioodil.

Tuletame meelde, et keha kaalu all me mõistame jõudu, millega keha Maa külgetõmbe tõttu rõhub alusele või pingutab niiti, millega ta on üles riputatud. Kui tugi või niit on liikumatu, siis on keha kaal võrdne raskusjõuga, mis mõjub kehale.

Kujutame nüüd ette olukorda, kus tugi või niit langeb vabalt koos kehaga. On ju tugi ja niit samuti kehad ning ka neile mõjub raskusjõud. Kui suur on sel juhul keha kaal, s. o. missuguse jõuga rõhub ta nüüd alusele.



Joon. 37.

Vaatleme katset. Võtame väikese keha ning riputame selle vedru külge (joon. 37, *a*). Vedru teine ots on seotud liikumatu toe külge.

Raskusjõu mõjul hakkab keha liikuma alla, vedrut venitatakse pikemaks senikaua, kuni vedru elastsusjõud ei ole tasakaalustanud raskusjõudu.

Põletame nüüd läbi niidi, mis hoidis vedrut ja keha toe küljes. Vedru koos kehaga langeb alla. Vaadeldes vedrut, märkame, et see on jälle endise pikkusega (joon. 37, *b*). Senikaua kuni vedru koos kehaga langeb, ei ole ta välja venitatud. Järelikult ei mõju langev keha temaga koos langevale vedrule. Seepärast võib öelda, et sel juhul on keha kaal võrdne nulliga.

Kui keha ja alus, millel keha asub, langevad vabalt, siis keha ei rõhu alusele. Ka sel juhul on keha kaal null.

Analoogiline nähtus esineb ümber Maa tiirlevas kosmoselaevas. Ümber Maa tiireldes kosmoselaev koos temas asuvate esemete ja kosmonaudiga justkui langeks vabalt ühesuguse kiirusega Maa poole. Selle tulemusena ei esine nendevahelist vastastikust mõju: keha, mis lebab alusel, ei rõhu sellele, vedru otsas rippuv keha ei venita seda välja jne.

Selliste kehade kohta öeldakse, et nad on kaaluta olekus.

Laeva külge kinnitamata kehad «hõljuvad» vabalt. Anumasse valatud vedelik ei rõhu anuma põhjale ega seintele, seepärast ei voola ta ka anumas olevatest avadest välja. Kellapendel on tasakaalus igas asendis, millesse ta viiakse. Kosmonaudil ei ole käe või jala kaldasendisse viimiseks vaja mingit jõupingutust. Tal kaob ettekujutus sellest, kus on ülemine ja kus alumine pool. Kui anda mingile kehale kiirus

laevakabiini seinte suhtes, siis liigub keha ühtlaselt ja sirgjooneliselt seni, kuni ta ei põrku kokku teiste kehadega.
Nõukogude kosmonaut G. S. Titov jutustas, et teda lõi valusalt kinokaamera, mis kaaluta olekus vabalt kosmoselaeva kabiinis ringi liikus.

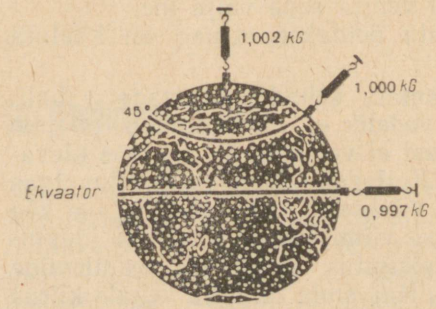
37. Jõuühikud.

Mõõta mingit jõudu tähendab võrrelda teda teise jõuga, mis on võetud jõuühikuks? Missugune jõud tuleb võtta jõuühikuks? Kõige otstarbekam on selleks võtta kindel raskusjõud. On ju raskusjõul meie jaoks eriti suur tähtsus. Tõepoolest, kõik kehad, sealhulgas ka inimene on selle jõu mõju all, see tõmbab neid Maa poole ning põhjustab kehade langemise.
Paragrahvis 25 me tutvusime massiühikuks võetud 1 kg-ga. Selle massi etaloni (plaatina ja iriidiumi sulamist silinder) hoitakse Pariisi lähedal Sèvres'is. Nii nagu kõiki kehi tõmmatakse ka massiühiku etaloni Maa poole, temale mõjub raskusjõud.

Jõuühikuks on võetud raskusjõud, mis mõjub kehale massiga 1 kg massiühiku etaloni hoiukohas.

Sellist ühikut nimetatakse **jõukilogrammiks**[1] ning märgitakse **1 kG.**
Jõuühiku määramise koht on täpsustatud sellepärast, et Maa tõmbab ühte ja sama keha erinevates kohtades erineva tugevusega. Nii tõmmatakse poolustel 1 kg massiga keha Maa poole jõuga 1,002 kG, ekvaatoril aga jõuga 0,997 kG (joon. 38). Peale selle vähe-

[1] Et vältida massi ja jõu mõõtühikute samastamist, kasutatakse jõukilogrammi tähise kG asemel tihti ka lühendit kgf (*force* — pr. k. jõud).



Joon. 38.

neb raskusjõud keha kauguse suurenemisel maapinnast. Näiteks tõmmatakse 1 kg massiga keha 6000 km kauguselt Maa poole jõuga 0,3500 kG, 380 000 km kauguselt (sellisel kaugusel asub Kuu Maast) aga ainult jõuga 0,0045 kG.
Kõrvuti ühikuga 1 kG kasutatakse tänapäeval laialdaselt jõu mõõtühikuna 1 njuutonit. Selline nimetus on jõuühikule antud suure inglise õpetlase Isaac Newtoni auks. Lühendatult märgitakse njuutonit tähega N.

$$1\ \mathrm{N} \approx \frac{1}{9{,}8}\ \mathrm{kG} \text{ ehk } 1\ \mathrm{kG} \approx 9{,}8\ \mathrm{N}.$$

Siit järgneb, et 1 kg massiga kehale mõjub raskusjõud 9,8 N. Lühidalt kirjutame seda $9{,}8\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.
Täpsed katsed näitavad, et kehale mõjuv raskusjõud on võrdeline keha massiga. Järelikult, kui 1 kg massiga kehale mõjub 9,8 N suurune raskusjõud, siis 2 kg massiga kehale mõjub kaks korda suurem raskusjõud, s. o. 19,6 N, 3 kg massiga kehale 3 korda suurem raskusjõud, s. o. 29,4 N jne.
Selleks et väljendada kehale mõjuvat raskusjõudu njuutonites, tuleb keha massikilogrammide arv korrutada $9{,}8\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$-ga:

$$P = 9{,}8\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot m,$$

kus P on njuutonites väljendatud raskusjõud, m — keha mass kilogrammides.
Me teame, et jõudu, millega Maa poole tõmmatav keha mõjub toele, nimetatakse selle keha kaaluks.

$$P = 9{,}8\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot m$$

Kui tugi on paigutatud horisontaalselt ning on Maa suhtes liikumatu, siis on sellel oleva keha kaal võrdne raskusjõuga.

Kui käesolevas õpikus edaspidi räägitakse keha kaalust, siis mõeldakse seda alati liikumatu ning horisontaalse toe suhtes. Seepärast kõik, mis on siiani öeldud raskusjõu kohta, on kehtiv ka keha kaalu kohta:

keha kaal on võrdeline keha massiga;
keha massiga 1 kg kalub 9,8 N;
keha kaal njuutonites väljendub valemiga

$$P = 9{,}8\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot m.$$

Keha kaal oleneb koha geograafilisest laiusest ja kõrgusest maapinnast.
Paljudel juhtudel võib arvestada, et 1 N on 102 g massiga keha kaal ehk veel ümardatumalt — 100 g massiga keha kaal.

Küsimused.

1. Mis tähendab mõõta mingit jõudu? 2. Miks on otstarbekas valida jõuühikuks kindel raskusjõud? 3. Milline jõud on võetud jõuühikuks? 4. Missugust jõudu nimetatakse njuutoniks?

Harjutus 12.

1. Mitu njuutonit kaalub keha massiga 10 kg? 200 g?
2. Kui suur on raskusjõud, mis mõjub kehale massiga 2,5 kg? 800 g? 1,2 t?
3. Leidke veoauto kaal, kui ta mass on 3 t.
4. Inimene kaalub 800 N. Kui suur on selle inimese mass?

38. Raskusjõud teistel planeetidel.

Täiendavaks lugemiseks

Päikese ümber tiirleb 9 planeeti (joon. 39). Kõik nad püsivad Päikese ümber gravitatsioonijõudude toimel. Need jõud on kujuteldamatult suured. Nii näiteks mõjub Maa ja Päikese vahel gravitatsioonijõud, mille suurus on ligikaudu
30 000 000 000 000 000 000 000 N $= 3 \cdot 10^{22}$ N. Gravitatsioonijõu selline suurus on seletatav Päikese ja Maa väga suurte massidega.



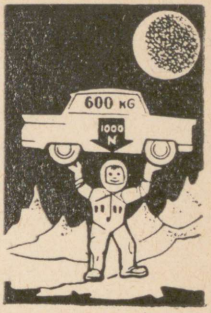
Joon. 39. Päikesesüsteemi planeedid.

Päikesesüsteemi planeetide seas on kõige väiksema massiga Merkuur. Tema mass on 19 korda väiksem kui Maa mass. Päikesesüsteemi kõige suurema planeedi, nimelt Jupiteri mass ületab Maa massi 318 korda. Enamiku planeetide ümber tiirlevad kaaslased. Ka neid hoiab planeetide juures gravitatsioonijõud. Maa kaaslane Kuu on meile kõige lähemal asuvaks taevakehaks. Maa ja Kuu vaheline kaugus on 380 000 km. Kuu mass on Maa massist 81 korda väiksem.
Maa ja Kuu vahel mõjub samuti külgetõmbejõud. Tänu Maa külgetõmbele ei lenda Kuu inertsi mõjul Maast eemale, vaid tiirleb ümber selle. On võimalik jälgida ka Kuu külgetõmmet. Maal esinevad nähtused, mille põhjustab Kuu külgetõmme. Nendeks on tõusud ja mõõnad ookeanides. Tõusud tekivad seepärast, et Kuu poole pööratud maakera osas asuvaid

veemasse tõmbab Kuu tugevamini kui vastaspoolel asuvaid.

Mida väiksem on planeedi mass, seda väiksema jõuga tõmbab ta kehi enda poole. Kuu pinnal on raskusjõud 6 korda väiksem kui Maal. Nii kaaluks auto, mille kaal Maal on 6000 N, Kuul ainult 1000 N (joon. 40). Kui aga inimene satuks Jupiterile, mille mass on Maa massist mitu korda suurem, siis tema kaal suureneks seal peaaegu 3 korda.

Selleks et eemalduda Kuu pinnast, ei ole vaja kiirust 11 $\frac{km}{s}$ nagu Maast eemaldumiseks, vaid piisab kiirusest 2 $\frac{km}{s}$.



Joon. 40.

Peale 9 planeedi ja nende kaaslaste tiirleb ümber Päikese hulk väga väikesi planeete, mida nimetatakse asteroidideks. Kõige suurem asteroid Ceres on raadiuse poolest peaaegu 20 korda ning massilt 7500 korda väiksem kui Maa. Raskusjõud nendel planeedikestel on nii väike, et inimene, kes selliselt planeedilt üles hüppab, võib planeedist eemalduda. Suuruselt neljanda asteroidi Vesta mass on 60 000 korda väiksem kui Maa mass.

K. E. Tsiolkovski kirjeldab inimese saabumist sellele asteroidile oma raamatus «Tee tähtede juurde» järgmiselt:

«Maal võin ma vabalt kanda veel inimest, kes on minuga üheraskune. Vestal võin ma sama pingutusega kanda 30 korda rohkem, s. o. 60 inimest. Maal suudan ma hüpata 50 cm kõrgusele. Vestal võimaldab sama jõupingutus hüpata 30 m kõrgusele. See on kümnekordse maja või hiiglasliku männi kõrgus. Seal on kerge hüpata üle korraliku jõe laiuste kraavide ja aukude. Võib hüpata üle 15-meetriste puude ja majade. Ja seda ilma hoovõtuta.»

Küsimused.

1. Miks planeedid ei eemaldu Päikesest, vaid tiirlevad ümber selle? 2. Nimetage päikesesüsteemi kõige väiksem ja kõige suurem planeet. 3. Kas ühele ja samale kehale mõjuvad raskusjõud Maal, Kuul ja Jupiteril on ühesuurused?

39. Elastsusjõu sõltuvus deformatsiooni suurusest.

Vedru pikkuse muutumist nimetatakse vedru deformatsiooni suuruseks. Kui näiteks vedru algpikkus on 10 cm, jõu mõjul pikenes see aga 12 cm-ni, siis on deformatsiooni suurus 2 cm.

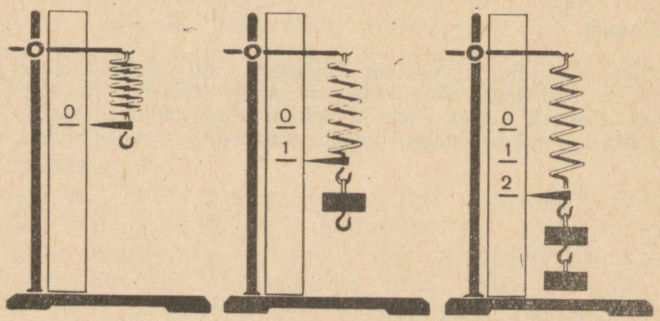
Vaatleme vedru deformatsiooni katseliselt. Selleks kinnitame vedru otsapidi toe külge, teise otsa aga riputame mingi koormuse (joon. 41). Raskusjõu mõjul hakkab koormus langema, venitab vedru välja ning peatub.

Me juba teame, et koormuse ja vedru peatumise põhjuseks on elastsusjõud, mis tekib vedru deformeerimisel (vt. § 34). See jõud on suunatud üles, s. o. vastupidiselt raskusjõuga.

Kuni vedru polnud deformeeritud, puudus ka elastsusjõud. Kui aga vedru külge riputati koormus ning viimane hakkas vedrut välja venitama, tekkis kohe ka elastsusjõud. Elastsusjõud suurenes deformatsiooni suurenemisega. Koormus peatus momendil, mil elastsusjõud sai võrdseks raskusjõuga. Samal momendil lõppes ka vedru edasine pikenemine. Vedru jäi deformeerituks.

Kui vedru võtab tagasi oma esialgse pikkuse, siis deformatsioon kaob ning koos sellega ka elastsusjõud.

Kui katses kasutada koormust kaaluga 1N, siis selle mõjul vedru pikenemisel tekkinud elastsusjõud on samuti 1 N. Mõõdame selle jõu poolt tekitatud deformatsiooni suuruse. Olgu see näiteks 20 mm. Venitame nüüd vedru nii, et vedru deformatsiooni suurus



Joon. 41.

oleks 40 mm, 60 mm jne. Seejuures tekkivad elastsusjõud on vastavalt 2 N, 3 N jne.
Järelikult, **nii mitu korda kui kasvab vedru deformatsiooni suurus, kasvab ka vedru elastsusjõud.**

Küsimused.

1. Mida mõistetakse vedru deformatsiooni suuruse all? 2. Kirjeldage katset, mis näitab elastsusjõu seost vedru deformatsiooniga. Tehke sellest järeldus.

Harjutus 13.

1. Vedru pikenemisel 9 mm võrra tekkis elastsusjõud 3 N. Kui palju pikenes vedru, kui selle tulemusena tekkis elastsusjõud 4 N? 9 N?
2. Puhvrivedru lühenemisel 3,5 cm võrra tekib elastsusjõud 50 000 N. Missuguse jõuga surub vedru vagunile, kui vedru lüheneb 2,8 cm?

40. Dünamomeeter.

Riistu, millega mõõdetakse jõu suurust, nimetatakse dünamomeetriteks[1]. Dünamomeetri ehitus põhineb asjaolul, et vedru elastsusjõud kasvab nii mitu korda kui mitu korda suureneb vedru deformatsioon.
Lihtne vedrudünamomeeter valmistatakse järgmiselt. Paberiga kaetud lauakese külge kinnitatakse vedru ülemine ots. Vedru alumisse otsa aga kinnitatakse konksuga varras, mille ülemises osas asub osuti (joon. 42, *a*). Osuti asukoht koormamata vedru korral märgitakse lauakesel olevale paberile. See on mõõteriista nulljaotus. See jaotus näitab, et vedru elastsusjõud on võrdne nulliga. Edasi riputatakse konksu otsa keha massiga 102 g. Sellele kehale mõjub raskusjõud 1 N. 1 N jõu mõjul vedru pikeneb ning osuti liigub allapoole. Osuti uus asukoht märgitakse lauakesele ning selle juurde kirjutatakse 1 (joon. 42, *b*). Nüüd lisatakse esimesele kehale veel teine 102 g massiga keha ning märgitakse osuti uue asendi juurde 2. Viimane tähendab, et osuti sellise asendi juures on vedru elastsusjõud 2 N. 306 g massiga koormuse abil saadakse jaotus 3 jne.



Joon. 42.

[1] Kreekakeelsetest sõnadest *dynamis* — jõud ja *metreō* — mõõdan.

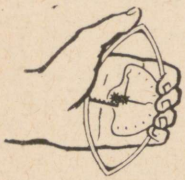


Joon. 43.

Arvestades seda, et elastsusjõud on võrdeline vedru pikenemisega, võib arvutada ning kanda skaalale ka njuutoni kümnendikud 0,1; 0,2; 0,3 jne. Selleks on vaja skaalal olevate märkide 0 ja 1; 1 ja 2; 2 ja 3 jne. vahed jagada kümneks võrdseks osaks.

Gradueeritud vedru ongi lihtsaimaks dünamomeetriks (gradueerimine on mõõteriista varustamine vastava skaalaga).

Dünamomeetriga saab mõõta mitte ainult raskusjõudu, vaid ka teisi jõude — hõõrdejõudu, elastsusjõudu jne.

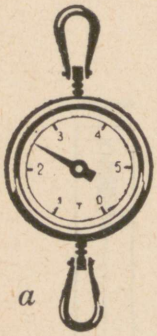


Joon. 44.

Joonisel 43 on kujutatud dünamomeeter, mida harilikult kasutatakse koolis füüsika tundides. Jaotused kantakse selle dünamomeetri skaalale ühe njuutoni kaupa. Suurim jõud, mida sellise dünamomeetriga saab mõõta, on 50 N.

Lihaste jõudu käe rusikasse surumisel saab mõõta käsidünamomeetriga — jõumõõtjaga (joon. 44). Selle mõõteriista põhiosaks on ovaalne lehtvedru, mille külge on kinnitatud osuti mehhanism. Vedru surumisel pöörab kangike mõõteriista osutit.

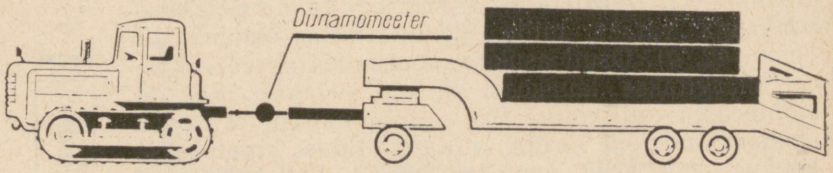
Suurte jõudude, näiteks traktori veojõu mõõtmiseks kasutatakse spetsiaalseid dünamomeetreid (joon. 45, *a*). Selliste dünamomeetritega võib mõõta mitmekümne tuhande njuutoni suurusi jõude (joon. 45, *b*).



a

Küsimused.

1. Missugust riista kasutatakse jõu mõõtmiseks? Millel põhineb sellise mõõteriista ehitus? 2. Kuidas valmistada lihtsat dünamomeetrit? 3. Kuidas kanda dünamomeetri skaalale 0,1 N suurust jaotust?



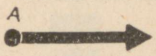
b

Joon. 45.

41. Jõud kui vektor.

Nagu me juba teame, on igal jõul oma kindel suurus ning jõu mõju kehale oleneb jõu suurusest. Mida tugevamalt venitatakse vedrut, seda pikemaks see venib. Mida tihedamalt on uks suletud, seda suurema jõuga tuleb teda avamisel tõugata.

Jõu mõju oleneb aga ka tema suunast. Vedrut võib välja venitada ja kokku suruda, ust võib avada ja sulgeda veel tihedamini.
Suur tähtsus on ka sellel, millises punktis on jõud kehale rakendatud. Mitte asjata ei kinnitata ukse käepide hingedest võimalikult kaugele. Proovige ust avada, tõugates seda hingede lähedalt. See on tunduvalt raskem kui ukse avamine käepidemest.
Toodud näidetest selgub, et jõu mõju oleneb jõu suurusest, suunast ja rakenduspunktist. *Jõud on nagu kiiruski vektoriaalne suurus.*



Joon. 46.

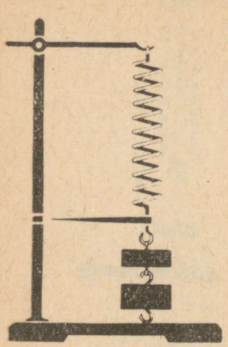
Joonisel kujutatakse jõudu sirglõiguna, mille otsas on nooleke (joon. 46.). Lõigu alguspunkt *A* on jõu rakenduspunkt, s. o. keha see punkt, kuhu mõjub teine keha.
Lõigu pikkus kujutab mingis mastaabis jõu suurust. Kui näiteks lepitakse kokku tähistada 1 N suurust jõudu 0,5 cm pikkuse lõiguga, siis tähistab 5 N suurust jõudu 2,5 cm pikkune sirglõik.
Noole suund märgib jõu suunda.

Harjutus 14.

1. Kujutage joonisel teie poolt valitud mastaabis järgmised jõud: a) keha kaal 40 N; b) 50 N tugevune horisontaalne löök vastu palli.
2. Traktori ДТ-54 veojõud on kuni 28 500 N. Kujutage see jõud graafiliselt mastaabis 1 cm — 5000 N.
3. Tõstekraana tõstab koormust massiga 800 kg. Kujutage koormusele mõjuv raskusjõud mastaabis 1 cm — 2000 N.
4. Liikumatul platvormil asetseva tellistega täidetud kasti mass on 3 t. Kujutage teie poolt valitud mastaabis kasti kaal.

42. Jõudude liitmine. Resultantjõud.

Tavaliselt mõjub igapäevases elus kehale mitte üks, vaid mitu jõudu. Nii näiteks mõjub saagimisel saele inimese poolt rakendatav jõud, saetava laua takistus ning raskusjõud. Liikuvale laevale mõjub pöörleva laevakruvi jõud, vee ja õhu takistusjõud, raskusjõud ja vee üleslükkejõud. Vedru otsa riputatud kehale (vt. joon. 37, *a*) mõjub kaks jõudu: raskusjõud ja vedru elastsusjõud.
Kirjeldatud olukord raskendab kehade liikumise tundmaõppimist. Seda ülesannet on võimalik lihtsustada, kui kehale mõjuvad jõud asendada ühe jõuga, mille mõju kehale on samasugune kui asendatavate jõudude kogumõju.

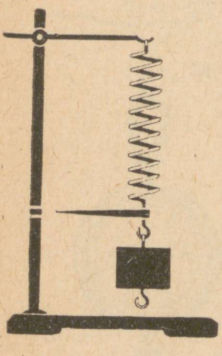


Jõudu, mille mõju kehale on samasugune kui sellele kehale üheaegselt rakendatud jõudude kogumõju, nimetatakse nende jõudude resultandiks.
Mitme jõu resultandi leidmist nimetatakse jõudude liitmiseks.

Küsimused.

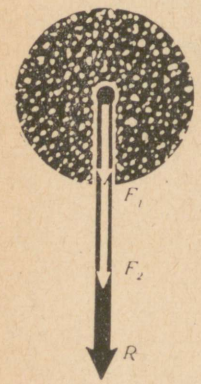
1. Missugust jõudu nimetatakse mitme jõu resultandiks? 2. Mida nimetatakse jõudude liitmiseks?

43. Kahe ühte sirget mööda mõjuva jõu liitmine.



Joon. 47.

Vaatleme, kuidas leida kahe sellise jõu resultantjõudu, mis mõjuvad kehale mööda ühte sirget ühes ja samas suunas või vastupidistes suundades.
Teeme katse. Riputame vedru otsa teineteise alla kaks koormust, mille kaalud on vastavalt 1 N ja 2 N (joon. 47, *a*), ning märgime vedru pikenemise astme. Nüüd võtame need koormused ära ning asendame ühe koormusega, mis venitab vedru niisama pikaks (joon. 47, *b*). Selle koormuse kaal on 3 N.
Tuginedes tehtud katsele, järeldame, et **kahe ühte sirget mööda mõjuva samasuunalise jõu resultantjõud on võrdne nende jõudude summaga ning on nendega samasuunaline.**
Joonisel 48 on kehale mõjuvad jõud märgitud tähtedega F_1 ja F_2 ning nende resultantjõud tähega R.
Ei ole raske veenduda, et sel juhul, kui mööda ühte sirget mõjuvad jõud on vastassuunalised, on nende resultant võrdne jõudude vahega.
Seda veendumust on kerge katseliselt kontrollida. Dünamomeetri lauakesele asetatakse koormus kaaluga 5 N (joon. 49, *a*). Dünamomeetri osuti näitab jõudu 5 N, millega koormus rõhub lauakesele. Lauakese külge seotakse nüüd niit, haagitakse selle külge teine dünamomeeter ning tõmmatakse lauakest viimase vahendusel ülespoole jõuga 2 N (joon. 49, *b*). Nüüd on dünamomeetri lauakesele rakendatud kaks jõudu, koormuse kaal 5 N, mis on suunatud vertikaalselt alla, ning jõud 2 N vertikaalselt üles.
Antud olukorras näitab lauakesega dünamomeeter jõudu 3 N. See jõud ongi jõudude 5 N ja 2 N resultandiks, arvuliselt on ta võrdne nende jõudude vahega (3 N = 5 N − 2 N). Kui lauakest tõmmata teise dünamomeetri abil üles jõuga 5 N, siis asetub

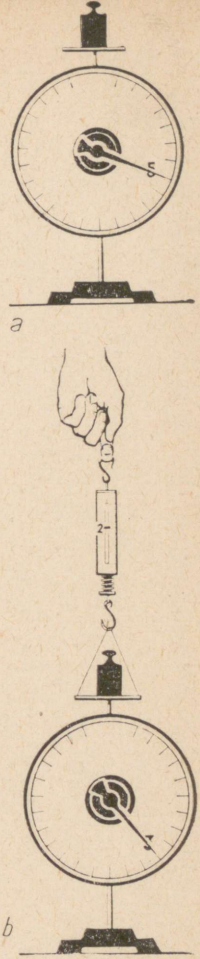


Joon. 48.

lauakesega dünamomeetri osuti nullile. Kahe jõu resultant on sel juhul null (5 N — 5 N = 0). Kõigil analoogilistel juhtudel on kahe jõu resultant võrdne jõudude vahega.

Seega **kahe ühte sirget mööda vastassuundades mõjuva jõu resultant on võrdne jõudude vahega ning suunatud suurema jõu poole.**

Joonisel 50 on kujutatud vastassuunalised liidetavad jõud F_1 ja F_2 ning nende resultant R.



Joon. 49.

Küsimused.

1. Tooge näide kahe ühel sirgel ühes ja samas suunas mõjuva jõu liikumise kohta. 2. Kirjeldage katset, mille abil määratakse kahe ühel sirgel ühes ja samas suunas mõjuva jõu resultant. Millega see resultant võrdub? 3. Kui suur on kahe ühte sirget mööda vastassuundades mõjuva jõu resultant?

Harjutus 15.

1. Langevarjur laskub hüppel ühtlaselt. Langevarjur koos langevarjuga kaalub 700 N. Kui suur on õhu takistus? Kujutage need kaks jõudu valitud ühises mastaabis, rakendades need punktile, mis asub jõudude mõjumise sirgel.
2. 70 kg massiga inimene hoiab õlgadel 20 kg massiga kasti. Missuguse jõuga rõhub see inimene maapinnale?
3. Kõieveost võtab osa neli inimest. Kaks neist veavad kõit ühes suunas jõududega 330 N ja 380 N, kaks aga vastupidises suunas jõududega 300 N ja 400 N. Millises suunas hakkab kõis liikuma ning kui suure jõu mõjul?

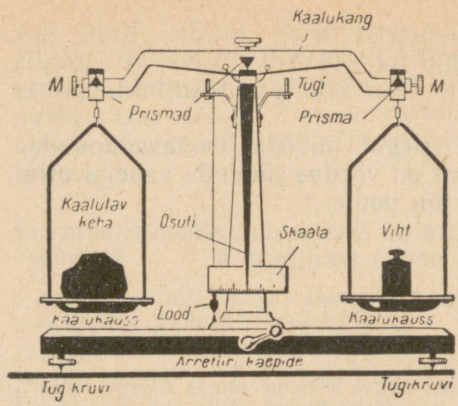
44. Kaalud. Kaalumine.

Keha kaalu võib määrata mitte ainult dünamomeetriga, vaid ka kangkaaludega (joon. 51). Nende kaalude tähtsamaks osaks on kaalukang. Kangi keskpunktis ja otstel on kolmnurksed terasprismad. Keskmine prisma on pööratud ühe servaga alla. Selle servaga toetub kaalukang toele. Äärmiste prismade teravikud on pööratud ülespoole. Kaalukangi keskkohta on kinnitatud osuti, mille ots võib liikuda piki skaalat.

Äärmistele prismadele riputatakse kaalukausid. Kangkaalude parem õlg (kaugus keskmise prisma servast parempoolse prisma servani) peab olema võrdne vasaku õlaga ning parempoolse kaalukausi kaal omakorda vasaku kaalukausi kaaluga. Ilma koormuseta kaalukang peab seisma niisuguses asen-



Joon. 50.



Joon. 51.

dis, mille juures osuti oleks skaala keskpunktis. Kangi selline asend saavutatakse kangi otstes olevate mutrikeste *M* vastava pööramisega. Kui mõlemal kaalukausil on ühesuguse kaaluga kehad, siis on osuti ots samuti skaala keskkohas või võngub sellest paremale ja vasakule võrdse arvu jaotise võrra. Öeldakse, et kaalud on sel juhul tasakaalus.

Keha kaalumiseks asetatakse see ühele kaalukausile ning tasakaalustatakse teisele kaalukausile asetatavate vihtidega. Sel juhul on keha kaal võrdne tasakaalustamiseks teisele kaalukausile asetatud vihtide kogukaaluga.

Selleks et saada kaalumisel õigeid tulemusi, seatakse kaalude alus tugikruvidega horisontaalseks. Horisontaalsust kontrollitakse kaalu tugisamba külge kinnitatud püstloodi ja selle alla kinnitatud teraviku abil. Kaalude õige asendi korral on püstloodi ots alusele kinnitatud teraviku kohal. Sellise asendi juures on kaalude alus horisontaalne.

Kaalumisel tuleb kaalusid hoida löökide ja põrutuste eest, sest need võivad kahjustada kaalukangi prismasid.

Pärast kaalumist viiakse kaalud aluse küljes oleva kangi või nupu abil puhkeolekusse (kaalud arreteeritakse). Selles olekus toetub kaalukang tugedele ning tema prismad ei kulu. Mitmesuguseid kaalude tüüpe on kujutatud lk. 67 asuval joonisel.

Küsimused.

1. Loetlege kangkaalude peamised osad. 2. Missugust kaalude asendit nimetatakse tasakaaluasendiks? 3. Kuidas toimub keha kaalumine? 4. Missuguseid kaalude tüüpe te tunnete?

45. Keha massi määramine kaalumisega.

Keha kaalu võib määrata kaalumise teel. Keha kaalu kaudu on aga kerge määrata tema massi. Keha kaal on ju võrdeline keha massiga.

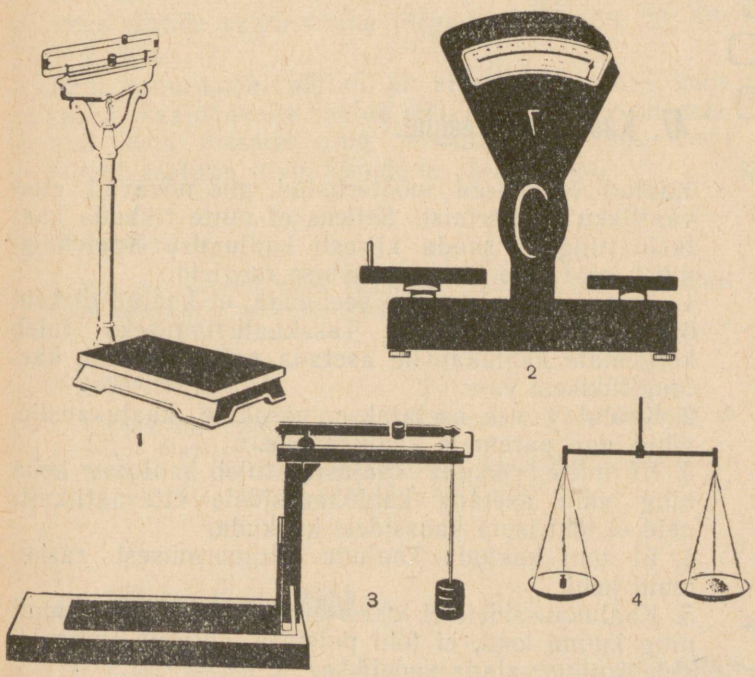
Oletame, et tegime kaalude näidu järgi kindlaks, et keha kaal on 19,6 N. Me teame aga (§ 37), et 1 kg massiga keha kaalub 9,8 N. Järelikult on kaalutud keha mass 2 kg.

Sellisel viisil määratakse praktikas kõige sagedamini keha massi.

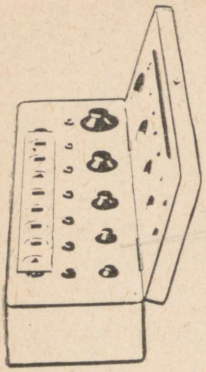
Eriti otstarbekad on massi määramiseks kangkaalud. Kaalude tasakaalu korral on keha kaal võrdne kaalukausil olevate vihtide kaaluga. See tähendab aga, et keha mass on võrdne nende vihtide kogumassiga. Seepärast ongi vihtidele märgitud nende mass.

Küsimused.

1. Kuidas määrata keha raskusjõu abil keha massi? 2. Kui suur on keha mass, kui tema kaal on 2 N? 3. Kirjeldage keha massi määramist kangkaalude abil.



Kaalude liigid: *1* — meditsiinilised kaalud; *2* — letikaalud; *3* — detsimaalkaalud; *4* — koolikaalud (kangkaalud).



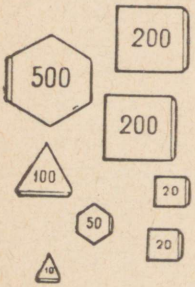
46. Kaaluvihid.

Kaalumine kangkaaludel seisneb keha massi võrdlemises vihtide massiga. Seepärast kuulub kangkaalude juurde kaaluvihtide komplekt. Komplektis (joon. 52) on 12 vihti massiga 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2 ja 1 gramm. Nende kaalud on ligikaudselt 5 N, 2 N, 2N, 1 N, 0,5 N jne. Nende vihtide mitmesuguste kombinatsioonidega võib valida mistahes massi kuni 1110 g (kaasa arvatud). See on kõikide komplektis olevate vihtide kogumass.

Grammist väiksemad vihid on valmistatud alumiiniumplaadikestena massiga 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20 ja 10 mg.

Kirjeldatud kaaluvihte hoitakse spetsiaalses karbis, kus iga vihi jaoks on oma pesa (joon. 52).





Joon. 52.

Küsimused.

1. Milliste massidega vihid kuuluvad vihtide komplekti? 2. Miks ei ole tingimata tarvilik, et vihtide komplekti kuuluksid ka vihid massiga 300 g ja 700 g?

47. Kaalumise reeglid.

Kaalud on täpsed mõõteriistad, mis nõuavad ettevaatlikku käsitsemist. Selleks et mitte rikkuda kaalusid ning et saada kiiresti kaalumise õiget tulemust, on tarvis täita kaalumise reegleid.

1. Enne kaalumist tuleb veenduda, et kaalud oleksid õigesti tasakaalustatud. Tasakaalustamiseks tuleb kergemale kaalukausile asetada paberitükikesi, kartongitükikesi vms.
2. Kaalutav ese asetatakse vasakule kaalukausile, vihid aga paremale kaalukausile.
3. Et mitte rikkuda kaalusid, tuleb kaalutav keha ning vihid asetada kaalukaussidele ettevaatlikult: neid ei tohi lasta kaussidele kukkuda.
4. Ei tohi kaaluda kaalude piirkoormusest raskemaid kehi.
5. Kaalukaussidele ei tohi asetada märgi, määrdunud ning kuumi kehi, ei tohi puistata lahtiselt pulbrilisi aineid ning valada vedelikke.
6. Väikesi kaaluvihte tuleb võtta ainult pintsettidega (joon. 53).



Joon. 53.

Vihtide kiire valimine toimub järgmiselt. Pärast kaalutava keha asetamist vasakule kaalukausile paigutatakse paremale kaalukausile kaaluvihtide komplektist kõige suurem viht. Kui see vajutab kaalukausi alla, paigutatakse ta karpi tagasi, kui ei, siis jäetakse kausile. Niisamuti toimitakse suuruselt järgmise vihiga ja nii edasi seni, kuni saavutatakse kaalude tasakaal.

Pärast kaalutava keha tasakaalustamist loetakse kokku kaalukausil olevate vihtide mass. Edasi paigutatakse kaaluvihid kaalukausilt karpi, kusjuures alatakse kõige väiksematest.

Kui kaalutav keha on väike, ei alustata proovimist kõige suuremast vihist, vaid sellest, mis silma järgi hinnates on kaalutavast kehast veidi suurema massiga. Kui sellest reeglist kinni ei peeta ning püütakse tasakaalu saavutada süsteemitult, siis juhtub sageli, et väikseid vihte ei jätku ning kaalumist tuleb otsast alata.

Vaatleme näidet. Olgu kaalutava eseme mass 63 g ning me asetame kaalukausile vihte järgmises järjekorras: 10; 5; 20; 20; 2; 2; 1. Puudu jääb 3 g, kuid selliseid vihte karbis enam pole. Õigel kaalumisel oleks vihtide paigutamine järgmine: $\overline{100}$; 50; $\overline{20}$; 10; $\overline{5}$; 2; $\overline{2}$; 1.

Joon arvu kohal näitab, et antud vihi mass koos varem kaalukausile jäetud vihtide massiga on suurem keha massist ning seepärast tuli see karpi tagasi asetada ning asendada järgmisega.

Küsimused.

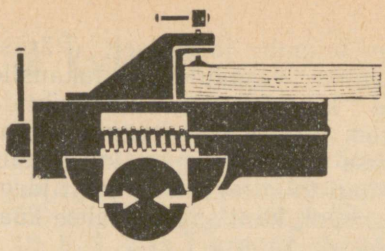
1. Milliseid reegleid tuleb kaalumisel täita? 2. Millisest vihist tuleb keha kaalumisel alustada?

Harjutus 16.

1. Kuidas tuleb vihtide (vt. § 47) komplektist valida vihte, et saada mass 873 g?
2. Kaalumisel tuli panna kaalukausile kaaluvihte kogumassiga 1500 g. Kui suur oli kaalutava keha kaal?

48. Rõhumisjõud. Rõhk.

Me juba teame, et kõik kehad, mis ei lange vabalt, rõhuvad toele jõuga, mida nimetatakse keha kaaluks. Näiteks rõhuvad klassis olevad inimesed ning samuti



Joon. 54.



ka esemed — pingid, lauad, toolid põrandale jõuga, mis on suunatud risti põrandaga.

Õpilane, kes kinnitab rõhknaelaga tahvlile ajalehte, mõjub rõhknaelale käe poolt avaldatava horisontaalse jõuga (risti tahvli pinnaga). Lukksepatöökojas kinnitatakse viilitav või raiutav metallitükk kruustangide vahele (joon. 54). Kruustangide käepideme pööramisel suruvad kruustangide pooled nende vahele asetatud detaili horisontaalsuunaliselt. Kõigis kirjeldatud näidetes mõjusid kehadele rakendatud jõud keha pinnaga risti.

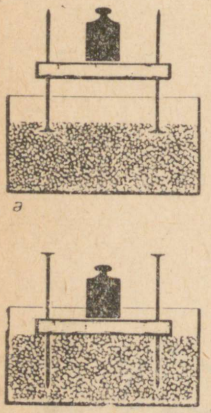


Joon. 55.

Jõudu, mis mõjub kehale tema pinnaga risti, nimetatakse rõhumisjõuks.

Mööda horisontaalset teed liikuv inimene rõhub maapinda oma kaaluga võrdse jõuga. Inimese kaal osutub siin rõhumisjõuks.

Pehmes lumes liigub inimene suure vaevaga, vajudes igal sammul sügavale lumme. Kasutades aga suuski, võib ta lumel liikuda ilma sisse vajumata (joon. 55). Nii suuskadega kui suuskadeta rõhub inimene lumele jõuga, mis on võrdne tema kaaluga. Selle jõu mõju on aga mõlemal juhul erinev, sest erinevad on pinnad, millele inimene rõhub. Suuskade pindala on paarkümmend korda suurem saapataldade pindalast. Järelikult rõhub suuskadel seisev inimene suuskade alla jääva lume igale ruutsentimeetrile kakskümmend korda väiksema jõuga kui ilma suuskadeta.



Joon. 56.

Seega oleneb rõhumisjõu mõju mitte ainult jõu suurusest, vaid ka selle pinna suurusest, millele ta on rakendatud.

Toodud järeldust kinnitavad katsed. Väikese lauakese nurkadesse lüüakse naelad. Nüüd asetatakse klots liivale selliselt, et naelte pead jääksid allapoole ning koormatakse mingi vihiga (joon. 56, *a*). Lauake vajub oma «jalgadega» veidi liiva sisse. Pöörame nüüd lauakese ümber ning asetame liivale naelte teravad otsad (joon. 56, *b*). Sel juhul laua toetus-

pindala väheneb ning sama jõu mõjul vajuvad naelad sügavale liiva sisse.
Sellest, missugune rõhumisjõud mõjub toetuspinna igale pinnaühikule, oleneb rõhumisjõu mõju toetuspinnale.

Toetuspinna ühikule mõjuvat rõhumisjõudu nimetatakse rõhuks.

Rõhu mõõtühikuks võetakse rõhk, mille juures pinnaühikule mõjub üks jõuühik, näiteks 1 njuuton 1 ruutmeetrile või 1 kG 1 cm²-le. Lühidalt kirjutatakse need rõhuühikud järgmiselt: $1\ \frac{N}{m^2}$; $1\ \frac{kG}{cm^2}$.
Rõhu leidmiseks tuleb rõhumisjõud jagada toetuspinna suurusega:

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

$$\text{rõhk} = \frac{\text{rõhumisjõud}}{\text{toetuspindala}} \text{ ehk } p = \frac{F}{S},$$

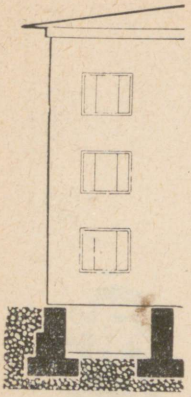
kus p on rõhk, F — rõhumisjõud ja S — toetuspindala.

Näide. Arvutame rõhu, mida avaldab põrandale poiss massiga 45 kg, kui tema saapataldade pindala on 300 cm².

Poisi kaal $P = 45\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{N}{kg} \approx 450$ N. Rõhk, mida poiss avaldab põrandale, on $\frac{450\ N}{0{,}0300\ m^2} = 15\,000\ \frac{N}{m^2}$.

49. Rõhk looduses ja tehnikas.

Raske roomiktraktor, mille kaal on sajad tuhanded njuutonid, avaldab põllule ainult 2—3 korda suuremat rõhku kui 450 N kaaluga poiss. See rõhk on ligikaudu 40 000—50 000 $\frac{N}{m^2}$. Selle põhjuseks on asjaolu, et traktori kaal jaguneb tema roomikute suurele pinnale.
Mida suurem on toe pindala, seda väiksema rõhu põhjustab üks ja seesama rõhumisjõud.
Vastavalt sellele, kas soovitakse saada suurt või väikest rõhku, vähendatakse või suurendatakse toetuspinda.
Mõned näited selle kohta, kuidas tehnikas kasutatakse suurt toetuspinda väga raskete esemete poolt tekitatavate rõhkude vähendamiseks.



Joon. 57

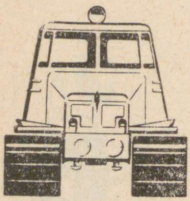
Selleks et maapind suudaks taluda ehitatava maja rõhku, suurendatakse vundamendi alumise osa pindala (joon. 57).

Veoautode kummid tehakse tunduvalt laiemad kui sõiduautodel. Eriti laiu kumme kasutatakse autodel, mis on ette nähtud kõrbeliival sõitmiseks.

Raske traktor, mille roomikute toetuspindala on suur (joon. 58), võib sõita isegi sellises soises kohas, kus ratsanik läbi ei pääse.

Väga raskete seadmete vedamiseks kasutatakse spetsiaalseid paljuteljelisi platvorme (joon. 59).

Hiiglaslikud mullatöömasinad — sammuvad ekskavaatorid, mille kaal on üle 10 tuhande njuutoni, toetuvad metallplaadile (baasile) ja avaldavad seetõttu maapinnale ainult 2 korda suuremat rõhku kui inimene.



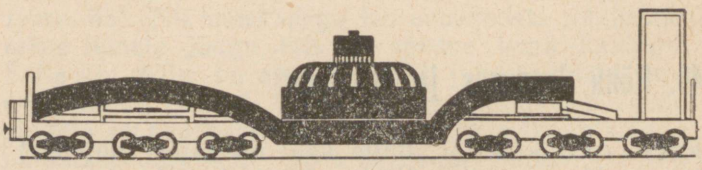
Joon. 58.

Väikese toetuspinna korral võib aga väikese jõuga saada suuri rõhke. Seepärast ihutakse lõikavad ja torkavad tööriistad — noad, käärid, lõiketerad, saed, nõelad jne. hästi teravaks.

Rõhknõela puusse surumisel me mõjume talle umbes 50 N suuruse jõuga. Kuna aga rõhknaela otsa pindala on ainult 0,1 mm², siis puule avaldatav rõhk on

$$\frac{50\ \text{N}}{0{,}0000001\ \text{m}^2} = 500\,000\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

See rõhk on 10 000 korda suurem roomiktraktori poolt pinnasele avaldatavast rõhust.



Joon. 59.



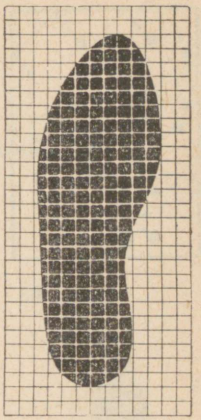
Küsimused.

1. Kuidas saab rõhumisjõu ja selle rakenduspinna suuruse järgi määrata pinnale avaldatavat rõhku? 2. Missugustes ühikutes mõõdetakse rõhku? 3. Miks tehakse põllumajandusmasinate rataste põiad hästi laiad?

Harjutus 17.

1. Vaadelge näpits- ja naelatangide ehitust (joon. 60). Kumma tööriistaga saab sama jõu juures avaldada tangide vahele võetud esemele suuremat rõhku?

2. Miks kinnitatakse kõvakskuivanud põldude äestamisel äkete külge raskeid esemeid?
3. Kas on võimalik 50 N raskuse koormusega saada rõhku $100 \frac{N}{cm^2}$? Kuidas seda teha?
4. Millal avaldab inimene põrandale suuremat rõhku, kas seismisel või käimisel?
5. Roomiktraktori ДТ-54 kaal on 52 000 N ning mõlema roomiku toetuspind 1,24 m^2. Leidke selle traktori rõhk pinnasele ning võrrelge seda rõhuga, mida te avaldate käimisel.
6. Arvutage naela poolt puule avaldatav rõhk, kui naelale mõjub jõud 50 N ning naela teraviku pindala on 0,01 mm^2.



Joon. 61.

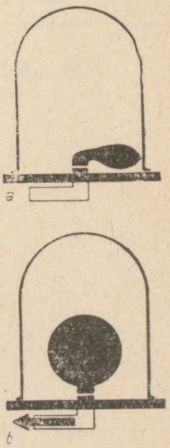
Ülesanne.

1. Teades oma kaalu ning saapatalla pindala, arvutage rõhk, mida te avaldate käimisel.
   Saapatalla pindala määrake järgmiselt: pange jalg ruudulise paberi lehele ning joonistage sellele jala kontuur (joon. 61). Lugege kontuuri sisse jäävate täisruutude arv ning lisage sellele pool poolikute ruutude arvust. Saadud arv korrutage ühe ruudu pindalaga (ruudulise vihiku ühe ruudu pindala on $^1/_4$ cm^2). Nii saate talla pindala.
2. Mõõtke tellise pikkus, laius ja kõrgus. Määrake tellise ruumala. Määrake rõhk, mida avaldab tellis, kui ta seisab kõige suuremal tahul. Milline on rõhk, kui tellis asetada keskmisele tahule? kõige väiksemale tahule?

50. Gaasi rõhk.

Me teame, et erinevalt tahketest kehadest ja vedelikest täidab gaas alati terve anuma. Nii on ühtlaselt gaasiga täidetud terasest gaasiballoon, auto õhukumm või võrkpalli sisekumm. Seejuures avaldab gaas ballooni, kummi või mistahes teise anuma seintele rõhku.

Vaatleme järgmist katset. Õhuhõrenduspumba kupli alla paigutatakse kinnine võrkpallikumm, milles on vähe õhku (joon. 62, *a*). Kummil on ebakorrapärane kuju. Nüüd hakatakse õhku kupli alt välja pumpama. Seejuures paisub pallikumm pidevalt ning võtab kera kuju (joon. 62, *b*).



Joon. 62.

Kuidas seletada seda katset? On teada, et gaasi molekulid liiguvad korrapäratult kiirustega, mis on lähedased püssikuuli kiirusele. Oma teel põrkuvad molekulid teiste molekulide, aga samuti ka selle anuma seinte vastu, kus gaas asub. On tehtud kindlaks, et tavalises kokkusurumata õhus väljendub sekundis anuma seina 1 cm^2 pinnale tulevate molekulide põrgete arv 23-kohalise arvuga. See on mää-



Joon. 63.

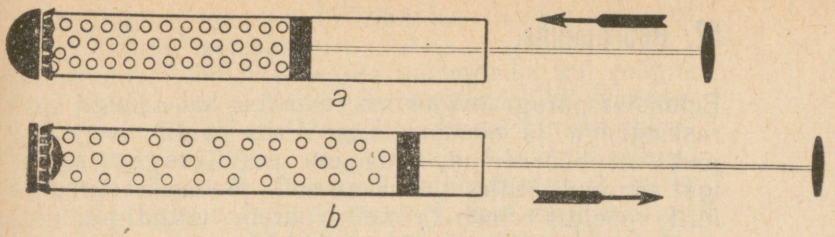
ratu suur arv. Kui näiteks võtta niisama suur arv nisuteri ning paigutada need üksteise kõrvale ritta, siis saame sellise ahela, mis on Maa ja temale lähima tähe vahelisest kaugusest 200 korda pikem.

Vaatleme, mis juhtub iga molekuli löögil vastu anuma seina. Löögi momendil mõjuvad vastastikku kaks keha — molekul ja anuma sein. Selle vastastikuse mõju tulemusena muutub molekuli kiiruse suund, molekul põrkub seinast eemale nagu kummipall (joon. 63). Aga mis toimub seinaga? Sein deformeerub, sest molekuli löök paneb seinaosad liikuma. Üksikute molekulide löögid on nõrgad, kuid kuna molekule on gaasis palju, siis on ka lööke palju. Pidevad löögid tekitavad ühiselt rõhu anuma seinale. Pöördume joonisel 62 kujutatud katse juurde ning uurime seda üksikasjaliselt. Selle katse juures pommitavad õhu molekulid vahetpidamatult õhukummi seinu nii seest- kui ka väljaspoolt. Õhu väljapumpamisel jääb molekulide arv kupli all üha väiksemaks. Suletud õhukummis aga molekulide arv ei muutu. Seepärast on nüüd molekulide löökide arv kummi sisemisele seinale suurem kui välimisele ning kumm paisub. Paisunud õhukummi kera kuju näitab, et gaas rõhub kummi seinu igas suunas ühetugevuselt ehk teisiti öeldes molekulide löökide arv pinna igale ühikule on igas suunas ühesuurune. See on gaasile väga iseloomulik ning on tohutu hulga molekulide kaootilise liikumise tulemus.

51. Millest oleneb gaasi rõhk.

On silmanähtav, et mida sagedamini löövad molekulid vastu anuma seina, seda suuremat rõhku nad seinale avaldavad. Seepärast suurenebki gaasi rõhk, kui tema ruumala vähendada, gaasi hulk aga jätta muutmata. Suureneb ju ruumala vähendamisel gaasi tihedus ning sellega koos sagenevad molekulide löögid vastu seina. Gaasi ruumala suurendamisel väheneb molekulide arv gaasi ühes kuupsentimeetris ning väheneb ka löökide arv vastu seina — gaasi rõhk väheneb. Gaasi rõhu muutumist ruumala suurenemisel ja vähenemisel võib vaadelda ka katseliselt.

Joonisel 64 on kujutatud klaastoru, mille üks ots on suletud õhukese kummikilega. Torusse on paigutatud



Joon. 64.

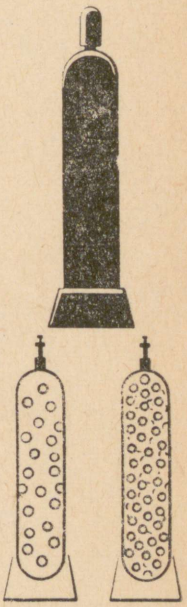
kolb. Kolvi surumisel torusse õhu ruumala torus väheneb, s. o. gaas surutakse kokku (joon. 64, *a*). Kummikile paindub seejuures väljapoole, näidates sellega, et õhu rõhk torus suurenes.

Kui tõmmata kolbi väljapoole, siis õhu ruumala torus suureneb, kummikelme väljapoole paindumine seejuures aga väheneb (joon. 64, *b*). See näitab, et rõhk torus väheneb. Täpselt samasugune olukord esineks ka siis, kui torus oleks õhu asemel mõni teine gaas.

Katsetest nähtub, et gaasi ruumala vähendamisel tema rõhk suureneb, ruumala suurendamisel aga rõhk väheneb.

Aga kuidas muutuks gaasi rõhk siis, kui muutumatu ruumala korral hakkaksid molekulid kiiremini liikuma? Sel korral on löögid seinale sagedamad ning ka kiiruse muutumine on põrkel suurem, järelikult on gaasi rõhk suurem. Me teame aga, et molekulide liikumiskiiruse suurenedes tõuseb temperatuur. Järelikult on ühe ja sama gaasihulga rõhk konstantse ruumala korral seda suurem, mida kõrgem on gaasi temperatuur.

Gaaside hoidmiseks ja transportimiseks surutakse nad tugevasti kokku ning suletakse spetsiaalsetesse terasballoonidesse (joon. 65). Sellistes balloonides hoitakse suruõhku allveelaevades, hapnikku, mida kasutatakse keevitamisel, süsihappegaasi, mida kasutatakse gaseeritud vee valmistamisel jne.



Joon. 65.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata, et gaas avaldab rõhku selle anuma seinale, kuhu ta on paigutatud? 2. Kuidas selgitada, et gaasi rõhk on igas suunas ühesugune? 3. Millest oleneb gaasi rõhu suurus? 4. Kuidas sõltub gaasi rõhk temperatuurist? Põhjendage.

52. Hõõrdumine.

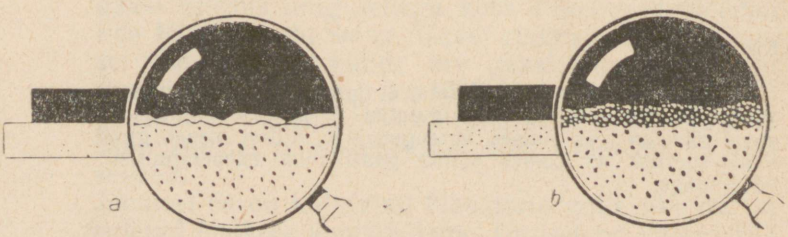
Eelmistes paragrahvides me tuvusime kahe jõuga — raskusjõuga ja elastsusjõuga. Eriti laialt levinud jõuks on hõõrdejõud, mida me praktikas kohtame igal sammul. Milles seisnevad selle jõu iseärasused? Mille poolest erineb ta meile varem tuntud jõududest? Vaatleme vastavaid näiteid.

Mäest laskunud kelgud libisevad inertsi mõjul mööda horisontaalset teed. Kuid nad ei liigu ühtlaselt, vaid nende kiirus väheneb pidevalt. Mõne aja möödudes jäävad kelgud seisma. Poiss libiseb uiskudel mööda jääd (ilma hoogu andmata). Olgu jää kuitahes sile, ikkagi jääb poiss lõpuks seisma. Kui jalgrattur lõpetab pedaalide väntamise, peatub jalgratas õige pea. Näeme, et keha kiirus väheneb pärast liikumapaneva jõu lakkamist järk-järgult kuni nullini. Kõige selle põhjuseks on hõõrdumine, mis esineb teineteise suhtes liikuvate kehade kokkupuutepindade vahel.

Hõõrdumise üheks põhjuseks on kokkupuutuvate pindade krobelisus. Isegi siledana näivatel pindadel on olemas ebatasasused, konarused ja kriimustused. Joonisel 66, *a* on need ebatasasused kujutatud suurendatult. Kui üks keha libiseb või veereb mööda teise keha pinda, haakuvad need ebatasasused üksteise taha ning tekitavad nii liikumist takistava jõu.

Teiseks hõõrdumise põhjuseks on kokkupuutuvate kehade molekulide vastastikune tõmbumine. Kui kehade pinnad on krobelised, jämedalt töödeldud, on hõõrdumine tingitud põhiliselt esimesest põhjusest. Kui aga pinnad on hästi poleeritud, siis on kehade molekulid kokkupuutuvates kohtades üksteisele nii lähedal, et muutub märgatavaks molekulide vastastikune tõmbumine. Ja mida väiksemad on kaugused molekulide vahel, seda suuremad on nendevahelised

Joon. 66.



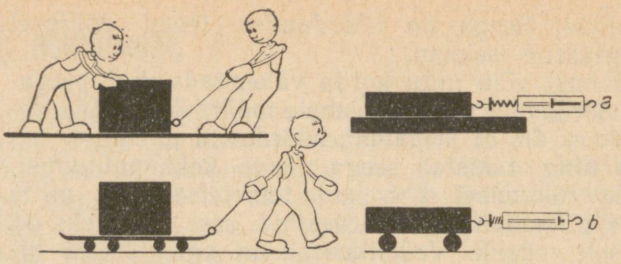
tõmbejõud. Seega on hõõrdumise teisel põhjusel molekulaarne iseloom.
Hõõrdumist võib mitu korda vähendada, kui paigutada hõõrduvate pindade vahele määrdekiht. Määrdekiht (joon. 66, *b*) eemaldab hõõrduvad pinnad teineteisest ning takistab seega nende kokkupuutumist. Kehade liikumisel libisevad teineteise peal mitte kehade pinnad, vaid määrdekihid, sest määrdeks on tavaliselt vedelik. Vedelikuosad on aga rohkem liikuvad ning hõõrdumine vedelikukihtide vahel on väiksem kui tahkete pindade vahel. Väike hõõrdumine uiskude ja jää vahel seletub samuti määrimisega. Nimelt tekib jää ja uisuraua vahele õhuke veekiht, mis etendabki määrde osa.
Tehnikas kasutatakse määrdeks mitmesuguseid õlisid, mõnikord kasutatakse aga määrdeainena grafiiti.
Olenevalt hõõrduvate kehade vastastikusest mõjust, räägitakse mitmest hõõrdumise liigist. Ühe keha libisemisel mööda teist räägitakse liugehõõrdumisest. Eespool oli juttu mõnest sellisest hõõrdumisest.
Kui aga üks keha ei libise, vaid veereb teist keha mööda, siis nimetatakse selle juures esinevat hõõrdumist veerehõõrdumiseks. Veerehõõrdumisega on tegemist vaguniratastе ja autoratastе veeremisel, ümmarguste palkide või vaatide veeretamisel jne.

Küsimused.

1. Missugused teile tuttavad vaatlused ja katsed näitavad hõõrdumise olemasolu? 2. Mis on hõõrdumise põhjuseks? 3. Kumb hõõrdumise põhjustest on enamiku praktikas esinevate hõõrdumisnähtuste juures peamine? 4. Kuidas mõjub hõõrdumisele määrimine? Selgitage seda. 5. Milliseid hõõrdumise liike te teate? 6. Millal räägitakse liugehõõrdumisest? 7. Millist hõõrdumist nimetatakse veerehõõrdumiseks?

53. Hõõrdejõud.

Hõõrdumise korral keha liikumise kiirus väheneb, see aga tähendab, et kehale mõjub jõud, mis on vastupidine liikumise suunaga.
Jõudu, mis tekib ühe keha liikumisel mööda teise keha pinda ning on vastupidine liikumise suunaga, nimetatakse hõõrdejõuks.
Hõõrdejõudu võib mõõta. Selleks et mõõta näiteks hõõrdejõudu, mis tekib puitklotsi libisemisel mööda



Joon. 67.

lauda, on tarvis kinnitada klotsi külge dünamomeeter (joon. 67, *a*) ning vedada seda klotsi ühtlaselt mööda lauda. Mida näitab seejuures dünamomeeter? Klotsile mõjub kaks jõudu — dünamomeetri vedru elastsusjõud, mis on suunatud paremale, ning hõõrdejõud, mis on suunatud vasakule. Kuna klots liigub ühtlaselt, siis on nende kahe jõu resultantjõud null ehk teiste sõnadega — jõud on arvuliselt ühesuurused. Seepärast võib öelda, et antud olukorras näitab dünamomeeter hõõrdejõu suurust.

Seega saame me ühtlasel liikumisel veojõu mõõtmisega kindlaks teha hõõrdejõu suuruse.

Kui asetada klotsile mingi koormus, näiteks kaaluviht, ja mõõta eelnevalt kirjeldatud viisil hõõrdejõudu, siis selgub, et see on nüüd suurem. Mida raskem on horisontaalsel pinnal liikuv keha, seda suurem hõõrdejõud seejuures tekib.

Kui panna klotsi alla kaks ümmargust pulgakest, siis võib mõõta hõõrdejõudu, mis tekib veeremisel (joon. 67, *b*). See osutub väiksemaks hõõrdejõust libisemisel. Võib teha veel ühe lihtsa katse. Paigutame kalduolevale raamatule ümmarguse pliiatsi esialgu piki kallakut. Pliiats jääb raamatule lebama. Kui aga asetada pliiats raamatule kaldega risti, siis veereb ta mööda raamatut alla.

Kõik kirjeldatud katsed näitavad, et võrdsete koormuste korral on hõõrdejõud veeremisel alati väiksem kui libisemisel.

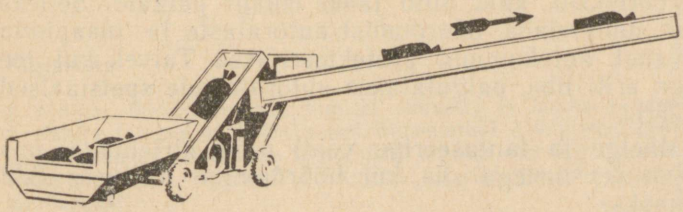
Küsimused.

1. Missugust jõudu nimetatakse hõõrdejõuks? 2. Kuidas saab hõõrdejõudu mõõta? 3. Kuidas liigub keha, kui veojõud on hõõrdejõuga võrdne? 4. Kuidas näidata, et liikumisel mööda horisontaalset pinda oleneb hõõrdejõud keha kaalust? 5. Kuidas näidata katseliselt, et võrdsete raskuste korral on hõõrdejõud veeremisel väiksem kui libisemisel?

54. Paigaloleku hõõrdumine.

Täiendavaks lugemiseks.

Me tutvusime hõõrdejõuga, mis tekib ühe keha liikumisel mööda teise keha pinda. Kas võib aga rääkida hõõrdumisest kahe kokkupuutuva tahke keha vahel ka siis, kui need kehad seisavad paigal?
Kui keha on kaldpinnal paigal, siis hoiab teda sellises asendis hõõrdejõud. Tõepoolest, kui hõõrdejõudu ei oleks, siis veereks keha raskusjõu mõjul kaldpinda mööda alla. Keerulisem on vastata esitatud küsimusele siis, kui keha seisab paigal horisontaalsel tasapinnal. Seisku näiteks põrandal tool. Proovime seda edasi nihutada. Selleks tuleb toolile mõjuda mingi jõuga. Kui tooli tõugata nõrgalt, siis ta liikuma ei hakka. Miks? Toolile mõjuv jõud tasakaalustatakse sel juhul põranda ja tooli jalgade vahelise hõõrdejõuga. Kuna see jõud takistab kehade liikumahakkamist, siis on lepitud kokku nimetada seda paigaloleku hõõrdejõuks.



Joon. 68.

Paigaloleku hõõrdejõud on suunatud alati vastupidiselt liikumisele, mis võiks tekkida. Järelikult ilmneb paigaloleku hõõrdejõud siis, kui keha tahetakse paigalolekust välja viia. Paigaloleku hõõrdejõu suurus on võrdne selle jõu suurusega, mis keha paigalolekust välja viib.
Joonisel 68 on kujutatud transportöör, mille abil tõstetakse puuvillakotte. Kotid seisavad transportöörlindil paigaloleku hõõrdejõu mõjul.

Küsimused.

1. Keha seisab kaldpinnal paigal. Missuguse jõu mõjul see toimub? 2. Missugust jõudu nimetatakse paigaloleku hõõrdejõuks? 3. Kui suur on paigaloleku hõõrdejõud?

55. Hõõrdumine looduses ja tehnikas.

Täiendavaks lugemiseks.

Looduses ja tehnikas on hõõrdumisel suur tähtsus. Hõõrdumine on kasulik, kuid võib olla ka kahjulik. Kus hõõrdumine on kasulik, seal püütakse teda suurendada, kus aga kahjulik, seal vähendada. Vaatleme mõningaid näiteid.

Ilma hõõrdumiseta ei suudaks ei inimesed ega loomad liikuda. Tõepoolest, käimisel me tõukame ennast jalgade abil maapinnast eemale. Kui aga hõõrdumine saapataldade ja maapinna vahel on väike, näiteks kiilasjää korral, siis on maapinnalt äratõukamine väga raske, jalad libisevad. Selleks et jalakäijad ei libiseks, riputatakse linnades ja asulates kõnniteedele liiva. See suurendab hõõrdumist saapataldade ja jäätunud pinna vahel.

Kui ei oleks hõõrdumist, kukuksid kõik esemed käest maha.

Hõõrdejõud peatab pidurdamisel auto. Ilma hõõrdumiseta ei suudaks aga auto liikumagi hakata. Rattad pöörleksid, kuid auto jääks ikkagi paigale. Selleks et suurendada hõõrdumist autorataste ja maapinna vahel, autokummid protekteeritakse. Talvel, kui tee on eriti libe, paigutatakse autoratastele spetsiaalsed ketid.

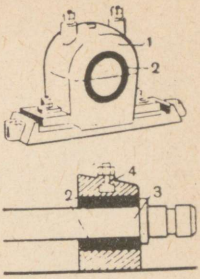
Mõelge ja fantaseerige veidi ning kirjeldage, mis juhtuks meiega siis, kui hõõrdumine looduses äkki kaoks?

Me juba rääkisime, et paljudel juhtudel on hõõrdumine kahjulik ning selle vastu tuleb võidelda. Kõikide masinate juures kuumenevad ja kuluvad hõõrdumise tulemusena kõik liikuvad osad. Hõõrdumise vähendamiseks tehakse kokkupuutuvad pinnad siledaks ning nende vahele juhitakse määrdekiht. Selleks et vähendada masinate ja tööpinkide pöörlevate võllide hõõrdumist, kinnitatakse need laagritele. Lahtimonteeritava laagri seda osa, mis puutub vahetult kokku pöörleva võlliga, nimetatakse laagriliuaks. Laagriliuad tehakse kas pronksist, malmist või terasest. Laagriliua ja pöörleva võlli vahelise hõõrdumise vältimiseks kaetakse laagriliudade sisepinnad erilise materjaliga, kõige sagedamini babiidiga[1]. Laagriliudu tuleb pidevalt määrida.

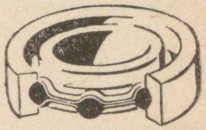
Joonisel 69 on kujutatud laager, kus võll *3* pöörle-

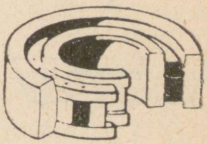
[1] Babiit — plii, tina ja teiste metallide sulam.

misel libiseb mööda laagriliua *2* pinda. Selliseid laagreid nimetatakse liugelaagriteks.
Me teame, et ühesuguse koormuse korral on veerehõõrdumine tunduvalt väiksem kui liugehõõrdumine. Sellel nähtusel põhineb kuul- ja rull-laagrite kasutamine. Nimetatud laagrites ei libise pöörlev võll paigalseisval laagriliual, vaid veereb mööda seda teraskuulidel või -rullidel.
Lihtsate kuul- ja rull-laagrite ehitus on kujutatud joonistel 70 ja 71. Laagri sisemine rõngas, mis on valmistatud vastupidavast terasest, kinnitatakse liikumatult võllile. Laagri välimine rõngas aga kinnitatakse masina korpuse külge. Võlli pöörlemisel veereb sisemine rõngas kuulidel või rullidel, mis asuvad sisemise ja välimise rõnga vahel.
Liugelaagrite asendamine kuul- või rull-laagritega võimaldab vähendada hõõrdejõudu 20—30 korda.
Kuul- ja rull-laagreid kasutatakse mitmesugustes masinates: autodes, treipinkides, elektrimootorites, jalgratastes ja mujal. Ilma nende laagriteta pole võimalik ette kujutada kaasaegset tööstust ning transporti.



Joon. 69. Liugelaager: *1* — laagri kere; *2* — laagriliud; *3* — laagris libisev võll; *4* — määrimisava.


Joon. 70.


Joon. 71.

Küsimused.

1. Milline tähtsus on hõõrdumisel inimeste ja loomade elus? 2. Milline tähtsus on hõõrdumisel transpordis? 3. Milliseid hõõrdumise vähendamise viise te tunnete? 4. Mis eesmärgil kasutatakse masinates laagreid? 5. Kuidas on ehitatud liugelaager? kuullaager?

56. Molekulidevahelised jõud.

Me teame, et molekulid, millest koosnevad kõik kehad, on üksteisest eraldatud vahemikega. Molekulid liiguvad pidevalt ja kaootiliselt. Seejuures aga ei lagune näiteks tahked kehad molekulideks, hoopis vastupidi, nende kehade purustamiseks on vaja rakendada küllalt suurt jõudu. Tahkete kehade vastupanu jagamisele tõendab seda, et on olemas molekulidevahelised tõmbejõud.
Kui me tõmbame katki niidi või nööri, murrame katki pulga või teritame pliiatsi, siis ületame seejuures molekulidevahelisi tõmbejõude.
Kõik molekulid tõmbavad üksteist jõududega, mis mõjuvad ainult väga väikeste kauguste juures.

Need kaugused on võrreldavad molekulide endi mõõtmetega. Kui asetada teineteise vastu purustatud klaasi tükid, siis need ei jää teineteise külge. Vaatamata sellele, et vahemaa klaasitükkide vahel on väga väike, on see molekulide mõjupiirkonnaga võrreldes küllalt suur. Kui klaasitükke soojendada kuni sulamiseni, siis võib neid niivõrd kokku suruda, et pääsevad mõjule molekulidevahelised tõmbejõud ning klaasitükid liituvad.

Tahketes kehades, kus molekulid on paigutatud tihedalt, on molekulidevahelised jõud suured. Seepärast on tahket keha raske painutada, purustada või venitada.

Joonisel 12 on näidatud, millist koormust võivad kanda kaks värskelt lõigatud pindadega vastamisi surutud pliitükki.

Tahket keha on raske kokku suruda. Samuti on raske kokku suruda ka vedelikku. Miks? Mis seda takistab? Nimelt see, et *molekulide vahel eksisteerivad ka tõukejõud.* Need jõud takistavadki keha kokkusurumist. Tõukejõud ilmnevad aga veel väiksemate vahemaade korral kui tõmbejõud. Vaatleme, kuidas mõjutavad teineteist kaks molekuli, kui nad pidevalt teineteisele lähenevad. Alguses, suhteliselt suure vahemaa korral molekulidevaheline mõju praktiliselt puudub. Molekulide lähenemisel tekivad nende vahel tõmbejõud ja tõukejõud. Seejuures on aga esimene mitmekordselt suurem. Molekulide edasisel lähendamisel hakkab suurenema tõukejõud. Mingi molekulidevahelise kauguse juures saavad need jõud võrdseteks ning seega tasakaalustavad teineteist. Molekulide edasisel lähendamisel saab tõukejõud tõmbejõust suuremaks.

Seega saab molekulidevaheliste tõukejõudude olemasoluga selgitada, miks tahkete kehade ja vedelike kokkusurumine on raske.

Gaaside molekulid on üksteisest niivõrd kaugel, et nendevahelised mõjud on väikesed. Paljudel juhtudel võib öelda, et gaaside molekulid üldse ei tõmba üksteist. Seepärast täidavad gaasid kogu ruumi, kuhu nad paigutatakse. Gaaside molekulid lendavad kõikides suundades laiali, sest vastastikused tõmbejõud ei hoia neid kinni.

Küsimused.

1. Millega seletada, et kehad ei jagune üksikuteks molekulideks? 2. Mida võib öelda nende vahemaade kohta, mille juures hakkavad mõjuma molekulidevahelised tõmbejõud? 3. Miks täi-

dab gaas kogu selle ruumi, kuhu ta paigutatakse? 4. Kuidas näidata, et vedeliku molekulide vahel on olemas külgetõmme? 5. Miks on tahked kehad väga tugevad?

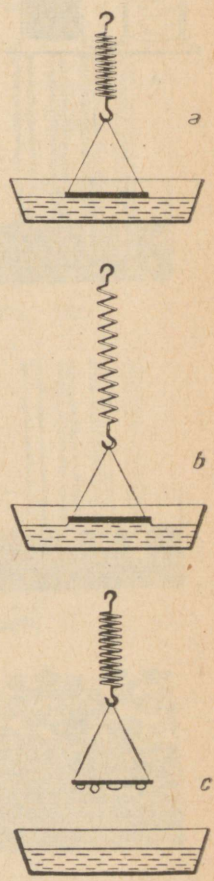
57. Märgamine.

Molekulidevahelise tõmbejõuga võib selgitada ka sellist praktikas sageli esinevat nähtust nagu tahke keha *märgamine* vedeliku poolt.

Tutvume selle nähtusega katseliselt.

Nõrga vedru otsa riputatakse horisontaalselt klaasplaat. Klaasplaadi raskuse mõjul venib vedru välja. Klaasplaadi alla asetatakse anum veega selliselt, et klaasplaat puutuks veepinda (joon. 72, *a*). Pärast seda lastakse anumat aeglaselt allapoole. Seejuures ei tule klaasplaat veepinnalt lahti, vaid liigub koos sellega allapoole ning venitab vedru veel rohkem välja (joon. 72, *b*). Vedru väljavenitatuse järgi võib hinnata molekulidevahelist tõmbejõudu, mis hoiab plaati veepinnal kinni.

Kui vedru elastsusjõud saab küllalt suureks molekulaarse tõmbejõu ületamiseks, siis kisub vedru plaadi veepinnalt lahti (joon. 72, *c*). Lahtikistud klaasplaadi pind on seejuures märg. Lahtikiskumine ei toimunud mitte vee- ja klaasimolekulide kokkupuutekohtades, vaid veemolekulide omavahelistes kokkupuutekohtades. Me nagu ei rebinud klaasplaati veepinnalt, vaid klaasplaadile kleepunud veekihi ülejäänud veemassilt. Seepärast jääb vette kastetud klaasplaadile õhuke veekiht. Teisiti öeldes — vesi märgab klaasplaati.

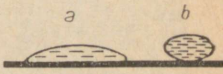


Joon. 72.

Vesi märgab ka puud, nahka ning paljusid teisi aineid.

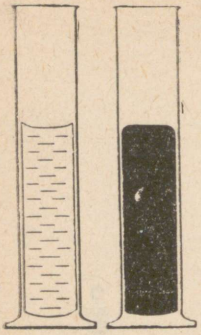
Kui kasta vette vaha- või parafiinplaat, siis jääb plaat kuivaks. Järelikult vesi ei märga vaha ja parafiini. Vesi ei märga samuti kõiki rasvaseid pindu. Elavhõbe ei märga malmi (elavhõbedat hoitakse harilikult malmpudelites), klaasi, puud ja paljusid teisi aineid.

Kui tilk mittemärgavat vedelikku asetada tahke keha siledale pinnale, siis võtab vedelik kera kuju (joon. 73, *b*). Märgava vedeliku tilk aga valgub mööda pinda laiali (joon. 73, *a*). Seega saab märgavaid ja mittemärgavaid vedelikke üksteisest eristada tahke keha pinnale paigutatud tilkade kuju järgi.



Joon. 73.

Kui anumas asub vedelik, mis anuma seinu märgab,



Joon. 74.

näiteks vesi klaasnõus, siis näeme, et vedeliku pind sellise anuma seina ääres tõuseb veidi ülespoole (joon. 74, *a*). Kui vedelik aga anuma seinu ei märga, siis on vedeliku pind seina ääres natuke allapoole langenud (joon. 74, *b*). Selline nähtus on eriti märgatav peenikestes torudes.

Märgamist ja mittemärgamist arvestatakse ja kasutatakse praktikas. Me kuivatame end rätikuga, mida vesi märgab. Me kirjutame paberile tindiga, mis märgab paberit, kasutades selleks metallist sulge, mida tint samuti märgab.

Veelinnud määrivad noka abil oma sulgi rasvaga, mida eritab spetsiaalne nääre. Seepärast ei märga vesi linnu sulgi ning lind ei saa märjaks ega upu.

Küsimused.

1. Milles seisneb tahkete kehade märgamine ja mittemärgamine vedelike poolt? 2. Kas saab vedelikutilga kuju järgi öelda, kas vedelik märgab tahket keha või mitte? 3. Missuguse kujuga on kitsas torus märgava vedeliku pind?

Ülesanne.

Tilgutage vett mitmesuguste tahkete kehade pindadele: vahariidele, taimede lehtedele, puu- ja metallitükkidele. Tehke tilga kuju järgi kindlaks, milliseid kehi vesi märgab ja milliseid mitte. Tehke sama katse, kuid võtke vee asemel mingi õli. Tehke katsest vastav järeldus ning joonistage katsetulemused üles.

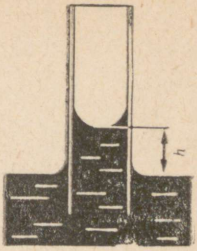
Harjutus 18.

1. Selgitage, miks ei saa masinaosade määrimiseks kasutada mittemärgavat vedelikku.
2. Kas tohib valada metalli niisugustesse vormidesse, mida vedel metall märgab?
3. Kuidas selgitada rahvakeelset väljendit «nagu hane selga vesi»?
4. Kuidas arvestatakse märgamisnähtusega igapäevases elus?

58. Kapillaarsus.

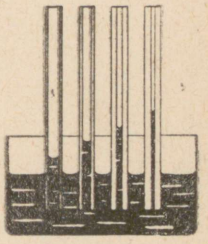
Nagu teame, võib tahke keha pinnal lebava tilga kuju järgi kindlaks teha, kas vedelik keha märgab või mitte (joon. 73, *a, b*). Sama võib teada saada, kui vaadelda anumasse valatud vedeliku pinna kuju (joon. 74, *a, b*).

Vaatleme veel ühte nähtust, mis võimaldab teineteisest eraldada anuma seina märgavat ja mittemärgavat vedelikku. Selleks nähtuseks on *kapillaarsus*.
Peenike klaastoru asetatakse märgavasse vedelikku, nimelt vette. Vesi tõuseb toru mööda üles (joon. 75). Mida kõrgemale tõuseb vedelik torus, seda raskemaks muutub vedelikusammas ning mingil kõrgusel *h* vedeliku tõusmine torus lakkab.

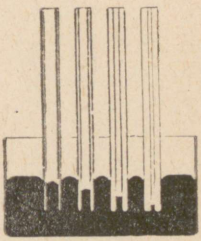


Joon. 75.

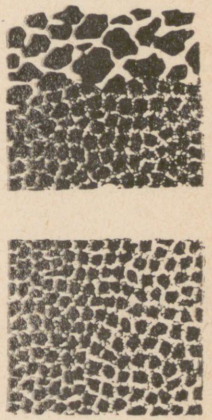
Kui asetada vette erinevate diameetritega torud, siis selgub, et mida peenem on toru, seda kõrgemale tõuseb temas vesi (joon. 76).
Peeni torusid, milles märgav vedelik tõuseb tunduvalt kõrgemale laias anumas olevast vedelikunivoost, nimetatakse juus- ehk kapillaartorudeks (ladinakeelsest sõnast *capillaris,* mis tähendab juus või jõhv).


Joon. 76.

Kui kapillaartoru asetada mittemärgavasse vedelikku, näiteks klaastoru elavhõbedaga täidetud anumasse, siis näeme, et elavhõbeda nivoo torus on madalamal vedeliku nivoost anumas (joon. 77).
Mõned meid ümbritsevad kehad on poorse ehitusega, neid läbib suur hulk silmale sageli nähtamatuid kanaleid. Need kanalid võivad olla ebaühtlased ja kõverad, kuid nende diameetrid on väga väikesed ning seetõttu toimivad nad kapillaaridena. Sellisteks poorseteks kehadeks on puit, paber, nahk, pinnas, mitmesugused ehitusmaterjalid jne. Selliste kehadega kokkupuutuv vesi ja teised märgavad vedelikud imenduvad nendesse kapillaaridesse. Taolisteks näideteks on tindi imbumine kuivatuspaberisse, petrooleumi tõusmine mööda tahti, vee tõusmine pinnases jne.


Joon. 77.

Kapillaarsusel (joon. 78) on väga suur tähtsus niiskuse säilitamisel ja ümberpaigutamisel pinnases. Kuival ajal pinnas kuivab ning sellesse tekivad peenikesed kanalid — kapillaarid, mida mööda niiskus sügavamalt üles tungib. See põhjustab pinnase veel suurema kuivamise. Niiskuse säilitamiseks tuleb pinnast kobestada. Kobestamisega lõhutakse kapillaarid pinnases ning takistatakse sellega niiskuse tõusmist pinnale. Kui aga pinnas on väga märg ning seda on tarvis kuivatada, siis rullitakse see üle. Rullimisel pinnaseosakeste vahed vähenevad ning niiskus tõuseb kergemini pinnale.
Eriti tähtis on kapillaarsus bioloogias. Enamikku taimseid ja loomseid kudesid läbib tohutu arv kanaleid, mis kujutavad endast kapillaare. Vedelike liikumisega nendes kanalites seletub näiteks toitemahlade jaotumine taime juurtest ladvani.


Joon. 78.

Küsimused.

1. Millist nähtust nimetatakse kapillaarsuseks? 2. Kummas kapillaartorus tõuseb vesi kõrgemale, kas peenemas või jämedamas? Miks? 3. Tooge näiteid kapillaarsuse kasutamisest igapäevases elus.

Harjutus 19.

1. Miks on märjale lauale pandud suhkrutükk varsti veest läbi imbunud?
2. Miks ei tohi tahvli serval teineteise vastas hoida kriiditükki ja märga tahvlilappi?
3. Miks ei või petrooleuminõu sulgeda korgiga, mille ümber on pandud riidetükk?
4. Miks tehakse terassulgedesse lõhe?

RÕHK VEDELIKES JA GAASIDES. (HÜDRO- JA AEROSTAATIKA[1].)

59. Vedelike ja gaaside liikumine ning tasakaal.

Vedelikud ja gaasid võivad olla paigal (tasakaalus) või siis liikuda. Nii näiteks on tasakaalus gaas, mis asub terasballoonis, auto ja jalgratta sisekummis või üldse suletud anumas. Vedelikud on tsisternides (piim, bensiin, vesi), paakides, pudelites samuti tasakaalus.

Kui me räägime, et vedelik või gaas on tasakaalus, tähendab see, et gaas või vedelik kogu oma massiga ei liigu, et nendes ei ole osade märgatavat liikumist ega ka voolamist. Silmaga mittenähtav molekulaarne liikumine taolist nähtavat paigalolekut ehk tasakaalu ei sega.

Jõgedes ning veevärgitorudes vesi liigub ehk voolab. Torujuhtmeid mööda voolab nafta (nii voolab mööda torujuhet «Družba» nõukogude nafta Volga äärest sotsialismimaadesse — Poolasse, Tšehhoslovakkiasse, Ungarisse ja Saksa Demokraatlikku Vabariiki). Torujuhtmeid mööda liigub gaas Saraatovi oblastist Moskvasse ja teistesse linnadesse. Uraali linnu varustatakse gaasiga, mis saadakse torujuhtmete kaudu Buhhaarast.

Meid huvitavad mõlemad nähtused — nii vedelike ja gaaside liikumine kui ka nende tasakaal.

Käesolevas peatükis vaadeldakse tingimusi, mille juures vedelikud ja gaasid on t a s a k a a l u s.

Õpetust vedelike ja gaaside tasakaalust ning samuti vedelikku või gaasi asetatud kehade tasakaalust nimetatakse *hüdro- ja aerostaatikaks.*

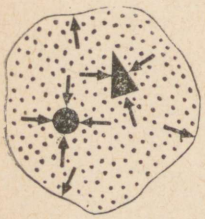
---

[1] Hüdro — kreekakeelsest sõnast *hydōr* — vesi; aero — kreekakeelsest sõnast *aēr* — õhk; staatika — kreekakeelsest sõnast *statos* — seisev.

Küsimused.

1. Tooge näiteid vedelike ja gaaside tasakaalu kohta. 2. Millal on vedelik või gaas tasakaalus? 3. Tooge näiteid vedelike ja gaaside liikumise kohta. 4. Kuidas nimetatakse õpetust vedelike ja gaaside tasakaalust?

60. Rõhk vedelikes ja gaasides. Pascali seadus.



Joon. 79.

Vaatleme tingimusi, mille juures vedelik või gaas on tasakaalus.

Joonisel 79 on kujutatud nõu, milles asub gaas. Igalt poolt puutub gaas kokku anuma seinte sisepinnaga.

Kui ei oleks anuma seinu ning puuduks Maa külgetõmme, siis lendaksid gaasi molekulid igas suunas laiali. Anuma seinad takistavad nende laialilendamist. Igast suunast seinte poolt kokkusurutav gaas avaldab omakorda rõhku anuma seintele ning samuti igale kehale, mis asub selles gaasis. Kuna gaasi molekulid liiguvad täiesti korrapäratult, siis on rõhk gaasis igal pool ühesugune. Tuletame meelde, et rõhuks nimetatakse rõhumisjõu ja selle mõju all oleva pinna suhet. Rõhk on alati risti selle pinnaga, millele ta mõjub.



Pascal, Blaise (1623—1662) — nimekas prantsuse teadlane. Ta avastas ja uuris gaaside ja vedelike tähtsamaid omadusi. Põhilist seadust, millest tavaliselt alustatakse vedelike ja gaaside tundmaõppimist, nimetatakse tema nime järgi Pascali seaduseks. Suure tähtsusega on ka Pascali poolt tehtud katsed atmosfääri olemasolu tõestamiseks.

Kas tähendab see, et gaasi paigutatud kahele mistahes pinnale (plaadile) mõjuvad ühesuurused rõhumisjõud? Gaasis asuvatele plaatidele mõjuvad ainult siis ühesugused rõhumisjõud, kui nende pindalad on võrdsed. Kui näiteks ühe plaadi pindala on teisest 3 korda suurem, siis on ka rõhumisjõud sellele 3 korda suurem. Kuid rõhumisjõud ja pinna suhe (s. o. rõhk) on mõlema plaadi juures ühesugune.

Kui me räägime, et rõhk gaasis on igal pool ühesugune, siis tähendab see ka seda, et rõhk gaasi asetatud plaadile on igast suunast ühesugune. Seepärast ei saa gaasi rõhumisjõud, mis plaadile mõjuvad, panna plaati liikuma, vaid viimane on koos gaasiga tasakaalus.

Täpselt samasugune on olukord ka vedelikes, sest vedelike molekulidel on analoogiliselt gaaside molekulidega omadus vabalt liikuda.

Raskusjõu puudumisel oleks kokkusurutud vedeliku rõhk igas punktis ühesugune. Mingisugune plaadike asetseks sellises vedelikus, mistahes kohas tasakaalus, sest rõhk sellele oleks igast suunast ühe-

sugune. Jões või veevärgitorus hakkaks selline plaadike liikuma suurema rõhuga kohast sellisesse kohta, kus rõhk on väiksem.

Raskusjõu puudumisel on tasakaalus oleva gaasi või vedeliku rõhk kõikides punktides ühesugune.

Seda lauset nimetatakse **Pascali seaduseks** (prantsuse õpetlase P a s c a l i nime järgi, kes uuris gaaside ja vedelike omadusi tasakaaluolekus).

Nagu me nägime, lähtub see seadus asjaolust, et vedeliku või gaasi molekulidel on üksteise suhtes suur liikumisvabadus.

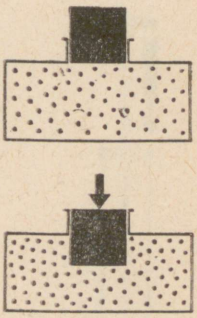
Küsimused.

1. Kuidas seletada, et suletud nõus asuv gaas avaldab rõhku anuma seintele? 2. Mida võib öelda rõhu kohta tasakaalus oleva gaasi või vedeliku mitmesugustes punktides? 3. Kuidas on sõnastatud Pascali seadus?

61. Rõhu edasiandmine vedelikes ja gaasides.

Me nägime, et raskusjõu puudumise korral on rõhk paigaloleva vedeliku (või gaasi) kõikides punktides ühesugune (Pascali seadus).

Vaatleme nüüd anumat, mis on täidetud kas gaasi või vedelikuga ning suletud kolviga (joon. 80, *a*). Punktikesed anumas märgivad sinna paigutatud aine molekule.



Joon. 80.

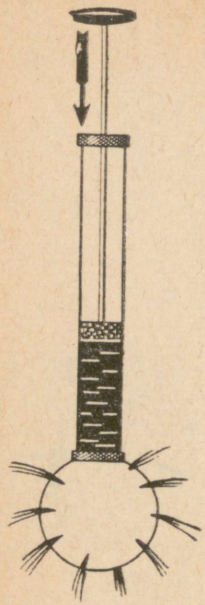
Rakendades kolvile mingisugust jõudu sunnime kolbi liikuma veidi anuma sisse ning avaldama seejuures rõhku vahetult kolvi all olevatele molekulidele.

Kuna molekulidel on vabadus liikuda, hakkavad nad kolvi alt ümber paiknema teiste molekulide hulka. Osakeste paigutus anumas muutub eelmisega võrreldes tihedamaks. Tänu osakeste liikuvusele paigutuvad nad aga ka nüüd ühtlaselt terve anuma ulatuses (joon. 80, *b*).

Seega mõjub täiendav rõhk ühtlaselt kõigile vedeliku või gaasi osakestele.

Kui näiteks rõhk vahetult kolvi all suureneb $1\frac{N}{m^2}$ võrra, siis muutub rõhk vedeliku kõikides punktides esialgsega võrreldes niisama palju suuremaks. Niisama palju suureneb ka rõhk anuma seintele.

Seepärast väljendatakse Pascali seadust mõnikord järgmiselt:



Joon. 81.

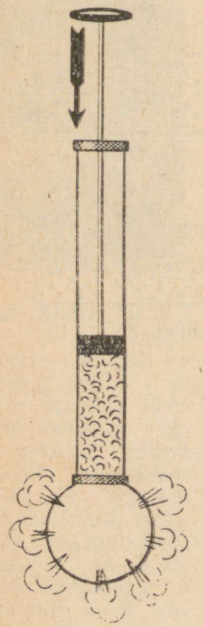
kinnises anumas olevale vedelikule või gaasile avaldatav rõhk kandub muutumatult edasi vedeliku või gaasi igasse punkti.

Pascali seadust, mis teatavasti on järeldus vedelike ja gaaside molekulide vabast liikumisest, on kerge katseliselt kontrollida.

Joonisel 81 on kujutatud õõnes kera, millesse on mitmesugustesse kohtadesse puuritud radiaalsed (kera keskpunkti suunatud) augud. Keraga on ühendatud toru, milles liigub kolb. Kui täita kera veega ning lükata kolbi sissepoole, siis purskub vesi kõikidest kerasse puuritud aukudest.

Kirjeldatud katses surub kolb torus olevale veele. Kolvi all olevad vee molekulid annavad selle rõhu edasi teistele, sügavamal olevatele molekulidele. Nii antakse rõhk edasi kõigile keras olevatele vee molekulidele. Selle tulemusena surutakse osa vett kerast jugadena välja. Viimased purskuvad kõikidest aukudest. Kerast väljuvad veejoad risti kera pinnaga.

Kui täita kera suitsuga ja suruda kolvile, siis väljuvad kera kõikidest aukudest suitsujoad (joon. 82).



Joon. 82.

Küsimused.

1. Tuletage meelde, kuidas annavad rõhku edasi tahked kehad? 2. Kuidas annavad vedelikud ja gaasid rõhku edasi? 3. Kuidas selgitada seda, et erinevalt tahketest kehadest annavad vedelikud ja gaasid rõhku edasi igas suunas ühteviisi? 4. Kuidas võib vedelikes ja gaasides rõhu edasiandmise alusel sõnastada Pascali seaduse? 5. Kuidas saab katseliselt näidata rõhu edasiandmist vedelikes ja gaasides?

Harjutus 20.

1. Kui presendist voolik ei ole veega täidetud, on tal tasase lindi kuju. Millise kuju võtab see voolik, kui ta täitub veega? Vaadelge seda ning selgitage nähtuse põhjus.
2. Uurige rõhu edasiandmist teralises või pulbrilises materjalis. Selleks kallake paberist kotti liiva (või herneid) ning suruge siis ülalt käega tugevasti kotile. Mis juhtub? Kas on siin midagi ühist rõhu edasiandmisega vedelikes ja gaasides?
3. Pudeli valmistamiseks puhutakse läbi toru õhku. Selle tulemusena võtab toru otsas olev sula klaas pudeli kuju (joon. 83). Missugust füüsikalist nähtust selle protsessi juures kasutatakse?
4. Kuidas selgitada, miks võtab jalgpallikumm kera kuju, kui sellesse õhku pumbata?
5. Valmistage seebivett ning puhuge klaastoru abil sellest seebimulle. Millise kujuga need mullid on? Miks?

62. Hüdrauliline masin.



Joon. 83. Pudeli valmistamine: *1* — toru; *2* — klaas; *3* — vorm.

Pascali seadusele põhineb *hüdraulilise*[1] *masina* ehitus.

Hüdraulilise masina põhiosaks on kaks erineva diameetriga silindrit, mis on omavahel toru abil ühendatud (joon. 84). Silindrites liiguvad tihedalt kolvid. Kolbidealune ruum täidetakse harilikult õliga.

Tasakaalu korral on vedelikusambad A ja B mõlemas silindris ühekõrgused (joon. 84, *a*).

Olgu väiksema kolvi pindala S_1 ja suurema pindala S_2. Mõjume väiksemale kolvile jõuga F_1. Selle tulemusena hakkab kolb laskuma ning surub vedelikku laiemasse silindrisse. Juurdesurutud vedeliku mõjul hakkab suurem kolb tõusma (joon. 84, *b*). Arvutame välja jõu F_2, millega tuleks mõjuda suuremale kolvile, et see ei hakkaks tõusma ega ka langema.

Leiame kõigepealt rõhu p, mida tekitab jõud F_1 väiksemale kolvile S_1. Nagu teame, tuleb selleks rõhumisjõud jagada kolvi pindalaga:

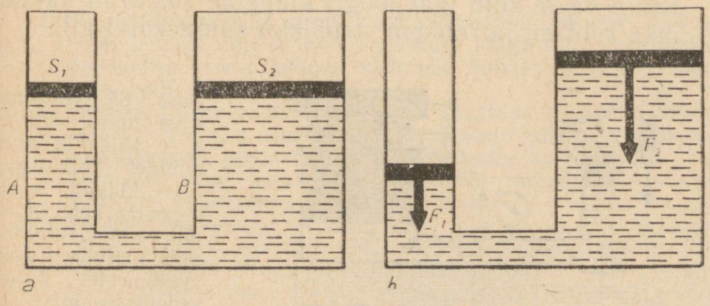
$$p = \frac{F_1}{S_1}\ ;\ \text{siit}\ F_1 = pS_1 \qquad (1)$$

Vastavalt Pascali seadusele on sama rõhk vedeliku igas punktis ning sama rõhu all on ka suurem kolb. Järelikult on suuremale kolvile mõjuva jõu F_2 leidmiseks vaja rõhk p korrutada kolvi pindalaga S_2:

$$F_2 = pS_2 \qquad (2)$$

---

[1] Hüdraulilises masinas (kreekakeelsest sõnast *hydraulikos* — vee-) on töötavaks kehaks vesi.



Joon. 84.

Jagades võrdused (2) ja (1) saame:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

Hüdraulilise masinaga võidetakse jõus nii mitu korda, kui mitu korda on masina suurema kolvi pindala suurem väiksema kolvi pindalast. Seda juhul, kui puudub hõõrdumine kolbide ja silindrite seinte vahel.

Näide. Väiksema kolvi pindala $S_1 = 10$ cm^2 = 0,001 m^2, suurema kolvi pindala $S_2 = 100$ cm^2 = 0,01 m^2. Väiksemale kolvile mõjub jõud $F_1 = 10$ N. Kui suure jõuga tuleb mõjuda suuremale kolvile, et kolvid jääksid tasakaalu? Hõõrdumist mitte arvestada.

Kirjutame võrduse

$$\frac{F_2}{10\text{ N}} = \frac{0{,}01\text{ m}^2}{0{,}001\text{ m}^2},$$ millest $F_2 = 100$ N.

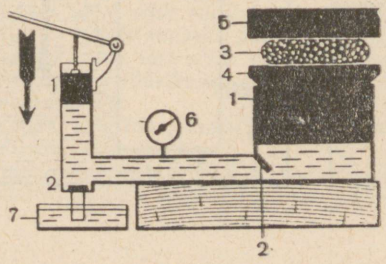
Küsimused.

1. Millist vedelike omadust kasutatakse hüdraulilises masinas? 2. Kui suure võidu jõus annab hüdrauliline masin (hõõrdumise puudumise korral)? 3. Hüdraulilise masinaga me võidame jõus. Milles me aga seejuures kaotame? Mõelge selle küsimuse üle. 4. Kas võib ehitada hüdraulilise masinaga analoogilise seadme, milles aga vedeliku asemel oleks õhk? Põhjendage vastust.

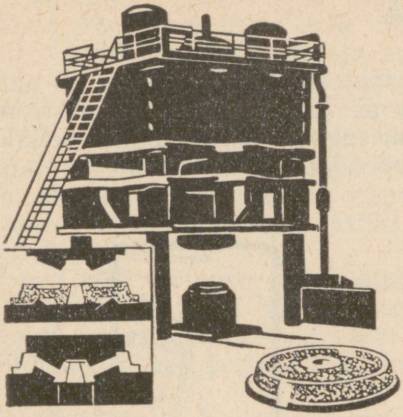
63. Hüdrauliline press.

Täiendavaks lugemiseks.

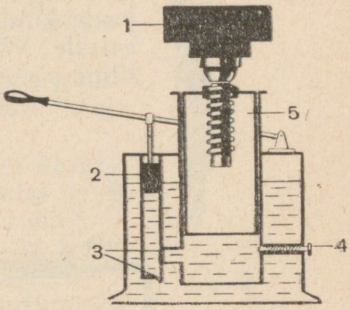
Pressimiseks kohandatud hüdraulilist masinat nimetatakse *hüdrauliliseks pressiks* (joon. 85). Hüdraulilises pressis saavutatakse surve pressitavale kehale väikese kolvi korduva üles-alla liigutamisega. Nimelt surub väike kolb igal löögil klappide süsteemi kaudu ikka rohkem ja rohkem vedelikku suure kolvi alla.



Joon. 85. Hüdraulilise pressi ehitus: *1* — väike ja suur silinder kolbidega; *2* — klapid; *3* — pressitav keha; *4* — platvorm; *5* — ülemine platvorm; *6* — manomeeter; *7* — vedelikuanum.



Joon. 86.



Joon. 87. Hüdraulilise tungraua skeem: *1* — tõstetav keha; *2* — väike kolb; *3* — klapid; *4* — koormuse allalaskeklapp; *5* — suur kolb.

Pressitav keha paigutatakse suure kolvi külge kinnitatud platvormile. Kolvi tõusmisel surutakse keha liikumatu ülemise platvormi ja kolvi küljes oleva platvormi vahele.

Tööstuses kasutatavad kaasaegsed hüdraulilised pressid võivad mõjuda pressitavale kehale kümnete ja sadade miljonite njuutoniteni ulatuva jõuga. Hüdraulilisi presse kasutatakse seal, kus on tarvis suuri jõude, näiteks õlitehastes seemnetest õli väljapressimiseks, vineeri, kartongi, heinte jne. pressimisel. Tehastes valmistatakse võimsate hüdrauliliste presside abil masinate võlle, raudteevagunite rattaid, plastmasstooteid jne.

Suure hüdraulilise pressi välisvaade on kujutatud joonisel 86. Selle pressi suur silinder on paigutatud vertikaalselt ning kolb liigub allapoole. Pressi väike kolb (joonisel ei ole seda näidatud) pannakse liikuma elektrimootoriga.

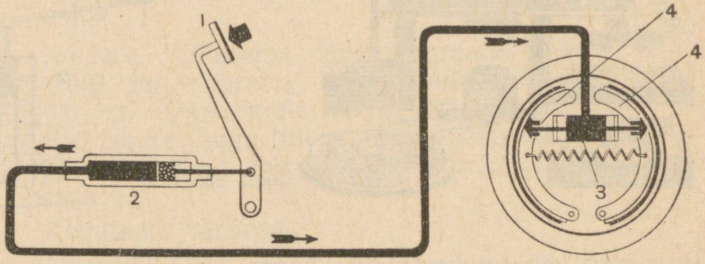
Harjutus 21.

1. Hüdraulilise masina suure kolvi pindala on 240 cm^2, väikese kolvi pindala aga 12 cm^2. Kui suure jõuga tuleb hõõrdumise puudumise korral mõjuda väikesele kolvile, et saada suure kolvi abil jõudu 9000 N?
2. Joonisel 87 on toodud hüdraulilise tungraua (tõstuki) lihtsustatud skeem. Kui suurt raskust saab tõsta selle seadmega, kui väikese kolvi pindala on 1,2 cm^2, suure kolvi pindala aga 1440 cm^2 ning väikesele kolvile võib mõjuda jõuga kuni 1000 N? Hõõrdumist mitte arvestada.
3. Hüdraulilise pressi väikese kolvi pindala on 5 cm^2, suure kolvi pindala aga 500 cm^2. Väikesele kolvile mõjub jõud 400 N, suurele 36 000 N. Mitu korda võidetakse selle pressiga jõus? Miks ei anna see press maksimaalset (suurimat) võitu jõus? Mitu korda võidetakse selle pressiga jõus siis, kui hõõrdumist ei oleks?

64. Hüdrauliline pidur.

Täiendavaks lugemiseks.

Autoasjanduse üheks tähtsamaks küsimuseks on töökindla pidurdussüsteemi loomine. Selline süsteem peab kindlustama ühesuguse rõhu kõigile neljale rattale. Väga hästi lahendab selle ülesande hüdrauliline pidur.



Joon. 88.

Hüdraulilise piduri ehituse skeem on toodud joonisel 88. Selline pidur töötab järgmiselt. Kui juht vajutab pedaalile *1*, avaldab ta rõhku silindris *2* olevale vedelikule. Vastavalt Pascali seadusele antakse see rõhk vedeliku poolt edasi pidurdussilindrile *3*. Kõigi pidurdussilindrite kolvid on ühesuguse pindalaga. Ühesuguste rõhumisjõudude mõjul liiguvad kolvid silindrites teineteisest eemale ning suruvad piduriklotsid *4* vastu piduritrumli seinu. Auto liikumine on pidurdatud. Kui lõpetada surumine pedaalile, siis tõmbab lühenev vedru piduriklotsid algasendisse tagasi.

65. Pneumaatilised masinad ja instrumendid.

Täiendavaks lugemiseks.

Gaaside omadust anda rõhku edasi igas suunas kasutatakse tehnikas mitmesuguste *pneumaatiliste*[1] *masinate* ja instrumentide ehitamiseks.

Suruõhku kasutatakse näiteks neetimis- ja lahtiraiumisvasarates (joon. 89), liiva- ja värvipritsides.

Joonisel 90 on toodud suruõhuvasara ehituse skeem. Suruõhku saab vasar vooliku *1* kaudu. Jaotusseade

[1] Pneumaatilistes masinates on töötavaks kehaks kokkusurutud gaas.

2 suunab õhu järgemööda kord vasara silindri esimesse, kord tagumisse ossa. Seega rõhub õhk kolvile *3* kord ühes, kord teises suunas, pannes kolvi ning koos viimasega ka vasara meisli *4* kiiresti edasi-tagasi võnkuma. Kiirete, üksteisele järgnevate löökide mõjul tungib meisel töödeldavasse pinnasesse või söesse ja murrab sellest tükke.

On olemas liivapritsid, mis annavad liivaga segatud tugeva õhujoa. Selliseid pritse kasutatakse seinte puhastamiseks.

Sageli võib töötamas näha seinte värvimisel kasutatavaid spetsiaalseid suruõhuseadmeid. Nendes seadmetes kannab pihustatud värvi seintele suruõhk.

Suruõhu toimel avanevad metroovagunite ja trollibusside uksed.



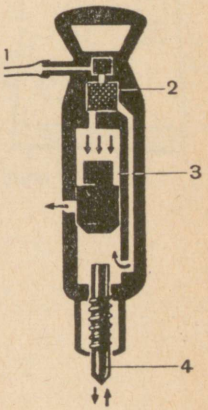
Joon. 89.

Joonisel 91 on kujutatud raudteevaguni pneumaatilise piduri skeem. Kui magistraal, pidurisilinder ja reservuaar on täidetud suruõhuga, on rõhk pidurisilindri kolvile nii paremalt kui vasakult ühesuurune ning piduriklotsid ei puuduta ratast.

Stopp-kraani avamisel lastakse suruõhk magistraaltorust välja ning rõhk pidurdussilindri parempoolses osas langeb. Suruõhk, mis asub silindri vasakpoolses osas ning reservuaaris, väljuda ei saa, sest seda takistab vastav klapp. Suruõhu mõjul liigub kolb silindris paremale ning surub piduriklotsi vastu ratast, pidurdades sellega vaguni liikumist.

Magistraaltoru täitmisel suruõhuga suruvad vedrud piduriklotsid ratastest eemale.

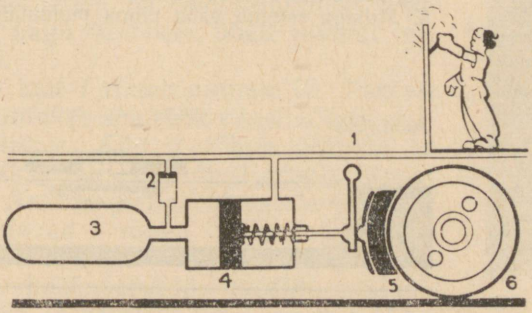
Stopp-kraan on olemas igas vagunis.



Joon. 90.

Küsimused.

1. Millist gaaside omadust kasutatakse pneumaatilistes masinates ja instrumentides? 2. Nimetage teile tuttavaid pneumaatilisi masinaid või instrumente. 3. Kirjeldage pneumaatilise piduri tööd. 4. Kuidas saab vaguni pidurdussüsteemi pärast selle kasutamist uuesti töökorda viia?



Joon. 91. Raudteevaguni pidurdussüsteemi skeem: *1* — suruõhumagistraal; *2* — klapp; *3* — reservuaar; *4* — pidurisilinder; *5* — piduriklots; *6* — vaguni ratas.

66. Vedeliku vaba pind.

Vedeliku vabaks pinnaks nimetatakse seda pinda, mis ei puutu kokku anuma seintega.

Kuna vedeliku molekulid on väga liikuvad, jääb vedeliku pind vedeliku molekulidele mõjuvate jõududega alati risti. Tasasesse ning laia anumasse kallatud vedelikule mõjub raskusjõud. Selle mõjul paikneb vedelik kõrgematest kohtadest madalamatesse seni, kuni kõik molekulid, mis moodustavad vedeliku vaba pinna, on paiknenud ühesugusele kõrgusele ehk ühele nivoole.

Nivooks nimetatakse mistahes horisontaalset pinda. Riista, mida kasutatakse pinna horisontaalsuse määramiseks, nimetatakse vesiloodiks ehk vaaderpassiks (joon. 92).

Väga peenikestes kapillaartorudes ei ole vedeliku vaba pind horisontaalne (§ 58). Selle põhjuseks on vedeliku ja tahke keha molekulide vahelised vastastikused mõjujõud.

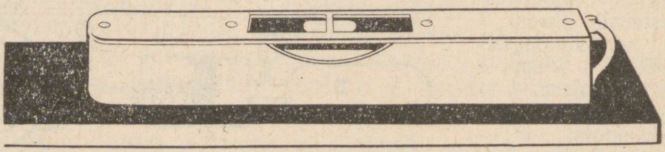
Kaaluta olekus, näiteks Maa kunstlikuks kaaslaseks olevas kosmoselaevas on vedeliku molekulid ainult vastastikuste tõmbejõudude mõju all. Nende mõjul võtavad vedelikutilgad kera kuju.

Erinevalt vedelikest ei ole gaasidel vaba pinda. Ja on ka selge, miks seda pole. Gaaside tihedus on vedelike tihedusest tunduvalt väiksem (§ 29). Seepärast on molekulide vastastikused tõmbejõud gaasides väga nõrgad, gaasi molekulid lendavad igas suunas laiali, täites kogu gaasi jaoks antud ruumi.

Küsimused.

1. Missugust vedeliku pinda nimetatakse vedeliku vabaks pinnaks? 2. Kuidas selgitada, et küllalt laias anumas on vedeliku pind tasane ja horisontaalne? 3. Kuidas nimetatakse riista, mida kasutatakse pinna horisontaalsuse kontrollimiseks? 4. Missugune on vedelikutilga kuju kaaluta olekus? Selgitage, miks. 5. Millega seletub vaba pinna puudumine gaasidel?

Joon. 92.

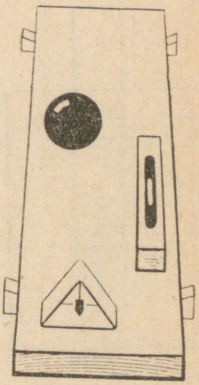


Ülesanne.

1. Kontrollige püstloodi ja täisnurkse kolmnurga abil vedelikupinna horisontaalsust anumas. Tehke joonis.
2. Joonisel 93 on kujutatud paksust paberist või kartongist valmistatud vaaderpass. Valmistage selline mõõteriist ning kontrollige sellega aknalaua, laua ja põranda horisontaalsust.
3. Vaaderpassi ja kiilukeste abil paigutage horisontaalselt vineeri- või lauatükk (joon. 94).
Paigutage vineeri- või lauatükile teraskuul. Kui alus on tõesti horisontaalne, siis kuul veerema ei hakka.



Joon. 93.



Joon. 94.

67. Raskusjõu mõjul vedelikus või gaasis esinev rõhk.

Eelmistes paragrahvides kirjeldatud nähtused toimuvad vedelikes või gaasides olenemata raskusjõust. Hüdraulilisi ja pneumaatilisi masinaid võib kasutada nii Maal kui ka Kuul ja samuti ka ümber Maa tiirlevas tehiskaaslases, kus teatavasti kõik kehad on kaaluta olekus.

Harilikes maapealsetes oludes on aga vedelikud ja gaasid nagu kõik teisedki kehad raskusjõu mõju all. Sellega seletub ka rida vedelikes ja gaasides ilmnevaid erinähtusi.

Vaatleme kõigepealt, kuidas jaguneb rõhk vedelikus, millele mõjub raskusjõud.

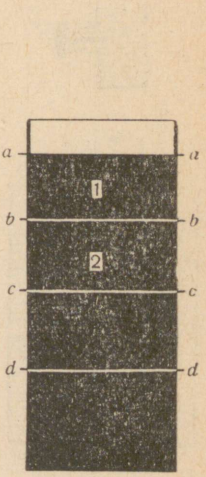
Joonisel 95 on kujutatud silindriline anum vedelikuga.

Kujutleme, et kogu see vedelikusammas anumas koosneb õhukestest kihtidest, mis on üksteisest eraldatud pindadega *bb, cc, dd* jne. Horisontaalpind *aa* on vedeliku vaba pind.

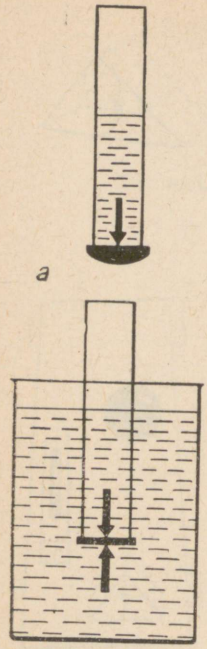
Ei ole raske mõista, et vedeliku tasakaalu korral on rõhk mistahes horisontaalpinna kõigis punktides ühesugune. Kuid minnes ühest horisontaalpinnast teise ülalt allapoole ehk, nagu öeldakse, ühelt nivoolt teisele, rõhk suureneb.

Tõepoolest, ülemine kiht *1* rõhub pinnale *bb*, Pascali seaduse järgi aga antakse see rõhk edasi kõigile allpool asuvatele kihtidele. Kiht *2* rõhub pinnale *cc* ning see rõhk antakse täpselt samuti edasi allpool asuvatele kihtidele. Anuma põhjas olevatele vedeliku molekulidele avaldavad rõhku kõik ülemised kihid.

Oma kaalu poolt kokkusurutud vedelik avaldab rõhku anuma põhjale ja seintele ning iga vedelikku



Joon. 95.



Joon. 96.

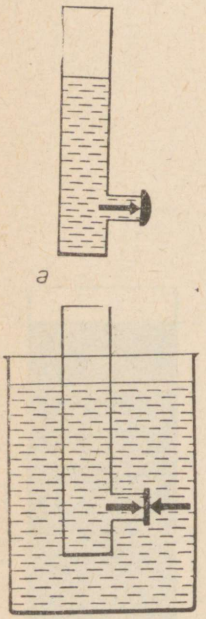
asetatud keha pinnale. Selles võib veenduda ka katseliselt.

Võtame klaastoru, mille alumine ots on kaetud õhukese kummikilega. Kui valada torusse vett või mõnda teist vedelikku, venib toru kummist põhi välja (joon. 96, *a*). See tõendab, et anuma põhjale mõjub vee rõhumisjõud.

Katse näitab, et mida kõrgem on veesammas kummikile peal, seda rohkem kile välja venib. Pärast kile väljavenimist jääb aga vesi torus tasakaalu (paigale).

Miks jääb vedelik paigale ja ei liigu, kuigi talle endiselt mõjub raskusjõud? Selle põhjuseks on asjaolu, et kummikile pärast väljavenimist, s. o. deformeerumist mõjub vedelikule elastsusjõuga. Elastsusjõud on aga teatavasti deformatsiooniga vastassuunaline. Kummikile paindus allapoole, järelikult on elastsusjõud suunatud ülespoole. See kile elastsusjõud tasakaalustabki alla suunatud raskusjõu.

Selles, et rõhk vedelikus mistahes nivool on kõikides suundades, s. o. ülalt alla, alt üles ja kõrvale, ühesugune, võib veenduda katseliselt.



Joon. 97.

Laseme kummikilest põhjaga vett täis toru laiemasse veega täidetud anumasse (joon. 96, *b*). Mida sügavamale laseme toru, seda väiksemaks muutub kummikile deformatsioon. Deformatsioon kaob täielikult, kui vee nivood torus ja anumas ühtivad. See tähendab, et torus oleva vee rõhk kummikilele ülalt alla on võrdne anumas oleva vee rõhuga samale kilele alt üles. Seega mõjub vees olevale kummikilele nii ülalt kui alt ühesuurune rõhk.

Sama katse võib teha toruga, kus kummikilega on kaetud külgava (joon. 97, *a*).

Kui sellisesse torusse valada vett, siis venib kile väljapoole. Väljavenimine on seda suurem, mida kõrgem on vedelikusammas kile kohal.

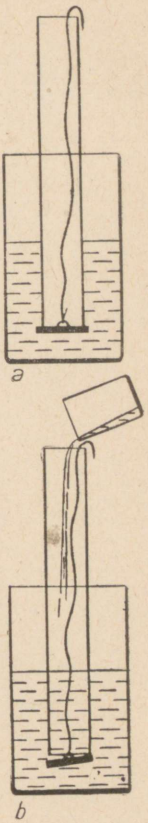
Kui lasta see toru veega täidetud anumasse nii, nagu see on kujutatud joonisel 97, *b*, näeme jällegi, et kile väljavenitatus kaob, kui vee nivood torus ja anumas ühtivad. See kinnitab, et vedeliku rõhud kilele ühelt ja teiselt küljelt on võrdsed.

Ülalkirjeldatud katsed tehti veega. Pole raske veenduda, et samadele järeldustele jõuame ka siis, kui vee asemel kasutada mõnda teist vedelikku.

Väga näitlik on Pascali kaasaegse, hollandlase Stevini kirjeldatud katse.

Veega täidetud anumasse lastakse klaassilinder, mille põhi on kaetud plaadikesega (joon. 98, *a*). Vee

rõhk alt üles surub plaadikese tihedalt vastu silindri otsa. Nüüd valatakse silindrisse ettevaatlikult vett. Plaadike eemaldub silindri otsast, kui vee tase silindris ühtib vee tasemega anumas (joon. 98, *b*).
Eemaldumise hetkel rõhub plaadikesele veesammas silindris ülalt alla, alt üles aga anumas olev vesi. Mõlemad rõhud on suuruselt võrdsed, plaadike eemaldub silindrist oma raskuse mõjul.
Katsed kinnitavad, et *rõhk vedeliku sees on ühel kõrgusel igas suunas ühesuurune. Rõhk suureneb sügavuse suurenedes.*
Gaasid ei erine selles suhtes vedelikest millegi poolest. Ka gaasi molekulidele mõjub raskusjõud. Tuleb aga arvestada, et gaasi tihedus on vastava vedeliku tihedusest sadu kordi väiksem. Kui gaas on mingis anumas, siis rõhk, mida ta oma raskuse mõjul avaldab anuma põhjale ja seintele, on väga väike võrreldes rõhuga, mille põhjustavad liikuvate molekulide põrked vastu seinu. Seepärast ei arvestatagi paljudel juhtudel gaaside raskusest tingitud rõhku anumale.



Joon. 98.

Küsimused.

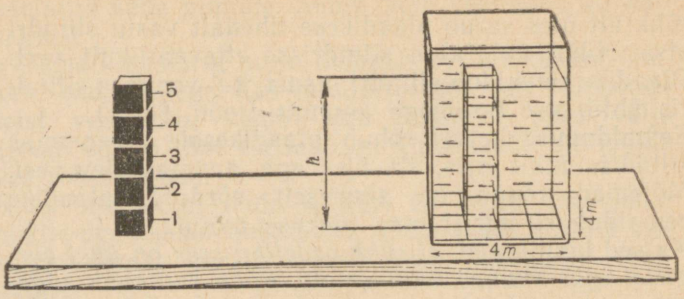
1. Kuidas mõjutab raskusjõud rõhku vedelikus või gaasis? 2. Kuidas näidata katseliselt, et rõhk raskes vedelikus on erinevatel kõrgustel erinev, ühel ja samal kõrgusel aga kõigis punktides ühesugune? 3. Mida saab tõestada Stevini katsega? 4. Miks paljudel juhtudel ei arvestata gaasi kaalust tingitud rõhku gaasis?

68. Vedeliku poolt anuma põhjale ja seintele avaldatava rõhu arvutamine.

Selleks et arvutada vedeliku poolt anuma põhjale avaldatavat rõhku, on tarvis teada anuma põhjale mõjuvat rõhumisjõudu ja põhja pindala. Jagades rõhumisjõu F pindalaga S, saame rõhu (joon. 99):

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

Näide. Risttahukakujuline paak on täidetud veega. Põhja pindala on 16 m², kõrgus 5 m. Kui suur on rõhk anuma põhjale?
Rõhumisjõud on võrdne 5 m kõrguse veesamba kaaluga.



Joon. 99.

Vee kaalu leidmiseks arvutame veesamba ruumala ja massi.
Veesamba ruumala $V = Sh$, järelikult

$V = 16\ \text{m}^2 \cdot 5\ \text{m} = 80\ \text{m}^3$.

Vee tihedus $\varrho = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Vee mass $m = \varrho \cdot V$;

$m = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 80\ \text{m}^3 = 80\,000\ \text{kg}$.

Teame, et keha massiga 1 kg kaalub 9,8 N. Kogu veesamba kaal $P = 80\,000\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 800\,000\ \text{N}$.

Rõhk põhjale:

$$p = \frac{800\,000\ \text{N}}{16\ \text{m}^2} = 50\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

On arusaadav, et kui veesammas on 2—3 korda kõrgem, siis rõhub ta ka põhjale 2—3 korda tugevamini. Sama kehtib ka iga teise vedeliku kohta.

Seega rõhk põhjale on võrdeline vedelikusamba kõrgusega.

Kuidas muutub rõhk põhjale, kui vee asemel võtta mõni teine vedelik, näiteks elavhõbe?

Me juba veendusime, et rõhu suuruse arvutamisel kasutati vedeliku tiheduse arvulist väärtust.

Elavhõbeda tihedus on $13\,600\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Järelikult on elavhõbe 13,6 korda veest raskem. Seepärast on ka elavhõbeda rõhk põhjale 13,6 korda suurem.

Rõhk on võrdeline vedeliku tihedusega.

Vedeliku rõhk põhjale ei sõltu põhja pindalast. Arvutame rõhu paagi põhjale juhul, kui selle pindala ei ole mitte 16 m^2, vaid 8 m^2, s. o. kaks korda väiksem.

Kõrguse jätame endiseks. Siis on veesamba ruumala $V = 8\ m^2 \cdot 5\ m = 40\ m^3$.

Selle vee mass $m = 1000\ \frac{kg}{m^3} \cdot 40\ m^3 = 40\,000\ kg$,

kaal $P = 40\,000\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{N}{kg} \approx 400\,000\ N$.

Rõhk põhjale:

$$p = \frac{400\,000\ N}{8\ m^2} = 50\,000\ \frac{N}{m^2}.$$

Rõhk on niisama suur seepärast, et põhja pindala ja vee kaal (s. o. rõhumisjõud põhjale) vähenesid üks ja sama arv korda ning nende suhe jäi seega muutumatuks.

Rõhk anuma põhjale on võrdeline vedelikusamba kõrgusega ja vedeliku tihedusega.

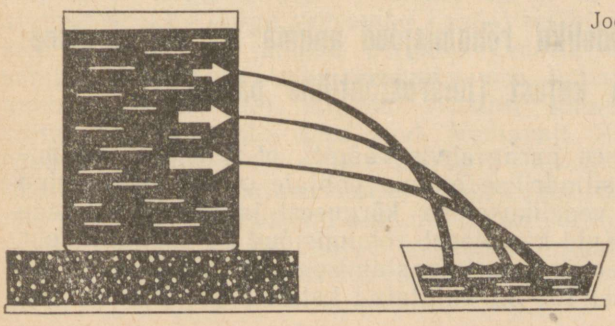
Täpselt samuti arvutatakse rõhku anuma seinale, ainult sel juhul tuleb vedelikusamba kõrguseks võtta vedeliku vaba pinna kaugus vaadeldava seinaosa keskpunktist.

Küsimused.

1. Milliseid suurusi on vaja teada vedeliku poolt anuma põhjale avaldatava rõhu arvutamiseks? 2. Kuidas oleneb vedeliku rõhk anuma põhjale vedelikusamba kõrgusest? 3. Kuidas oleneb rõhk anuma põhjale vedeliku tihedusest? 4. Milliseid suurusi on tarvis teada, et arvutada rõhku anuma külgseinale?

Ülesanne.

Võtke silindriline anum (kõrge purk) ning tehke selle külgseina erinevale kõrgusele kolm väikest ava. Sulgege avad plastiliiniga ning valage anum vett täis. Avage avad ning jälgige avadest väljapurskuvaid veejugasid (joon. 100).
Vastake järgmistele küsimustele. Miks voolab vesi avadest välja? Kuidas on need veejoad suunatud anuma seina juures? Mida see näitab? Miks veejoad painduvad allapoole? Millega seletada, et erinevad joad küünivad erinevatele kaugustele?



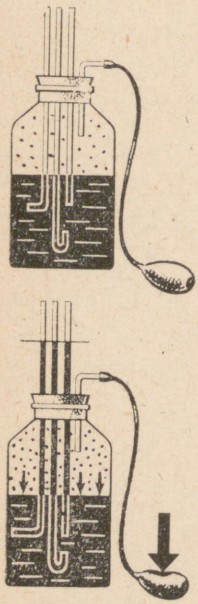
Joon. 100



Joon. 101.

Harjutus 22.

1. Arvutage vee rõhumisjõud ühele ruutmeetrile maailma ühes suuremas merevagumuses, mille sügavus on 10 900 m. Merevee tihedus on 1030 $\frac{kg}{m^3}$.
2. Arvutage rõhumisjõud allveelaeva aknale, mis on 11 km sügavuses ning mille pindala on 7,5 dm^2.
3. Leidke rõhumisjõud ühele ruutmeetrile 0,6 m sügavuses vees, petrooleumis, elavhõbedas.
4. Ava tammis on suletud ruudukujulise siibriga, mille külje pikkus on 80 cm. Siibri ülemine külg on 10 m sügavusel. Arvutage vee rõhumisjõud siibrile.
5. Joonisel 101 on kujutatud jalgpalli õhukumm, mis on ühendatud vertikaalselt paigutatud klaastoruga. Õhukummis ja torus on vesi. Kummile on paigutatud lauake ja sellele 5 kg viht. Veesamba kõrgus torus on 1 m. Leidke pindala, millega lauake toetub kummile.



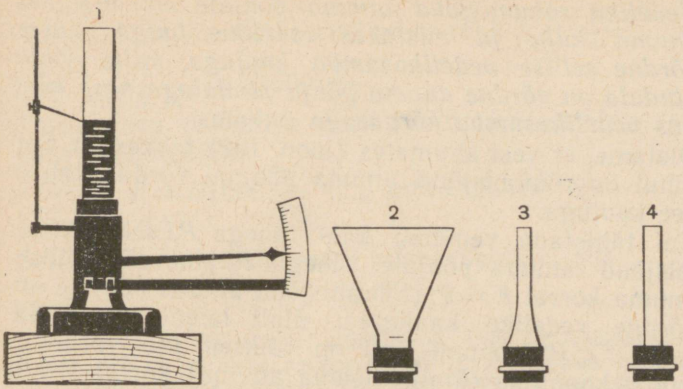
Joon. 101a.

Ülesanne.

Joonisel 101*a* on kujutatud klaaspurk, mis on osaliselt täidetud veega, ülejäänud osas aga täidetud õhuga. Purk on tihedalt suletud korgiga, millest on läbi pandud neli klaastoru. Kolm neist on paigutatud vette, neljas, mis vette ei ulatu, on ühendatud kummiballooniga. Kaks vette ulatuvat toru on painutatud joonisel näidatud viisil.
Kummipalli surutakse käega või asetatakse sellele mingi raskus. Selle tulemusena tõuseb vesi kõigis kolmes torus purgis oleva vee nivoost kõrgemale ja seejuures kõigis ühtemoodi.
Valmistage kirjeldatud seade ning tehke sellega katseid. Kummipalli asemel võib rõhuda purgis olevale õhule ka teisiti, näiteks puhuda purki läbi kummivooliku.
Kuidas selgitada, miks tõusevad veesambad kõigis torudes ühekõrgusele?
Missugust seadust võib selle katseseadmega kontrollida?
Paigutage nüüd torude alumised avad vees erinevatele kõrgustele ja avaldage purgis olevale õhule ja veele mingit rõhku. Kas vesi tõuseb ka nüüd kõigis torudes ühekõrgusele? Selgitage katse tulemusi.

69. Vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust (hüdrostaatiline paradoks).

Eelmises paragrahvis räägiti, et vedeliku rõhumisjõud silindrilise anuma põhjale oleneb põhja pindalast, vedelikusamba kõrgusest ja vedeliku tihedusest. Kuid kas oleneb rõhumisjõud ka anuma kujust? Sellele küsimusele vastamiseks teeme katse.
Joonisel 102 on kujutatud katseriist, millel on mitu



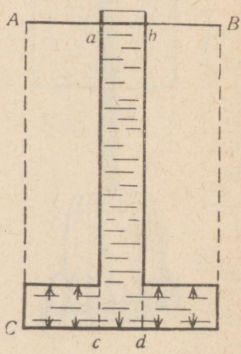
Joon. 102.

erineva kujuga vahetatavat klaasanumat. Kõigi anumate alumised avad on aga ühesuurused. Kõigi anumate põhjaks on kummikile, mis anumas oleva veesamba mõjul välja venib. Kummikile liikumine antakse edasi osutile.

Anumad keeratakse üksteise järel katseriista metallalusele. Kõigisse neisse kallatakse ühesuguse kõrguseni vett. Veehulk anumates on seejuures erinev, erinevad on muidugi ka veehulkade kaalud. Katseriista osuti aga võtab iga anuma korral ühe ja sama asendi. Järelikult on vee rõhumisjõud kõigi kolme anuma korral ühesugune.

Kuigi see järeldus on saadud katsest, tundub ta esimesel pilgul ebatõenäolisena, paradoksaalsena. Eriti imelikuna tundub see, et vesi kolmandas anumas (joon. 102) rõhub põhjale oma kaalust suurema jõuga.

Midagi paradoksaalset siin aga pole, kõik seletub Pascali seadusega. Tõepoolest, kui veesammas on silindriline nagu esimeses anumas, siis surub kõige alumist veekihti kogu veesamba kaal. Veekiht annab selle rõhu edasi anuma põhjale. Ilmselt toimib samuti ka vedelikusamba keskmine osa kolmandas anumas (joon. 103). Alumist veekihti rõhub siin silindrilise veesamba *abcd* kaal. Vastavalt Pascali seadusele antakse see rõhk edasi igas suunas. Järelikult on anuma põhja mistahes punkt sama rõhu all mis pind *cd*. Rõhumisjõud pinnale *CD* on võrdne kõikidele pinnaühikutele mõjuvate jõudude summaga, see on võrdne vertikaalse veesamba *ABCD* kaaluga.



Joon. 103.

Vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale on mistahes anuma kuju ja mistahes vedeliku hulga juures võrdne sellise vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindala on võrdne anuma põhja pindalaga ning kõrgus vedelikusamba kõrgusega anumas.

Oletame, et vesi anumates (joon. 102) tahkestub. Sel juhul on rõhumisjõud anuma põhjale võrdne tahke vee kaaluga.

Kui tähistada vedeliku kaal tähega P, selle rõhumisjõud anuma põhjale tähega F, siis silindrilise anuma korral $F = P$ (rõhumisjõud anuma põhjale on võrdne vedeliku kaaluga); ülalt laieneva anuma kohal $F < P$ (rõhumisjõud on väiksem kui vedeliku kaal); koonilise (ülalt kitsama anuma) korral $F > P$ (rõhumisjõud on suurem vedeliku kaalust).

70. Pascali katse.

Täiendavaks lugemiseks.

Kuna vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust, võib väikeste vedelikuhulkadega saavutada suuri rõhke.

1648. a. tegi Pascal hüdrostaatilise paradoksi selgitamiseks katse, mis hämmastas tema kaasaegseid.

Pascal paigutas veega täidetud ning igast küljest suletud tugevasse vaati pika ja peenikese toru. Kui toru täideti veega, suurenes rõhk vaadi seintele niivõrd, et vesi pressiti vaadi laudade vahelt välja (joon. 104).



Joon. 104.

Näide. Vaadi sisemine pindala on 2,5 m². Vaat on täidetud veega. Vaadi ülemise põhja sisse on tehtud ava, millesse on tihedasti kinnitatud 1 cm² ristlõikega ja 5 m pikkune klaastoru. Toru on otsani täidetud veega. Arvutada rõhumisjõud vaadi sisepinnale.

Arvutame rõhu, mida avaldab torus olev veesammas.

Vee ruumala torus $V = Sh$;

$V = 0{,}0001\ \text{m}^2 \cdot 5\ \text{m} = 0{,}0005\ \text{m}^3$.

Vee tihedus $\varrho = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Vee mass $m = \varrho V$;

$m = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}0005\ \text{m}^3 = 0{,}5\ \text{kg}$.

Selle vee kaal $P = 0{,}5\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 5\ \text{N}$.

Torus oleva vee poolt avaldatav rõhk $p = \frac{P}{S}$;

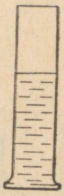
$p = \frac{5\ \text{N}}{0{,}0001\ \text{m}^2} = 50\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

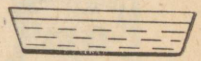
Torus oleva veesamba poolt vaadi siseseintele avaldatav rõhumisjõud

$F = pS;\ F = 50\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2{,}5\ \text{m}^2 = 125\,000\ \text{N} \approx$

$\approx 12\,500$ kG.

Sellist rõhumisjõudu vaadi vitsad vastu ei pea.





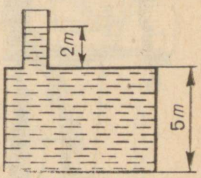
Joon. 105.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata, et vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust? 2. Missuguses kolmest ühesuguse põhjaga anumast (vt. joon. 102) on vedeliku kaal võrdne vedeliku rõhumisjõuga anuma põhjale? suurem rõhumisjõust? väiksem rõhumisjõust? Põhjendage vastust. 3. Miks nimetatakse anuma põhjale mõjuva vedeliku rõhumisjõu sõltumatust anuma kujust mõnikord hüdrostaatiliseks paradoksiks? 4. Kuidas saab Pascali seadusele tuginedes selgitada hüdrostaatilist paradoksi?

Ülesanne.

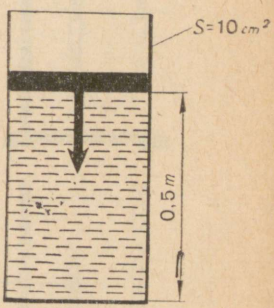
Pascali seadusele tuginedes tõestage arutluse teel, et vedeliku rõhumisjõud teise anuma põhjale (vt. joon. 102) on võrdne sellise silindrilise vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindala on võrdne anuma põhja pindalaga ning kõrgus vedelikusamba kõrgusega anumas.



Joon. 106.

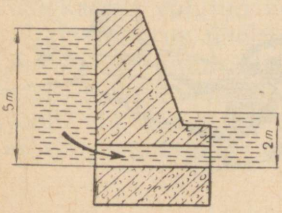
Harjutus 23.

1. Kumma anuma põhjale (joon. 105) rõhub vesi tugevamini?
2. Arvutage vee rõhk joonisel 106 kujutatud paagi põhjale.
3. Silindrilises anumas on vett 0,5 m kõrguselt. Vesi on kolvi all, millele mõjub jõud 1000 N. Kolvi pindala on 10 cm². Arvutage rõhk anuma põhjale (joon. 107).
4. Vee nivoo kõrgus tammi ees (joon. 108) on 5 m, tammi taga aga 2 m. Kui suure rõhu all on vesi, mis voolab tammi aluses asuvas torus?
5. Tüvikoonusekujuline lai toru on asetatud vette (joon. 109). Toru alumist otsa katab plaat *pp*, mida hoiab kohal vee rõhk. Kui valada torusse 1 kilogramm vett, siis on selle poolt tekitatav rõhk täpselt selline, mille mõjul plaat toru põhjast eemaldub. Kas plaat eemaldub ka siis, kui vee asemele panna 1 kg massiga viht?
6. Kuubikujuline anum on täidetud veega, mille kaal on 100 N. Kui suur on vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ja külgseinale?

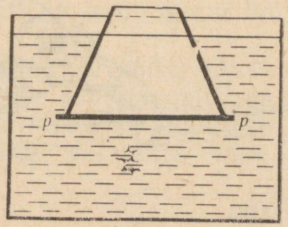


Joon. 107.

Joon. 108.



Joon. 109.



71. Rõhk merede ja ookeanide põhjas. Meresügavuste uurimine.

Täiendavaks lugemiseks.

Ookeanide sügavus küünib mitme kilomeetrini. Vastavalt sellele peab ookeani põhjas olema määratu suur rõhk. Nii näiteks on 10 km sügavusel (aga on veel suuremaid sügavusi) rõhk ligikaudu 100 000 000 $\frac{N}{m^2}$ ehk 1000 $\frac{kG}{cm^2}$.

Tänu vee väga väikesele kokkusurutavusele on vee tihedus ookeani põhjas ainult veidi suurem vee tihedusest ookeani pinnal.

Spetsiaalsed okeanograafilised uurimused näitavad, et sellistes suurtes ookeanisügavustes elavad kalad ja mõned muud elusolendid. Nende kalade organism on kohanenud suurte rõhkudega. Nende keha on võimeline taluma rõhku, mis ulatub miljonite njuutoniteni ruutmeetrile. On arusaadav, et sama rõhk on ka kalade endi sees.

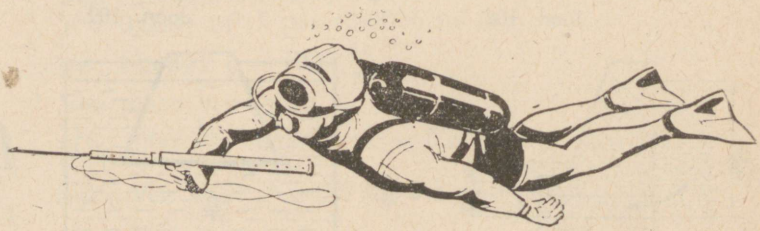


Joon. 110.

Inimene suudab pärast spetsiaalset treeningut ilma eriliste kaitseseadmeteta sukelduda kuni 100 m sügavuseni. Sellises sügavuses on rõhk umbes 1 000 000 $\frac{N}{m^2}$ ehk 10 $\frac{kG}{cm^2}$. Ilma kaitseseadmeteta veelgi suuremasse sügavusse laskumisel võib see rõhk lõmastada inimese rindkere.

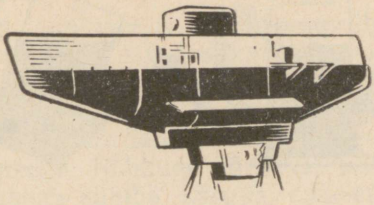
Jõepõhja puhastamisel, laevade veealuste osade remontimisel, uppunud laevade ülestõstmisel jne. tuleb inimestel töötada vee all erinevates sügavustes. Seejuures kasutatakse spetsiaalseid tuukriülikondi. Tuukriülikonnad valmistatakse kummeeritud riidest ning pannakse sooja riietuse peale. Ülikonna ülaosa külge kruvitakse paksude klaasakendega metallkiiver (joon. 110). Tuukri saabastel on pliitallad, samuti asetatakse pliikoormused tuukri seljale ja rinnale. Kui seda ei tehta, ei püsi tuuker vees. Kiivrisse antakse vooliku kaudu pidevalt hin-

Joon. 111.





Joon. 112.



Joon. 113.

gamiseks vajalikku õhku. Kahjuks segab voolik vee all tuukri liikumist ning piirab kaugust, mille võrra tuuker laskumiskohast võib eemalduda. Seepärast on viimasel ajal hakanud tuukrid vee alla kaasa võtma terasballoone õhutagavaraga. Seejuures kasutatavat kerget tuukriülikonda nimetatakse akvalangiks. Akvalangiga võib laskuda kuni 90 m sügavusele (joon. 111).

Suurte meresügavuste uurimiseks kasutatakse batüsfääre ja batüskaafe.

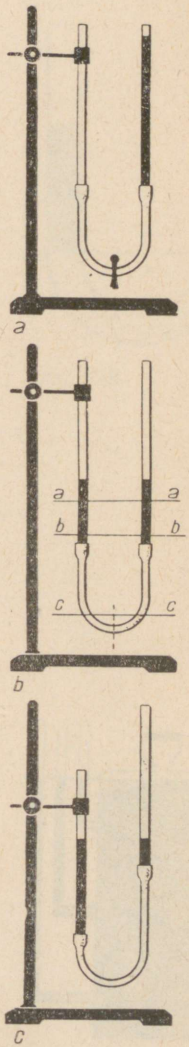
Batüsfäär on väga vastupidav teraskera, mis on varustatud paksust vastupidavast klaasist aknaga (joon. 112). Kera sisemuses asuvad vaatlejad. Vaatlejad peavad laevaga sidet telefoni teel. Batüsfäärid lastakse meresügavusse spetsiaalselt laevalt terastrossi abil.

Batüskaaf (joon. 113) aga ei ole trossi abil laevaga ühendatud. Tal on oma mootor ning seepärast ka võimalus suures sügavuses liikuda mistahes suunas.

72. Ühendatud anumad.

Joonisel 114 on kujutatud kaks anumat, mis on omavahel ühendatud kummitoruga. Selliseid anumaid nimetatakse *ühendatud anumateks*. Ühendatud anumate näideteks on kastekann, teekann, kohvikann (joon. 115). Me teame oma kogemustest, et näiteks kastekannu valatud vesi on alati nii kannus kui ka väljavoolutorus ühekõrgusel.

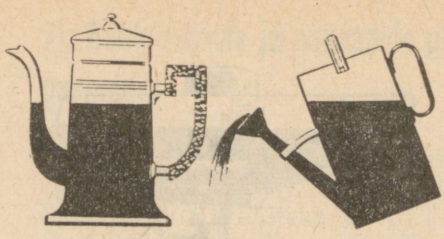
Ühendatud anumatega võib teha järgmise lihtsa katse. Kaks klaastoru ühendatakse kummivoolikuga (joon. 114, *a*). Katse alguses surutakse kummivoolik keskelt näpitsatega kokku ning valatakse ühte

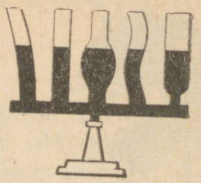


Joon. 114.



Joon. 115.





Joon. 116.

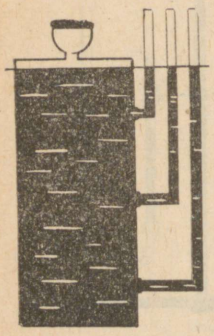
torusse vett. Nüüd avatakse kummivoolik ning vesi hakkab voolama teise torusse. Voolamine kestab seni, kuni vee nivood torudes ei ole ühekõrgusel (joon. 114, *b*). Ühe toru võib kinnitada statiivi külge, teist võib aga tõsta, langetada või kallutada. Ka neil juhtudel on vesi pärast tasakaalustumist mõlemas torus ühekõrgusel (joon. 114, *c*).

Paigaloleva vedeliku vaba pind jääb mistahes kujuga ühendatud anumates (joon. 116) alati ühele ja samale kõrgusele.

Samale tulemusele võib jõuda aruteluga (teoreetiliselt) rõhkude jaotusest raskes vedelikus.

Tõepoolest vedeliku tasakaalu korral on rõhk ühendatud anumates nivool *aa* ühesugune (§ 67). Samuti on ühesugune rõhk nivool *bb,* ka nivool *cc* (joon. 114, *b*). Kuna rõhk on võrdeline vedelikusamba kõrgusega, siis järeldub siit, et vedelikusammaste kõrgused mõlemas anumas on ühesugused.

Ülesanne.



Joon. 117.

Joonisel 117 on kujutatud seade, mis kujutab endast igast küljest suletud plekknõu. Paagi ülemisse otsa on tehtud ava. See suletakse korgiga, millest käib läbi lehter. Viimane on pealt kaetud kummikilega. Paagi külgseina on tehtud kolm ava, millega on ühendatud peened klaastorud.

Valmistage selline seade, täitke veega ning vastake järgmistele küsimustele.

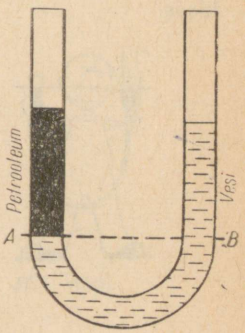
1. Miks on veesammaste kõrgused torudes erinevad?
2. Mida näitavad vedelikusammaste kõrgused torudes?
3. Missugust rõhku võib mõõta vedelikusamba kõrgusega torus?
   Vajutage kergelt lehtrit katvale kummikilele ning jälgige veesamba kõrguse muutumist torudes.
4. Miks muutuvad veesammaste kõrgused kõikides torudes ühtemoodi?
5. Millist rõhku näitavad sel juhul vedelikusambad torudes?

73. Erinevate vedelike tasakaal ühendatud anumates.

Täiendavaks lugemiseks.

Kui valada ühendatud anumate ühte harusse üht vedelikku ja teise harusse teist, siis tasakaalu korral ei ole vedelikusammaste kõrgused anumates ühesugused. See on ka arusaadav. Me teame, et vedeliku rõhk anuma põhjale on võrdeline samba kõrgusega ja vedeliku tihedusega. Rõhkude võrdsuse korral on suurema tihedusega samba kõrgus väiksem kui väiksema tihedusega samba kõrgus. Seda võib vaadelda katseliselt.

U-kujulisse torusse valatakse vett ning selle peale ühte harusse petrooleumi. Selle tulemusena vee nivoo teises harus tõuseb, kuid jääb tasakaalu korral veidi madalamale kui petrooleumi nivoo (joon. 118). Nivool *AB* on rõhk mõlemas harus ühesugune. Vee tihedus on 1000 $\frac{kg}{m^3}$, petrooleumil 800 $\frac{kg}{m^3}$. Vee tihedus on seega $\frac{1000}{800} = 1{,}25$ korda suurem kui petrooleumil. Niisama mitu korda peab ka veesamba kõrgus (mõõtes nivoost *AB*) olema väiksem petrooleumisamba kõrgusest.



Joon. 118.

Sammaste kõrguse mõõtmine veenab meid arutluse õigsuses. *Ühendatud anumates olevate vedelike tasakaalu korral on vedelikusammaste kõrgused vedelike kokkupuutepinnalt pöördvõrdelised vedelike tihedustega.*

Algebraliselt võib öeldut väljendada järgmiselt:

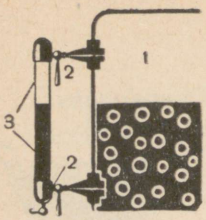
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\varrho_2}{\varrho_1}$$

Kui me ei teaks petrooleumi tihedust ϱ_2, siis saaksime selle vee- ja petrooleumisammaste kõrguste mõõtmistulemuste abil määrata, kui vee tihedus on teada.

Näide. Ühendatud anumates tasakaalustab 20,7 cm kõrgune veesammas 23 cm kõrguse määrdeõlisamba. Leida toodud andmete alusel määrdeõli tihedus.

Lahendus:

$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\varrho_2}{\varrho_1}$, siit $\varrho_2 = \varrho_1 \frac{h_1}{h_2}$.



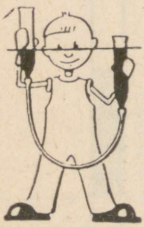
Joon. 119. Aurukatla veemõõduklaas: *1* — aur; *2* — ventiil; *3* — veemõõduklaas.

kuna $\varrho_1 = 1000\ \frac{m^3}{kg}$, siis

$$\varrho_2 = 1000\ \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{20{,}7\ cm}{23{,}0\ cm} = 900\ \frac{kg}{m^3}\ \text{ehk}\ 0{,}9\ \frac{g}{cm^3}.$$

Küsimused.

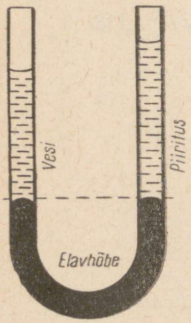
1. Kuidas asetuvad kaks erinevat vedelikku ühendatud anumates? 2. Tõestage arutluse teel, et tasakaalu korral on ühendatud anumates kahe erineva vedeliku sammastel erinevad kõrgused. 3. Kuidas saab katseliselt näidata, et vedelike tasakaalu korral ühendatud anumates on samba kõrgus seda suurem, mida väiksem on vedeliku tihedus? 4. Kuidas sõnastatakse reegel ühendatud anumate kohta, kui vedelikud on erinevad?



Joon. 120.

Ülesanne.

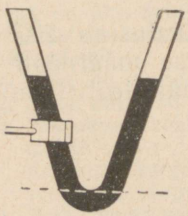
1. Valmistage kahest klaastorust ja kummivoolikust ühendatud anumad. Tehke selle abil kindlaks, mitu korda on vee tihedus õli (näiteks päevalille- või mõne mineraalõli) tihedusest suurem. Joonistage katseseade üles ning kirjeldage lühidalt oma katset.
2. Mõelge, kuidas oleks võimalik kõige lihtsamate vahenditega valmistada mõnda parki või aeda purskkaev. Joonistage sellise kaevu ehitus ning selgitage selle töötamise põhimõtet. Valmistage purskkaevu mudel.



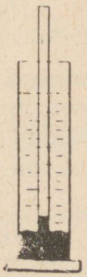
Joon. 121.

Harjutus 24.

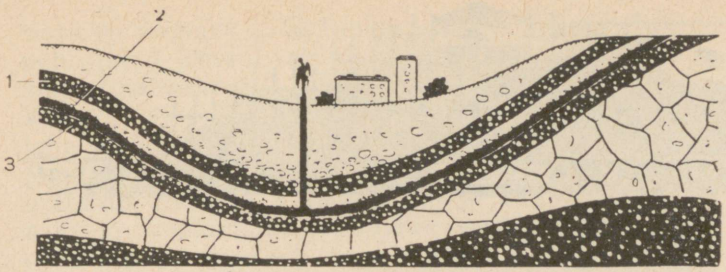
1. Joonisel 119 on kujutatud aurukatla veemõõduklaas. Selgitage selle riista töötamise põhimõtet.
2. Joonisel 120 on kujutatud nivelliir horisontaalsihi määramiseks maastikul. Selgitage selle töötamise põhimõtet. Valmistage selline seade ning määrake selle abil horisontaalsiht.
3. Joonisel 121 on kujutatud ühendatud anumad, millesse on valatud elavhõbe. Selle peale vasakusse harusse on valatud vesi. Kui kõrge peab olema paremas harus olev piiritusesammas, et elavhõbe jääks mõlemas harus ühekõrgusele?
4. Kuidas arvutada rõhku, mida avaldab vedelik punktiirjoonega märgitud sügavuses (joon. 122)?



Joon. 122.



Joon. 123.



Joon. 124.

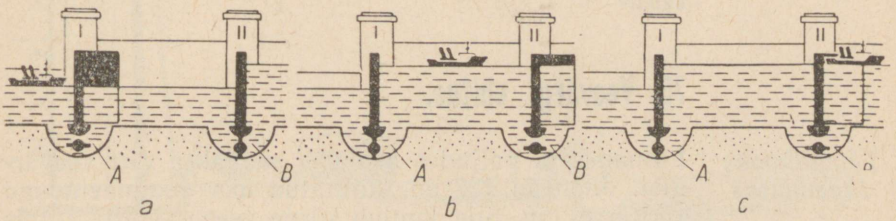
5. Mensuuri põhja on valatud elavhõbedakiht ning sellesse lastud klaastoru. Mensuuris oleva elavhõbeda peale valatakse 27,2 cm kõrguselt vett (joon. 123). Kui kõrgele tõuseb elavhõbe klaastorus?
6. Joonisel 124 on kujutatud arteesiakaevu ehitus. Kiht *2* koosneb liivast või mõnest teisest urbsest materjalist, mis laseb vett kergesti läbi. Kihid *1* ja *3*, vastupidiselt, ei lase vett läbi. Kirjeldage sellise kaevu töötamist.

74. Lüüsid.

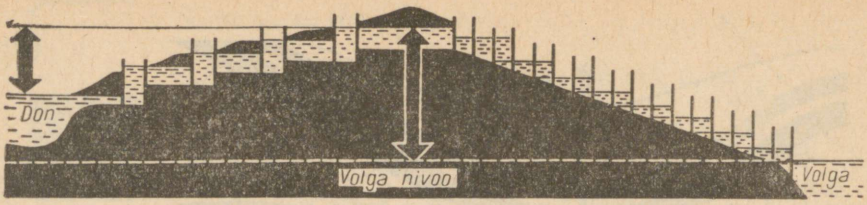
Täiendavaks lugemiseks.

Lüüsid on hiiglaslikud ühendatud anumad. Lüüse kasutatakse laevade möödasuunamiseks jõgedele ehitatud tammidest (näit. elektrijaamade tammidest) või laevade suunamiseks mööda kanaleid ühest jõest teise (joon. 125).

Lüüs koosneb lüüsikambrist, väravatest I ja II, mis eraldavad lüüsikambrit jõest või kanalist, ning laiadest torudest *A* ja *B*, mis ühendavad lüüsikambrit jõega. Joonisel 125, *a* on kujutatud mootorlaeva sõitmine lüüsikambrisse läbi värava I. Toru *B* on seejuures suletud. Kui laev on jõudnud lüüsikambrisse, suletakse värav I ja toru *A* (joon. 125, *b*). Nüüd avatakse toru *B* ning lüüsikambrisse voolab vesi jõe ülemisest osast. Kui vee nivoo jões ja lüüsi-



Joon. 125.



Joon. 126.

kambris on võrdsustunud, avatakse värav II ning laev sõidab jõkke (joon. 125, *c*).

Ühes lüüsikambris tõstetakse või lastakse laeva alla harilikult 10—15 m. Kui tamm jõel on veelgi kõrgem, tehakse lüüs kahest või kolmest kambrist ning laeva tõstetakse või langetatakse järk-järgult, viies seda ühest lüüsikambrist teise.

Kanalite ehitamisel juhtub sageli, et ühendatavad jõed asuvad erinevatel kõrgustel ning maakoht, mida kanal läbib, on mõlemast jõest kõrgemal.

Nii näiteks on Volga—Doni kanali kõrgeim punkt Doni nivoost 44 m ja Volga nivoost 88 m kõrgemal. Kanali kõrgemasse ossa pumbatakse vett võimsate pumpadega, mis saavad energiat Tsimljanski hüdroelektrijaamast. Sõites Volgalt Donile, tõuseb laev läbi üheksa lüüsi ning laskub siis läbi nelja lüüsi Donile. Volga—Doni kanali skeem on kujutatud joonisel 126. Lüüsid Moskva-nimelisel kanalil ja V. I. Lenini nimelisel kanalil ei ole mitte ainult keerulised tehnilised seadmed, vaid ka väljapaistvad arhitektuurisaavutused.

Kanalite ja lüüside ehitamisega loodi NSV Liidu Euroopa-osa veeteede süsteem. Meie kodumaa pealinn Moskva sai viie mere — Valge mere, Balti mere, Kaspia mere, Aasovi mere ja Musta mere sadamaks.

Küsimused.

1. Mis on lüüside ülesanne? 2. Kuidas on lüüsid ehitatud? 3. Kuidas sõidab laev läbi lüüsi? 4. Kuidas on ehitatud Volga—Doni kanal?

75. Veevärgi ehitus.

Täiendavaks lugemiseks.

Linnades ja paljudes asulates saadakse vett veevärgist. Joonisel 127 on kujutatud üks enamlevinenud veevärgitüüp. Siia kuulub kõrge veesurvetorn *1*, mis on kõrgem kõigist linna või asula hoonetest. Torni

tipus on veepaak *2*. Settimisseadmetes *4* ja filtrites *5* puhastatud jõevesi surutakse võimsate pumpadega *3* magistraaltorusse *6* ja veetorni.
Veetorni ülesandeks on tagada kogu veevärgis ühtlane surve.
Magistraaliga ühendatakse linna või asula hoonete veetorud. Et kaitsta magistraali ja väljaspool maju asuvaid veetorusid külmumise eest, paigutatakse need maa sisse.
Tornis olev veepaak, magistraal ja veetorud majades kujutavad endast ühendatud anumaid.
Linna veevärgi magistraal ümbritseb ringina suuremat osa linnast. Sellest magistraalist lähevad igas suunas väiksema läbimõõduga toitetorud.
Selline veevärgi ehitus võimaldab avarii korral sulgeda magistraalist lähtuvat mistahes lõiku, kõik ülejäänud aga töötavad edasi.

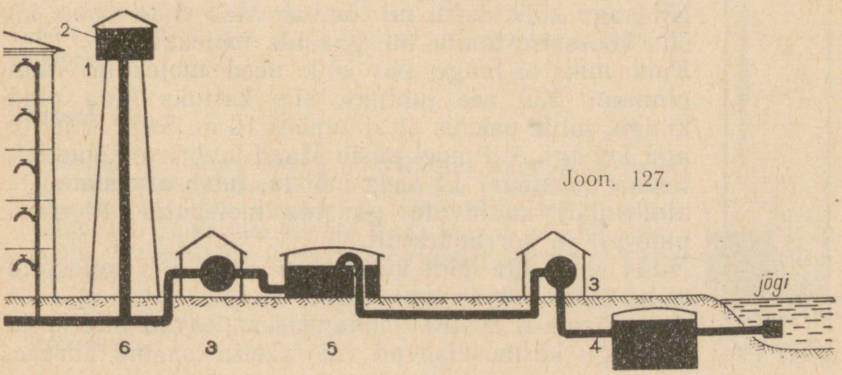
Küsimused.

1. Kuidas on ehitatud veevärk? 2. Mis ülesanne on veetornil? 3. Missugusel mitmekorruselise maja korrusel voolab vesi kõige suurema survega? kõige väiksema survega?

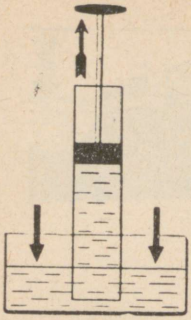
76. Õhurõhk.

Maad ümbritsevat õhukihti nimetatakse *atmosfääriks*[1]. Nagu näitavad Maa tehiskaaslaštelt saadud uurimisandmed, ulatub atmosfäär mitme tuhande kilomeetri kõrgusele. Meie elame määratu õhuookeani põhjas. Maa pind on selle ookeani põhi.

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



Joon. 127.



Joon. 128.

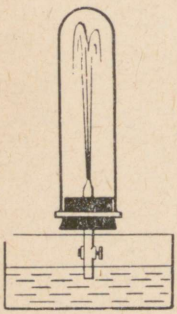
Analoogiliselt veega ookeanis rõhuvad õhu ülemised kihid oma raskusest tingituna alumistele kihtidele, surudes neid kokku. Vahetult Maaga kokkupuutuv õhukiht, mida suruvad kõik ülemised õhukihid, annab vastavalt Pascali seadusele rõhku edasi igas suunas.

Selle tulemusena on maapind ning kõik sellel asuvad kehad kõigi õhukihtide rõhu all ehk — nagu harilikult öeldakse — neile mõjub *õhurõhk.*

Õhurõhu olemasolu kinnitavad paljud igapäevases elus esinevad nähtused. Vaatleme mõnda neist.

Joonisel 128 on kujutatud klaastoru, milles liigub tihedalt kolb. Toru ots on paigutatud vette. Kui tõmmata kolbi ülespoole, tõuseb sellega koos ka vesi.

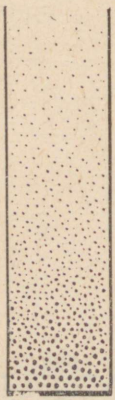
Kolvi tõstmisel tekib vee ja kolvi vahele õhuta ruum. Välise õhu poolt avaldatava rõhu mõjul tungib sellesse ruumi kolvi järel vesi. Kirjeldatud nähtust kasutatakse veepumbas, mille tööd käsitleme hiljem.



Joon. 129.

Joonisel 129 on kujutatud kõrge silindriline anum. Anum on suletud korgiga, mida läbib ventiiliga toru. Anumast pumbatakse õhk välja. Siis asetatakse toru otsapidi vette. Kui nüüd ventiil avada, purskub vesi joana õhutühja anumasse. Vesi tungib anumasse sellepärast, et väline õhurõhk on suurem anumas oleva hõreda õhu rõhust.

Edaspidi tutvume veel terve rea nähtustega, mis on tingitud õhurõhu olemasolust.



Joon. 130.

77. Maad ümbritseva õhukihi olemasolu.

Nii nagu kõiki kehi, nii tõmbab Maa enda poole ka õhu koosseisu kuuluvate gaaside molekule.

Kuid miks ei lange siis kõik need molekulid Maa pinnale? Kui see juhtuks, siis kattuks Maa pind kihiga, mille paksus oleks umbes 10 m. Seda ei juhtu aga kunagi. Mil moel püsib Maad ümbritsev õhukiht, tema atmosfäär? Et seda mõista, tuleb arvestada, et atmosfääri kuuluvate gaaside molekulid liiguvad pidevalt ja korrapäratult.

Nüüd tekib aga teine küsimus — miks õhu molekulid ei lenda maailmaruumi laiali?

Asi on selles, et laialilendamiseks peavad molekulid nii nagu kosmoselaevad või raketid saama kiiruse,

mis ei ole väiksem kui 11,2 $\frac{km}{s}$. See on niinimetatud teine kosmiline kiirus. Maa atmosfääri molekulide keskmine kiirus on aga sellest kosmilisest kiirusest tunduvalt väiksem. Seepärast on enamik õhu molekule raskusjõu abil Maaga «seotud».

Näitlikult öeldes viib «võitlus» molekulide korrapäratu liikumise ja raskusjõu vahel selleni, et gaaside molekulid «hõljuvad» Maad ümbritsevas ruumis, moodustades vaba õhukihi ehk atmosfääri.

«Võitlusega» molekulide korrapäratu liikumise ja raskusjõu vahel võib selgitada ka õhu tiheduse kiiret vähenemist kõrguse suurenedes. Näiteks 5,4 km kõrgusel Maast on õhu tihedus 2 korda väiksem kui maapinnal, 11 km kõrgusel 4 korda väiksem jne. Mida kõrgemale, seda hõredam on õhk.

Ja lõpuks — kõige ülemistes kihtides (Maast sadade ja tuhandete kilomeetrite kõrgusel) läheb atmosfäär järk-järgult üle õhutühjaks ruumiks. Teravat piiri atmosfääril ei ole. Joonisel 130 on kujutatud molekulide paigutus Maa atmosfääris.

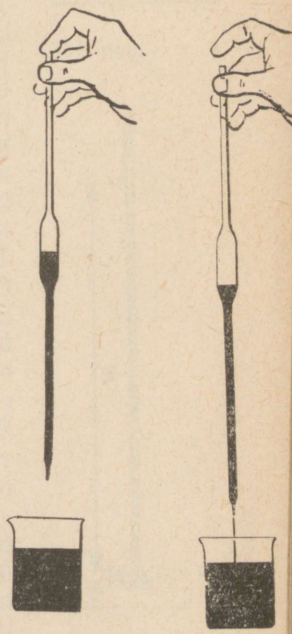
Rangelt võttes on gaasi tihedus mistahes suletud anumas raskusjõust tingituna erinevates kohtades erinev. Anuma põhjas on gaasi tihedus suurem kui ülemises osas, seepärast on ka rõhk anumas erinev — põhjas suurem kui ülemises osas. Need erinevused anumas oleva gaasi tiheduses ja rõhus on aga niivõrd väikesed, et need võib paljudel juhtudel jätta arvestamata.

Küsimused.

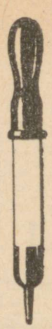
1. Mida nimetatakse atmosfääriks? 2. Miks ei lange kõigi atmosfääri koosseisu kuuluvate gaaside molekulid raskusjõu mõjul maapinnale? 3. Miks atmosfääri koosseisu kuuluvate gaaside molekulid, mis püüavad laiali lennata, ei eemaldu Maast? 4. Kui suur peab olema molekuli kiirus, et ta saaks ületada Maa raskusjõudu? 5. Millised kaks faktorit tagavad Maa atmosfääri eksisteerimise? 6. Missugune on Maa atmosfääri tihedus erinevatel kõrgustel? 7. Kas gaasi tihedus on kogu anuma ulatuses ühtlane?

Harjutus 25.

1. Joonisel 131 näeme Mohr'i pipetti, mida kasutatakse vedelikest proovide võtmiseks. Pipett lastakse vedelikku, suletakse siis sõrmega selle ülemine ots ning tõstetakse vedelikust välja. Kui pipeti ülemine ots avada, voolab vedelik pipetist välja. Tehke selline katse ning selgitage seadme töötamise põhimõtet.
2. Joonisel 132 on kujutatud pipett, seade vedelikutilkade saamiseks. Tehke pipetiga katse ning selgitage pipeti töötamise põhimõtet.

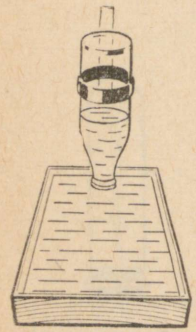


Joon. 131.



Joon. 132.

3. Missugust füüsikalist nähtust kasutatakse tindi võtmisel täitesulepeasse?
4. Joonisel 133 on kujutatud lindude automaatne jooginõu. Seade koosneb künakesest ja veega täidetud pudelist, mis on pööratud kummuli ning pistetud künakeses olevasse vette. Seejuures ulatub pudelisuu ainult veidi allapoole veepinda. Miks vesi pudelist välja ei voola? Kui vee nivoo künakeses alaneb ning pudelisuu veest välja jääb, voolab osa vett pudelist välja. Miks? Millal lõpeb vee väljavoolamine pudelist?
5. Kui plekk-karpi, mille kaanes on auk, tugevasti kuumutada ja seejärel auk tihedalt korgiga sulgeda, siis läheb karp pärast jahtumist lössi. Miks? Selgitage.



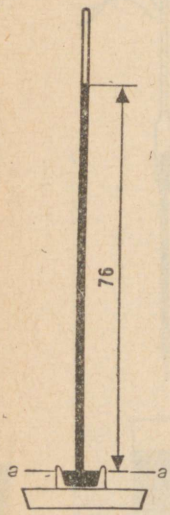
Joon 133.

78. Õhurõhu mõõtmine. Torricelli katse.

Õhurõhku ei saa arvutada analoogiliselt vedelikusamba rõhu arvutamisega (§ 68). Miks? Sellise arvutuse jaoks on tarvis teada atmosfääri kõrgust ja õhu tihedust. Kindlat piiri atmosfääril ei ole, õhu tihedus aga, mis Maa pinnal on suurim, väheneb kõrguse kasvamisel lõpuks nullini.

Õhurõhku võib mõõta katse abil, mida soovitas XVII saj. itaalia teadlane Torricelli.

Torricelli katse on järgmine. Umbes 1 m pikkune klaastoru täidetakse elavhõbedaga. Nüüd suletakse toru lahtine ots sõrmega, pööratakse toru ringi, pistetakse toru ots elavhõbedaanumasse ning alles elavhõbedas avatakse toru ots (joon. 134). Osa elavhõbedat voolab nüüd torust välja, torusse jääb aga vedelikusammas kõrgusega ligikaudu 760 mm. Elavhõbeda peal torus õhku ei ole, seal on õhutühi ruum.



Joon. 134.

Torricelli andis kirjeldatud katsele ka selgituse. Õhk rõhub anumas olevale elavhõbedale. Rõhk torus nivool *aa* (elavhõbeda nivoo anumas) on võrdne õhurõhuga (joon. 134). Kuna toru tühjas osas õhku ei ole, siis põhjustab rõhu torus nivool *aa* ainult elavhõbedasamba kaal.

Siit järgneb, et elavhõbedasamba rõhk torus on võrdne õhurõhuga.

Mõõtes elavhõbedasamba kõrguse Torricelli katses, võib arvutada rõhu, mida sammas avaldab. See aga on võrdne õhurõhuga.

Mida suurem on õhurõhk, seda kõrgem on elavhõbedasammas Torricelli katses. Seepärast on praktikas hakatud mõõtma õhurõhku elavhõbedasamba millimeetrites või sentimeetrites. Kui näiteks õhurõhk



Torricelli, Evangelista (1608—1647) — väljapaistev itaalia füüsik ja matemaatik. Torricelli leiutas elavhõbebaromeetri ning põhjendas elavhõbedasamba tõusu torus (Torricelli tühjuses) õhurõhu olemasoluga. Torricelli tegeles ka paljude teiste füüsika ja matemaatika probleemidega.

on 780 mm Hg, siis tähendab see, et õhk avaldab rõhku, mis on võrdne 780 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhuga.

Vaadeldes päevast päeva elavhõbedasamba kõrgust torus, märkas Torricelli, et see kõrgus muutub: kord suureneb, kord väheneb. Siit ta järeldas, et õhurõhk ei ole konstantne suurus, vaid võib muutuda. Torricelli märkas, et õhurõhu muutumine on seotud ilmastiku muutumisega.

Kinnitades Torricelli katses kasutatava elavhõbedaga täidetud toru külge vertikaalse skaala, saame lihtsa *elavhõbebaromeetri*[1] — õhurõhu mõõteriista.

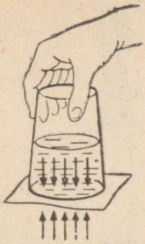
Näide. Õhurõhk on 760 mm Hg. Väljendada see rõhk $\frac{N}{m^2}$ -tes.

Selleks tuleb määrata 760 mm = 0,76 m kõrguse ja 1 m^2 ristlõike pindalaga elavhõbedasamba kaal.

Sellise elavhõbedasamba ruumala $V = 1\ m^2 \cdot 0{,}760\ m = 0{,}760\ m^3$; elavhõbeda tihedus $\varrho = 13\,600\ \frac{kg}{m^3}$; elavhõbeda mass $m = 13\,600\ \frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}760\ m^3 \approx 10\,300$ kg. Sellise elavhõbedasamba kaal $P = 10\,300\ kg \cdot 9{,}8\ \frac{N}{kg} \approx 103\,000$ N (tuletame meelde, et keha massiga 1 kg kaalub 9,8 N).

Elavhõbedasamba kaal oli aga võrdne õhurõhuga, järelikult õhurõhk $p = 103\,000\ \frac{N}{m^2}$ ehk $p = 1{,}03\ \frac{kG}{cm^2}$.

[1] Sõna «baromeeter» tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *baros* — raskus ja *metreō* — mõõdan.



Joon. 135.

Küsimused.

1. Miks ei saa õhurõhku arvutada samuti nagu vedeliku rõhku anuma põhjale või seintele? 2. Miks võib Torricelli katsega mõõta õhurõhku? Selgitage. 3. Mida tähendab lause: «Õhurõhk on 750 mm Hg»? 4. Kuidas väljendada õhurõhku ühikutes $\frac{N}{m^2}$ ja $\frac{kG}{cm^2}$? 5. Kuidas nimetatakse õhurõhu mõõteriista?

Harjutus 26.

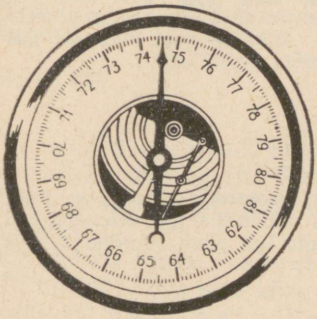
1. Pange klaas vette ning keerake sellel vee all põhi ülespoole. Nüüd tõstke klaas aeglaselt veest välja. Miks ei voola vesi seni, kuni tema serv jääb vette, klaasist välja?
2. Kallake klaasi vett, katke klaas paberitükiga, hoidke seda käega kinni ning pöörake klaas põhjaga üles. Kui nüüd käsi paberilt ära võtta, siis vesi klaasist välja ei voola (joon. 135). Paber oleks nagu klaasi serva külge kleebitud. Miks? Põhjendage oma vastust.
3. Ühest otsast kinni sulatatud ning teises otsas ventiiliga varustatud 1 m pikkusest torust pumbatakse õhk välja. Ventiiliga ots asetatakse elavhõbedasse ning avatakse ventiil. Kas elavhõbe täidab kogu toru? Mis juhtub, kui elavhõbeda asemel võtta vesi?
4. Kas oleneb elavhõbedasamba kõrgus Torricelli katses toru diameetrist? Põhjendage oma vastust.
5. Mis juhtub elavhõbedasambaga, kui toru Torricelli katses kallutada? Kuidas sellise kaldu oleva toru korral mõõta õhurõhku? Põhjendage vastust ning illustreerige seda joonisega.
6. Õhurõhu olemasolu tõestamiseks tegi Otto von Guericke Magdeburgis 1654. a. järgmise katse. Ta pumpas kahest tihedalt teineteise vastu asetatud metallpoolkerast õhu välja. Õhurõhk surus nüüd poolkerad nii tugevasti teineteise vastu, et

Joon. 136.

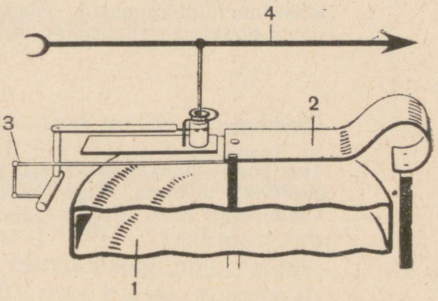


neid ei suutnud lahti tõmmata isegi kaheksa paari hobuseid (joon. 136). Arvutage poolkeradele mõjuv jõud, kui poolkerade pind, millele õhk rõhus, oli 2800 cm^2.

7. Kui kõrge oleks atmosfäär, kui õhu tihedus oleks kõikjal ühtlane ja nimelt 1,3 $\frac{kg}{m^3}$? Õhurõhu suuruseks võtta 760 mm Hg.
8. Kui suur oleks õhurõhk, kui atmosfääri kõrgus oleks 3000 km ning tihedus muutuks ühtlaselt 1,3 $\frac{kg}{m^3}$ (Maa pinnal) kuni nullini (3000 km kõrgusel)? Mis võib öelda selle ülesande alusel õhu tiheduse vähenemise kohta kõrguse suurenedes?



Joon. 137.



Joon. 138.

79. Aneroidbaromeeter.[1]

Praktikas kasutatakse õhurõhu mõõtmiseks metallbaromeetrit, mida nimetatakse *aneroidbaromeetriks.*

Aneroidbaromeetri välisvaade on kujutatud joonisel 137. Baromeetri tähtsamaks osaks on laineliste seintega metallkarbike *1* (joon. 138). Sellest karbist on õhk välja pumbatud. Et õhurõhk karpi ei purustaks, tõmmatakse tema kaant vedru *2* abil ülespoole. Kui nüüd õhurõhk väheneb, tõstab vedru karbi kaant üles. Vedru külge on ülekandemehhanismi *3* vahendusel kinnitatud osuti *4*. Viimane pöördub kas paremale või vasemale, olenevalt õhurõhu muutumisest. Osuti liigub skaalal, millele on kantud elavhõbebaromeetri näitude põhjal õhurõhu väärtused elavhõbedasamba millimeetrites. Arv 74,6, mille kohal

[1] Aneroid tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *a* — ei, *neros* — niiske ja *eidas* — välimus. Seega tähendaks aneroid tõlkes mittemärja välimusega riista (s. o. sellist, kus ei kasutata elavhõbedat).

seisab aneroidbaromeetri osuti joonisel 137, tähendab, et antud hetkel on elavhõbebaromeetris elavhõbedasamba kõrgus 746 mm.
Õhurõhu teadmine on vajalik lähemate päevade ilma ennustamiseks, sest õhurõhu muutumine on seotud ilmastiku muutumisega. Baromeeter on hädavajalik mööteriist meteoroloogilistel vaatlustel.

Küsimused.

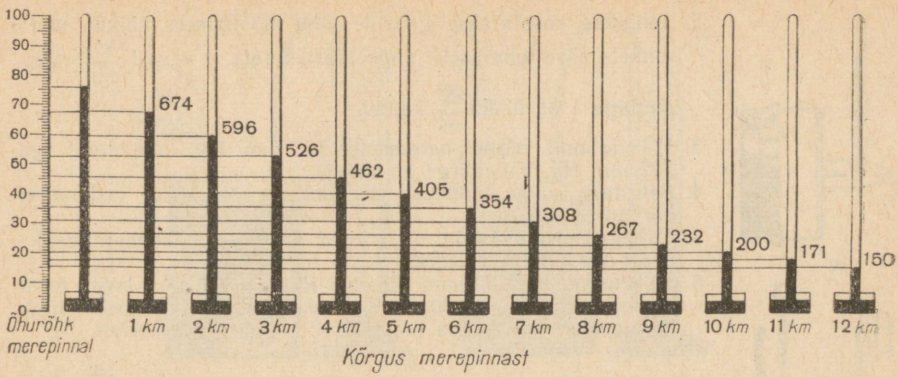
1. Kuidas on ehitatud aneroidbaromeeter? 2. Kuidas gradueeritakse aneroidbaromeetri skaalat? 3. Miks on vaja maakera paljudes punktides süstemaatiliselt mõõta õhurõhku?

Ülesanne.

Teie kooli füüsikakabineti seinal on baromeeter. Õppige selle abil õhurõhku mõõtma. Olge seejuures mööteriistaga ettevaatlikud. Valmistage tabel ning kandke sinna iga päev õhurõhu suurus.

80. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel.

Kõigis vedelikes on rõhk teatavasti (§ 67) erinevatel nivoodel erinev. Kuna vedelik on vähe kokkusurutav, siis on vedeliku tihedus erinevates sügavustes praktiliselt ühesugune. Seepärast oleneb rõhk vedelikus ainult vedelikusamba kõrgusest. Rõhk väheneb võrdeliselt vedelikusamba kõrguse vähenemisega. Nii näiteks väheneb rõhk vees 10 m ülespoole tõusmisega 10 $\frac{N}{cm^2}$ võrra, 20 m tõusmisega aga 20 $\frac{N}{cm^2}$, 30 m korral 30 $\frac{N}{cm^2}$ jne.
Gaasides on olukord keerulisem. Gaase võib tugevasti kokku suruda. Mida tugevamini aga gaas on kokku surutud, seda suurem on tema tihedus ning seda suuremat rõhku ta avaldab.
Maapinnal asuvat õhukihti suruvad kokku kõik selle peal olevad õhukihid. Mida kõrgemal maapinnast, seda vähem on õhk kokku surutud, seda väiksem on tema tihedus ning järelikult seda väiksem on tema rõhk.
Erinevalt vedelikest ei vähene õhurõhk võrdeliselt õhusamba vähenemisega.
Väga tundliku baromeetriga võib kindlaks teha, et õhurõhk on erinev isegi maja erinevatel korrustel.



Joon. 139.

Vaatlused näitavad, et merepinnal on õhurõhk keskmiselt 76 cm Hg ehk 760 mm Hg. Mida kõrgemal on koht merepinnast, seda väiksemat rõhku näitab baromeeter.

Õhurõhku, mis temperatuuril O°C tasakaalustab 76 cm ehk 760 mm kõrguse elavhõbedasamba, nimetatakse normaalseks õhurõhuks (normaalrõhuks).

Väikestel kõrgustel väheneb õhurõhk iga 12 m kohta 1 mm Hg võrra. Joonisel 139 on toodud õhurõhu vähenemine kõrguse suurenemisel.

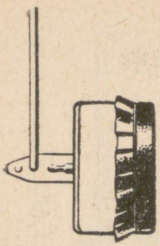
Teades õhurõhu seost kõrgusega, võib baromeetri näidu muutumise järgi määrata kõrguse merepinnast. Aneroidbaromeetreid, mille skaalalt võib vahetult lugeda tõusu kõrguse, nimetatakse *altimeetriteks*. Neid kasutatakse lennunduses ja alpinismis.

Küsimused.

1. Kuidas muutub vedeliku rõhk vedelikusamba kõrguse vähenemisel? Missugust suurust loetakse siin konstantseks? Miks? 2. Kuidas muutub vedeliku rõhk üleminekul anuma põhjast pealmistesse kihtidesse? 3. Kuidas selgitada, et õhurõhk ei vähene võrdeliselt kõrgusega maapinnast? 4. Missugust õhurõhku nimetatakse normaalseks? 5. Kuidas nimetatakse kõrgusemõõtjat, mille töötamine põhineb õhurõhul? Mida see mõõteriist endast kujutab?

Harjutus 27.

1. Rõhu mõõtühikuks võetakse füüsikas rõhk, mis on võrdne 760 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhuga, s. o. normaalne õhurõhk. Seda ühikut nimetatakse atmosfääriks (atm). Väljendage 1 atm $\frac{N}{m^2}$-tes ja $\frac{kG}{cm^2}$-tes.



2. Tehnikas kasutatakse gaaside rõhu mõõtmiseks ühikut, mida nimetatakse tehniliseks atmosfääriks (at). 1 at $= 1 \frac{kG}{cm^2}$. Väljendage 1 at ühiku $\frac{N}{m^2}$ kaudu.
3. Mäe jalamil näitab baromeeter 760 mm Hg, mäe tipul aga 722 mm Hg. Kui kõrge on mägi?
4. Selgitage, miks tunnevad reisijad lennuki kiirel laskumisel kõrvades valu.
5. Millega seletada seda, et lennuki tõusmisel hakkab täitesulepeast tinti välja tulema?
6. Kõrgus maapinnalt kuni Moskva Riikliku Ülikooli hoone torni alusplatvormini on 200 m. Kui suurt rõhu muutumist näitab baromeeter, kui tõusta maapinnalt sellele platvormile?



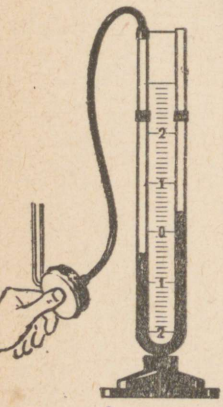
Ülesanne.

Mõõtke aneroidbaromeetriga õhurõhk koolimaja esimesel ja viimasel korrusel. Leidke saadud andmete alusel korrustevaheline kaugus. Kontrollige tulemust vahetu mõõtmisega.

81. Manomeetrid.

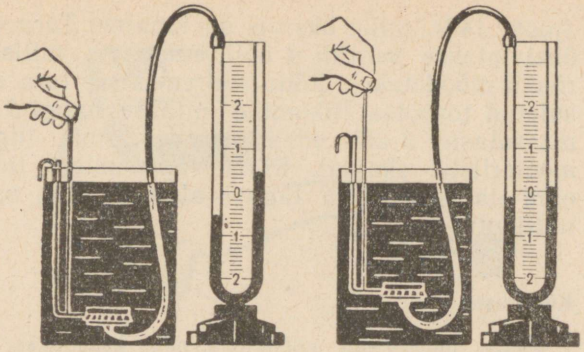
Rõhkude mõõtmiseks kasutatakse mõõteriistu, mida nimetatakse *manomeetriteks*[1]. On olemas vedelikmanomeetrid ja metallmanomeetrid.

Vaatleme kõigepealt *vedelikmanomeetri* (joon. 140, *c*) ehitust ja töötamise põhimõtet. Selline manomeeter koosneb u-kujulisest klaastorust, millesse on valatud mingi vedelik. Selleks et vaadata ja mõista, kuidas selline manomeeter töötab, ühendame ta kummivooliku abil karbiga, mille üheks seinaks on kummikile (joon. 140, *a, b*). Kui vajutada sõrmega kergelt kilele, siis manomeetri harus, mis on ühendatud karbiga, vedelik langeb, teises aga tõuseb (joon. 140, *c*). Kuidas seda selgitada? Kilele vajutamisel suureneb õhu rõhk. Pascali seaduse järgi antakse see rõhu suurenemine edasi vedelikule manomeetri selles harus, mis on ühendatud karbiga. Seepärast mõjub igale pinnale vedeliku sees, näiteks manomeetri kõige madalamas osas (paindekohas) ühelt poolt suurem rõhk kui teiselt poolt. Rõhkude vahe mõjul hakkab vedelik liikuma, kokkusurutud õhuga harus vedelik langeb, teises aga tõuseb. Vedeliku liikumine lõpeb (vedelik jääb tasakaalu), kui kokkusurutud õhu rõhk tasakaalustatakse rõhuga,



Joon. 140.

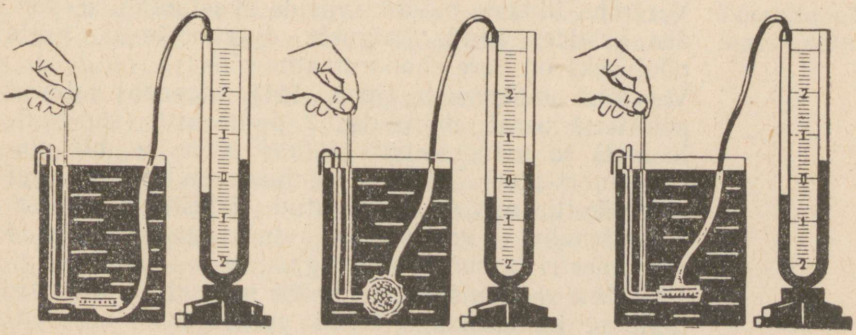
[1] Kreekakeelsetest sõnadest *manos* — hõre ja *metreō* — mõõdan.

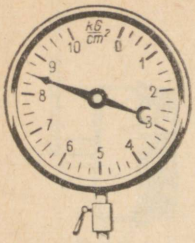


Joon. 141.

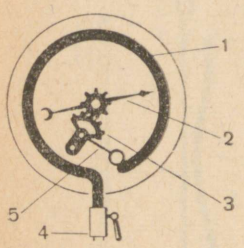
mille tekitab manomeetri harudes olevate vedelikusammaste vahega võrdne vedelikusammas.
Mida tugevamini rõhuda kummikilele, seda suuremaks saab vedelikusammaste vahe ning seda raskem on vastava kõrgusega vedelikusammas. Järelikult võib selle samba kõrguse (sammaste vahe) järgi hinnata rõhu suurust.
Joonisel 141 on näidatud rõhu mõõtmist vedeliku sees taolise manomeetri abil. Mida sügavamale vedelikku asetada karbike, seda suurem on vahe vedelikusammaste vahel manomeetri harudes ja järelikult seda suurem on rõhk vedelikus.
Jätame karbikese vedelikus mingile sügavusele ning pöörame kummikilet üles, alla ja kõrvale (joon. 142). Manomeetri näit seejuures ei muutu. Nagu võis arvata, on rõhk ühes ja samas sügavuses igas suunas ühesugune.
Joonisel 143 on kujutatud metallmanomeeter. Selle põhiliseks osaks on kaarekujuline metalltoru *1*

Joon. 142.





(joon. 143), mille üks ots on kinnine. Toru teine ots ühendatakse ventiili *4* abil anumaga, milles olevat rõhku mõõdetakse. Rõhu suurenemisel toru sirgeneb, suletud toruotsa liikumine antakse kangi *5* ja hammasrataste *3* abil edasi osutile *2*, mis liigub piki mõõteriista skaalat. Rõhu vähenemisel tuleb toru oma elastsuse tõttu tagasi algasendisse, osuti aga nulljaotusele.



Joon. 143.

Küsimused.

1. Kuidas nimetatakse mõõteriistu, mida kasutatakse õhurõhust suuremate või väiksemate rõhkude mõõtmiseks? 2. Kuidas on ehitatud lahtine vedelikmanomeeter ning kuidas ta töötab? 3. Kuidas on ehitatud metallmanomeeter?

Harjutus 28.

1. Lahtises vedelikmanomeetris on elavhõbe. Manomeetritoru üks haru on ühendatud anumaga, milles oleva gaasi rõhku on tarvis mõõta. Välise õhu rõhk on 760 mm Hg, anumaga ühendatud harus on elavhõbedasammas 10 cm madalamal kui teises. Kui suur on gaasi rõhk anumas?
2. Lahtises vedelikmanomeetris on piiritus. Anumaga ühendatud manomeetriharus on vedelik 20 cm madalamal kui teises harus. Õhurõhk on 750 mm Hg. Kui suur on gaasi rõhk anumas?

82. Vererõhu mõõtmine.

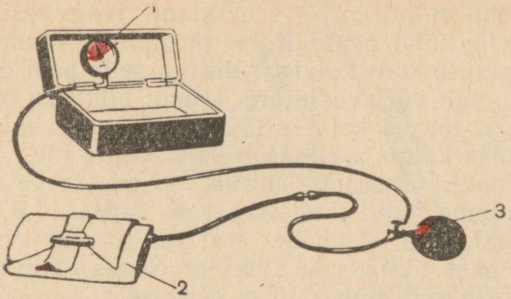
Täiendavaks lugemiseks.

Inimese vereringe tegevust võib võrrelda hüdraulilise masina tööga. Süda töötab pumbana, mis surub verd läbi veresoonte. Südame kokkutõmbumisel surutakse veri südamest arteritesse läbi klappide, mis ei lase verd südamesse tagasi. Seejärel süda lõdveneb ning täitub sel ajal veenidest ja kopsudest tuleva verega.

Vererõhu lihtsate mõõtmisviiside avastamine kergendas arstidel nende haiguste diagnoosimist, mille põhjuseks on vere ebanormaalne rõhk.

Vererõhu mõõteriist (joon. 144) koosneb kolmest põhilisest osast: mansetist *2*, pumbast *3* (survevalloonist) ja manomeetrist *1* (kas elavhõbe- või metallmanomeeter). Mansett kujutab endast lamedat kummikotti, mis on paigutatud riidest ümbrisesse. Kolmikmuhvi ja voolikute abil on mansett ühendatud manomeetri ja surveballooniga.

Vererõhu mõõtmiseks pannakse mansett ümber käe ülalpool küünarnukki. Nüüd pumbatakse mansetti



Joon. 144.

õhku, see suureneb ning surub käele seni, kuni vere voolamine arteris lõpeb. Stetoskoobi abil kuulab arst arterit ning laseb järk-järgult mansetist õhku välja. Kui rõhk mansetis saab võrdseks või väiksemaks vererõhust, kuuleb arst jällegi vere pulseerimist arteris. Vastav rõhk loetakse manomeetrilt ning see ongi vere suurimaks rõhuks (südame kokkutõmbumise ajal).

Arst jätkab õhu väljalaskmist mansetist. Kui heli muutumine näitab, et mansett enam vere liikumist ei takista, loetakse uuesti manomeetri näit. See on vere minimaalne rõhk.

Noorte tervete inimeste suurim vererõhk on 120—125 mm Hg, väikseim aga 70—75 mm Hg.

Küsimused.

1. Millega võib võrrelda inimese vereringe tegevust? 2. Kuidas töötab süda? 3. Missugustest põhilistest osadest koosneb vererõhu mõõteriist?

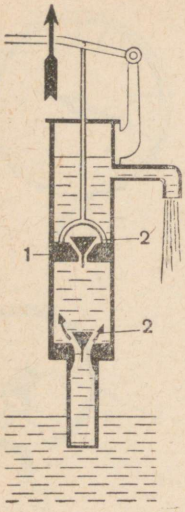
83. Vedeliku kolbpump.

Täiendavaks lugemiseks.

§ 76 kirjeldati, et klaastorus tõuseb vesi kolvi järel õhurõhu mõjul. Seda nähtust kasutatakse kolbpumpade ehitamisel.

Joonisel 145 skemaatiliselt kujutatud pump koosneb silindrist, milles liigub üles ja alla tihedalt vastu seinu liibuv kolb *1*. Silindri põhjas ja kolvis asuvad klapid *2*, mis avanevad ainult ülespoole. Kolvi ülesliikumisel tõuseb vesi välise õhurõhu mõjul silindrit veega ühendavasse torru, avab alumise klapi ja tungib kolvialusesse ruumi.

Kui kolb liigub alla, rõhub kolvi all olev vesi alumisele klapile ning suleb selle. Samal ajal avaneb vee



Joon. 145.

rõhu mõjul kolvis olev klapp ning vesi voolab läbi selle kolvi peale. Kolvi järgmisel liikumisel üles tõstetakse koos kolviga üles ka selle peal olev vesi, mis voolab väljavoolutoru kaudu pumbast välja. Samal ajal tõuseb kolvi alla uus veekogus, mis kolvi järgmise käigu ajal satub kolvi peale jne.

Teades õhurõhu suurust, ei ole raske arvutada, et pumba kolvi järel võib vesi tõusta 13,6 korda kõrgemale kui elavhõbe, sest vee tihedus on elavhõbeda omast 13,6 korda väiksem. Seega saab kolbpumbaga tõsta vett umbes 10 m kõrgusele.

Küsimused.

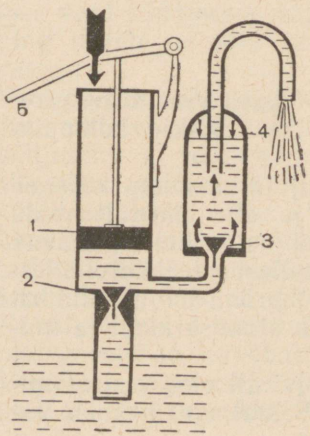
1. Missugust nähtust kasutatakse kolbpumba töös? 2. Kuidas on ehitatud ning kuidas töötab lihtne kolbpump? 3. Kui suurest sügavusest (maksimaalselt) võib pumbata vett ülalkirjeldatud pumbaga?

Harjutus 29.

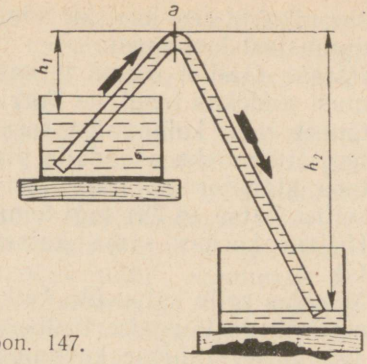
1. Kui suurele (maksimaalsele) kõrgusele saab kolbpumbaga pumbata elavhõbedat (vt. joon. 145)? Põhjendage vastust.
2. Kui suurele kõrgusele saab selle pumbaga pumbata piiritust?
3. Kirjeldage õhukambriga kolbpumba tööd (joon. 146). Millist osa etendab selles pumbas õhukamber? Kas saab selle pumbaga tõsta vett rohkem kui 10,3 m sügavuselt?

Ülesanne.

Joonisel 147 on kujutatud sifooni, mida kasutatakse vedeliku valamiseks ühest anumast teise. Seejuures peab vedeliku pind ühes anumas olema kõrgemal kui teises. Vedelik voolab esimesest anumast teise. Selleks et sifoon hakkaks tööle, on vaja toru eelnevalt täita vedelikuga, sulgeda mõlemad toru otsad



Joon. 146. Õhukambriga kolbpump *1* — kolb; *2* — sisseimemisklapp on suletud; *3* — surveklapp on avatud; *4* — õhukamber; *5* — pumba käepide.



Joon. 147.

sõrmedega, pöörata toru ümber ning pista mõlemad otsad vedelikku nii, nagu on kujutatud joonisel.
Klaastoru asemel võib kasutada kummivoolikut.
Valage sellise sifooni abil vett ühest anumast teise.

1. Miks toru täitev vedelikusammas ei katke? Millist osa etendab siin õhurõhk?
2. Miks ei jää vesi tasakaalu, vaid voolab vedelikusamba pikema osa poole?

Näpunäide. Toru ristlõike a juures on vedeliku rõhk vasakult H-h_1, paremalt H-h_2. Siin on H normaalrõhk, mis on väljendatud antud vedelikusamba kõrgusega; h_1 ja h_2 — vedelikusammaste kõrgused sifoontorus. Ei ole raske näha, et H-h_1>H-h_2.

84. Õhurõhu avastamise ajalugu.

Täiendavaks lugemiseks.

Õhurõhu avastamisel on pikk ja õpetlik ajalugu. Nii nagu paljud teised teaduslikud avastused, on ka see tihedalt seotud inimeste praktiliste vajadustega.
Pumba ehitus oli tuttav juba kauges minevikus. Vana-kreeka õpetlane Aristoteles ja tema õpilased seletasid vee tõusmist kolvi järel sellega, et «loodus kardab tühjust». Selle nähtuse tõeline põhjus — õhurõhk — ei olnud neile teada.
XVII sajandi esimese poole lõpul ehitati pumpasid Itaalia rikkas kaubalinnas Firenzes. Nende pumpade abil taheti pumbata vett suurele kõrgusele, kuid pumbad «tõrkusid».
Pöörduti nõuküsimisega Galilei poole. Galilei uuris pumpasid ning leidis, et need on korras, kuid ei suuda tõsta vett kõrgemale kui 18 itaalia küünart (ligikaudu 10 m).
Galilei oli siis juba väga vana, kui ta nende küsimustega tegelema hakkas ning ei suutnud neid lahendada. Pealegi oli Galilei seisnud äsja inkvisit-

sioonikohtu ees, kus talt nõuti oma teaduslikest veendumustest loobumist.
Pärast Galilei surma jätkas tema teaduslikke uurimusi andekas teadlane Torricelli. Teda huvitas, miks tõuseb vesi kolbpumba torus kolvi järel. Torricelli tegi ettepaneku asendada pikk läbipaistmatu pumbatoru klaastoruga ning vesi elavhõbedaga. Esimese sellise katse (§ 78) tegi tema õpilane Viviani 1643. a. Hiljem kordas sama katset mitu korda Torricelli ise.
Mõeldes selle katse üle, tuli Torricelli järeldusele, et elavhõbeda tõusmise tõeliseks põhjuseks on õhurõhk, aga mitte «tühjuse kartmine». Selle rõhu põhjuseks on õhu kaal. Et õhul on kaal, selle tegi kindlaks juba Galilei ning Torricellil oli see teada.
Korrates elavhõbedasamba kõrguse mõõtmisi, tegi Torricelli kindlaks, et see aja jooksul muutub. Ta mõistis, et õhuookeani rõhk ühes ja samas maakohas ei ole alati ühesugune ning oleneb atmosfääri olukorrast antud ajal. Ta näitab, et oma katseriista abil võib jälgida atmosfääri olukorda ning isegi ennustada ilma. Seega on Torricelli baromeetri leiutaja.
Kui Torricelli tegi teatavaks oma katsed ja järeldused, puhkes teadlaste vahel uuesti äge vaidlus. Torricelli kinnitas, et torus elavhõbeda peal on õhutühi ruum. Aristotelese järglased aga kinnitasid, et see on võimatu, kuna Aristoteles õpetas, et loodus kardab tühjust.
Torricelli katsetest sai teada prantsuse teadlane Pascal. Pascal kordas Torricelli katset elavhõbeda ja veega. Algul lähtus ta veel Aristotelese õpetusest, kuid pärast tutvumist Torricelli õpetusega õhurõhu olemasolust võttis selle kiiresti omaks.
Pascal aga arvas, et õhurõhu olemasolu fakti tõestamiseks on vaja veel ühte otsustavat katset.
Pascal otsustas teha Torricelli katse üks kord mingi mäe jalamil ja teine kord selle tipus ning mõõta mõlemal juhul elavhõbedasamba kõrgus torus. Kui elavhõbedasammas osutub mäe tipul lühemaks kui mäe jalamil, siis võib sellest järeldada, et elavhõbe püsib torus tänu õhurõhule.
«On kerge mõista,» ütles Pascal, «et mäe jalamil on õhurõhk suurem kui tema tipul, kuna pole mingit alust oletada, et loodus kardab tühjust all rohkem kui üleval.»
Pascal korraldaski sellise katse ning selle tulemused hämmastasid kõiki. Õhurõhk mäe tipus, kus need katsed läbi viidi, oli ligi 100 mm Hg väiksem kui mäe jalamil. Kuid Pascal ei piirdunud üksnes selle kat-

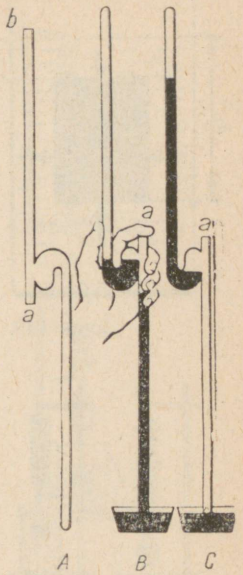
sega. Selleks et veel kord tõestada, et elavhõbedasammast hoiab Torricelli katses ülal õhurõhk, tegi Pascal katse, mida ta piltlikult nimetas tühjuse tõestamiseks tühjuses (joon. 148).

Kahe avaga (*a* ja *b*) klaastoru täideti kaldasendis elavhõbedaga, kusjuures ava *a* suleti sõrmega. Nüüd suleti sõrmega ka ava *b* ning toru pöörati ümber ja asetati otsapidi elavhõbedaga täidetud nõusse *B*. Siis võeti sõrm avalt *b* (mitte aga avalt *a*). Osa elavhõbedat voolas nüüd anumasse *B*, torusse *ab* aga jäi elavhõbedasammas, mille kõrgus oli võrdne baromeetrisamba kõrgusega (joon. 148, *B*). Mingi osa elavhõbedat jäi ka toru painutatud osasse. Seejuures on elavhõbe nii pikas kui lühikeses osas ühekõrgusel, sest mõlemas harus on õhutühi ruum.

Nüüd eemaldatakse sõrm ka avalt *a*, kuhu see kõvasti kinni oli jäänud. Samal hetkel voolab elavhõbe torust *ab* anumasse, painutatud osast aga tõuseb elavhõbe toru ülemisse ossa baromeetrisamba kõrgusele (joon. 148, *C*).

Seega ei toimunud elavhõbeda tõusmine toru ülemisse ossa mitte mingi «tühjuse kartmise» pärast, vaid on seletatav ainult õhurõhuga elavhõbedale.

Kirjeldatud Pascali katsed lükkasid lõplikult ümber Aristotelese teooria «tühjuse kartmisest» ning kinnitasid Torricelli õpetust õhurõhu olemasolust.



Joon. 148.

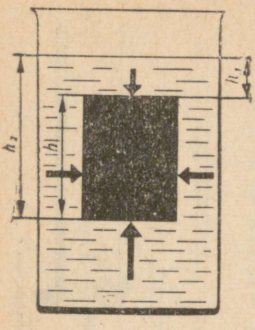
Küsimused.

1. Kuidas põhjendasid vana-kreeka teadlane Aristoteles ja tema järglased vee tõusmist pumbatorus kolvi järel? 2. Millise nähtusega puutusid kokku Firenze kaevumeistrid? 3. Kuidas selgitas Torricelli vee tõusmist kolvi järel? Millise katse ta soovitas teha? 4. Miks Torricelli katsed ja õpetus õhurõhu olemasolust ei veennud Aristotelese väärõpetuse järgijaid? 5. Missugused kaks katset tegi Pascal selleks, et veenvalt tõestada õhurõhu olemasolu?

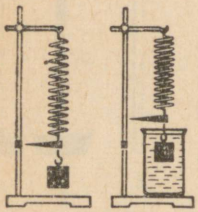
85. Vedeliku ja gaasi mõju temasse asetatud kehale.

Me teame (§ 67, 68), et vedelik rõhub anuma põhjale ja seintele. Kui aga vedelikku asetada mingi tahke keha, siis avaldab vedelik ka sellele rõhku.

Vaatleme rõhumisjõude, millega vedelik mõjub temasse asetatud kehale. Arutluse kergendamiseks valime risttahukakujulise keha, mille ülemine ja alu-



Joon. 149.



Joon. 150.

mine tahk on vedeliku pinnaga paralleelsed (joon. 149). Külgtahkudele mõjuvad rõhumisjõud on võrdsed ning tasakaalustavad üksteist. Need jõud püüavad keha ainult kokku suruda.

Jääb üle vaadelda rõhumisjõude horisontaalsetele tahkudele.

Ülemisele tahule rõhub vedelikusammas kõrgusega h_1 ülalt alla jõuga F_1, alumisele tahule vedelikusammas kõrgusega h_2 alt üles jõuga F_2.

h_2 on aga suurem kui h_1, seega ka F_2 on suurem kui F_1. Järelikult on rõhumisjõud kehale alt üles suurem kui ülalt alla. Seepärast lükatakse keha vedelikus üles jõuga F, mis on võrdne vahega $F_2—F_1$. Selles, et vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud, võib kergesti veenduda katseliselt. Joonisel 150, *a* on kujutatud keha, mis on riputatud vedru otsa. Vedru otsa külge on kinnitatud osuti. Vedru pikenemine fikseeritakse osuti asendi järgi statiivil. Kui vedru otsa riputatud keha asetada vette, siis vedru lüheneb (joon. 150, *b*).

Täpselt samasugune vedru lühenemine toimub siis, kui vedru otsa riputatud kehale mõjuda mingi jõuga alt üles (näiteks käega).

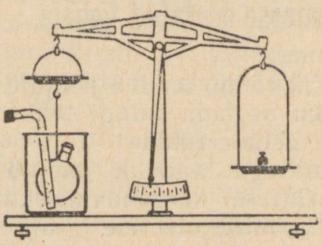
Järelikult kinnitab katse, et *vedelikku asetatud kehale mõjub jõud, mis lükkab teda vedelikust välja* (üleslükkejõud).

Selle jõu olemasolu selgitab, miks me vee all suudame kergesti tõsta kivi, mille tõstmine õhus on raske. Kui pista kork vee alla ning lasta siis käest lahti, tõuseb see kiiresti veepinnale.

Me teame, et gaasid on paljus lähedased vedelikele. Nende kohta kehtib samuti Pascali seadus. Seepärast *kehale, mis on paigutatud gaasi, mõjub jõud, mis tõukab keha gaasist välja.* Just sellise jõu mõjul tõusevad üles õhupallid.

Et gaasi asetatud kehale mõjub üleslükkejõud, võib samuti veenduda katseliselt.

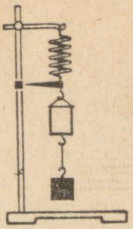
Kangkaalude külge riputatakse klaaskera või suur kolb, mis on suletud korgiga. Kaalukausid tasakaalustatakse. Nüüd asetatakse kolvi (või kera) alla lai



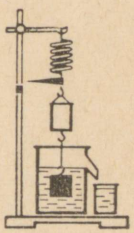
Joon. 151.

anum selliselt, et kolb mahuks tervenisti selle sisse. Anum täidetakse süsihappegaasiga. Kaalukausside tasakaal kaob. Kaalukauss selle alla kinnitatud kolviga tõuseb üles (joon. 151). Süsihappegaasi asetatud kehale mõjus üleslükkejõud, mis on tunduvalt suurem õhu poolt avaldatud üleslükkejõust.

Vedeliku või gaasi poolt kehale avaldatav üleslükkejõud on vastupidine sellele kehale mõjuva raskusjõuga. Seepärast on tulemused, mis saadakse kehade kaalumisel vedelikus või gaasis, üleslükkejõu võrra väiksemad nende kehade kaalust vaakuumis (tühjuses).



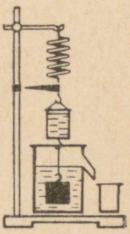
a



b

Küsimused.

1. Kuidas tõestada Pascali seaduse alusel vedelikku asetatud kehale mõjuva üleslükkejõu olemasolu? 2. Kuidas näidata katseliselt, et vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud? 3. Missugused igapäevasest elust tuntud nähtused viitavad üleslükkejõu olemasolule vedelikus? 4. Kuidas näidata katseliselt, et gaasi asetatud kehale mõjub üleslükkejõud?



c

Joon. 152.

86. Üleslükkejõud.

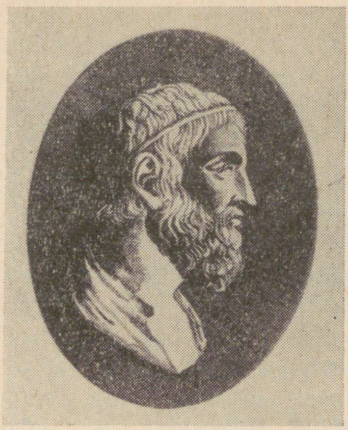
Pöördume veel kord joonise 149 juurde. Sellel joonisel on F_1 vedelikusamba rõhumisjõud sügavusel h_1, F_2 aga rõhumisjõud sügavusel h_2. Esimene neist mõjub ülalt alla, teine alt üles.

$F_2 - F_1 = F$ — see on jõud, mis tõukab keha vedelikus üles. Jooniselt 149 selgub, et see jõud on võrdne sellise vedelikusamba kaaluga, mille kõrgus on $h_2 - h_1$. Selle vedelikusamba ruumala on võrdne vedelikus oleva keha ruumalaga. Tõepoolest, $h_2 - h_1 = h$, kuid h on meie risttahuka kõrgus. Korrutades selle põhja pindala S kõrgusega h, saame risttahuka ruumala $V = S(h_2 - h_1) = Sh$.

Jõud, mis tõukab vedelikku või gaasi asetatud keha üles, on võrdne vedeliku või gaasi kaaluga keha ruumala suuruses.

Seda järeldust võib kontrollida katseliselt.

Vedru külge kinnitatakse ämbrike ja silinder, mille ruumala on võrdne ämbrikese sisemise ruumalaga. Vedru pikenemine fikseeritakse osuti vahendusel statiivil (joon. 152, *a*). Nüüd tõstetakse silinder üles, asetatakse selle alla ülevooluanum vedelikuga ning lastakse siis silinder üleni vedelikku (joon. 152, *b*).



Archimedes (287—212 e. m. a.) — antiikkreeka teadlane. Ta oli esimene mehhaanika aluste rajaja. Archimedesele kuulub palju mitmesuguseid tehnilisi leiutusi (veetõstuk, viskerelvad jne.).

Seejuures voolab silindri ruumalaga võrdne hulk vedelikku ülevooluanumast klaasi. Vedru külge kinnitatud osuti tõusis samal ajal ülespoole, sest vedru lühenes, kuna silindrile mõjub nüüd peale raskusjõu veel jõud, mis lükkab teda vedelikus ülespoole. Kui silindri poolt ülevooluanumast väljatõrjutud vedelik kallata ämbrikesse, täitub see ääreni, sest silindri ja ämbrikese ruumalad olid võrdsed. Osuti võtab nüüd jällegi asendi, mille me oma katse algul statiivile märkisime (joon. 152, *c*). Katse kinnitab, et jõud, mis lükkab keha vedelikus ülespoole, on võrdne selle vedeliku kaaluga, mille keha välja tõrjus.

Kui samasugune katse korraldada kehaga, mis on asetatud mingisugusesse gaasi, siis selguks, et ka gaasi poolt kehale avaldatav üleslükkejõud on võrdne keha poolt väljatõrjutud gaasi kaaluga.

Jõudu, mis tõukab vedelikku või gaasi asetatud keha ülespoole, nimetatakse *üleslükkejõuks* või ka *arhimeedese jõuks* vana-kreeka teadlase Archimedese auks, kes näitas, kuidas selle jõu suurust arvestada.

Küsimused.

1. Kuidas arvestada teoreetiliselt vedelikku asetatud kehale mõjuvat üleslükke suurust? 2. Kui suur on vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud? 3. Kuidas saab katseliselt määrata vedelikku asetatud kehale mõjuvat üleslükkejõudu? 4. Kuidas nimetatakse jõudu, millega vedelik või gaas lükkab üles temasse asetatud keha?

Harjutus 30.

1. Kaalukangile on riputatud kaks ühesuguse kaaluga silindrit — üks pliist, teine alumiiniumist. Kaalud on tasakaalus. Kas tasakaal kaob, kui asetada mõlemad kehad vette? piiritusse? Põhjendage vastust. Kontrollige vastuse õigsust katseliselt. Kuidas sõltub üleslükkejõud keha ruumalast?
2. Kaalukangile on riputatud kaks ühesuguse ruumalaga alumiiniumsilindrit. Kas tasakaal kaob, kui asetada üks keha vette, teine piiritusse? Põhjendage vastust. Kontrollige vastust katseliselt. Kas oleneb üleslükkejõud vedeliku tihedusest?
3. Kaalukangile on riputatud kaks ühesuguse ruumalaga silindrit, üks rauast, teine alumiiniumist. Täiendava koormuse abil viiakse kaalukang tasakaalu. Kas tasakaal muutub, kui mõlemad kehad paigutada vette?
4. Mõelge välja katse, millega saab näidata, et vedelikus mõjub üleslükkejõud ka sinna paigutatud teisele vedelikule ja gaasile.
5. Rauatüki ruumala on 0,1 dm^3. Kui suur üleslükkejõud mõjub sellele kehale vees? petrooleumis?
6. 0,02 dm^3 ruumalaga vasksilinder riputati dünamomeetri otsa ja lasti siis vette. Kui suurt jõudu näitab seejuures dünamomeeter?
7. Kett kannatab 7 T raskust koormust. Kas saab selle ketiga tõsta vee all 4 m^3 ruumalaga graniitrahnu?
8. Keha kaal õhus on 26 000 N, vees 16 000 N. Kui suur on keha ruumala?
9. Kas üleslükkejõud muutub, kui keha paigutada sügavamale vette? Põhjendage vastust.
10. Kuidas on võimalik üleslükkejõudu kasutades määrata tahke keha tihedust?
11. Kuidas on võimalik üleslükkejõu abil määrata vedeliku (näiteks piirituse) tihedust?

87. Legend Archimedesest.

Täiendavaks lugemiseks.

On olemas legend, mille järgi Archimedes avastas üleslükkejõu, mõeldes ülesandele, mille talle andis Sürakuusa valitseja (250 a. e. m. a.).

Valitseja tegi Archimedesele ülesandeks kontrollida kuldkrooni valmistanud meistri ausust. Vaatamata sellele, et kroon kaalus täpselt niisama palju, kui anti kulda selle valmistamiseks, tekkis valitsejal kahtlus, kas ei ole kroon valmistatud kulla ja vähemväärtuslike metallide sulamist. Archimedes pidi ilma krooni lõhkumata kindlaks tegema, kas selles on lisandeid või mitte.

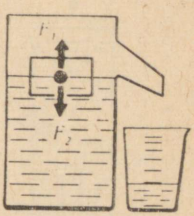
Ei ole teada, milliseid meetodeid Archimedes kasutas, kuid võib oletada järgmist. Algul tegi ta selgeks, et puhas kullatükk on 19,3 korda raskem kui sama ruumalaga veehulk. Teisiti öeldes — kulla tihedus on 19,3 korda suurem kui vee tihedus. Analoogilised võrdlused tegi Archimedes ka vasega, pliiga, hõbe-

daga ja teiste metallidega, mille kasutamist krooni valmistamisel võis oletada.
Archimedesel oli vaja kindlaks määrata krooni tihedus. Kui krooni tihedus ületab vee tiheduse vähem kui 19,3 korda, siis ei ole kroon valmistatud puhtast kullast.
Kaaluda oli krooni lihtne. Kuidas aga leida selle ruumala? Selle määramist takistas krooni väga keeruline kuju.
Palju päevi kiusas see ülesanne Archimedest. Kord kui Archimedes oli saunas ning läks veega täidetud vanni, sähvatas tal äkki peast läbi mõte, mis andis ülesandele lahenduse.
Oma avastusest erutatud juubeldav Archimedes hüüatas «Heureka! Heureka!», mis tähendab — leidsin, leidsin!
Archimedes kaalus krooni algul õhus ja siis vees. Kaalude vahe andis talle üleslükkejõu, mis arvuliselt on võrdne vee kaaluga krooni ruumala suuruses. Määranud selliselt krooni ruumala, võis ta arvutada tiheduse. Teades tihedust, võib aga vastata valitseja küsimusele, kas kuldkroonis on odavamate metallide lisandeid.
Legend räägib, et krooni tihedus osutus puhta kulla tihedusest väiksemaks. Sellega avastati meistri pettus, teadus aga rikastus suurepärase avastusega.
Ajaloolased räägivad, et ülesanne kuldkrooniga ergutas Archimedest tegelema kehade ujumise küsimusega. Selle tulemuseks oli suurepärane teos «Ujuvatest kehadest», mis on säilinud tänaseni.
Seitsmenda väite selles teoses formuleeris Archimedes järgmiselt: «Kehad, mis on vedelikust raskemad, vajuvad selles ikka sügavamale, seni kuni nad pole jõudnud põhja. Seejuures kaotavad nad oma kaalust niipalju, kuipalju kaalub vedelik selle keha ruumalas.»

Harjutus 31.

Oletame, et Sürakuusa valitseja kuldkroon kaalus õhus 2 kG, vees aga 1,875 kG. Kui suur on krooni aine tihedus?
Eeldades, et kullale oli lisatud ainult hõbedat, tehke kindlaks, kui palju oli kroonis kulda ja kui palju hõbedat.
Ülesande lahendamisel võtta kulla tiheduseks 20 000 $\frac{kg}{m^3}$ ja hõbedal 10 000 $\frac{kg}{m^3}$.

88. Kehade ujumine.



Joon. 153.

Vedeliku sees olevale kehale mõjub kaks jõudu — raskusjõud, mis on võrdne keha kaaluga ning suunatud vertikaalselt alla, ja üleslükkejõud, mis on suunatud vertikaalselt üles.

Nende jõudude mõjul hakkab keha liikuma suurema jõu suunas.

Seejuures võib esineda kolm järgmist juhust:

1) kui kaal on suurem kui üleslükkejõud, laskub keha põhja, s. o. upub; 2) kui kaal on üleslükkejõuga võrdne, võib keha olla tasakaalus vedeliku mistahes kohas; 3) kui keha kaal on üleslükkejõust väiksem, tõuseb keha vedeliku pinnale, s. o. ujub.

Vaatleme üksikasjalisemalt viimast juhust.

Kui vedelikust väljakerkiv keha jõuab vedeliku pinnale, siis tema edasisel ülesliikumisel üleslükkejõud väheneb. Miks? Aga sellepärast, et väheneb keha poolt väljatõrjutava vedeliku hulk, üleslükkejõud on aga võrdne selle vedelikuhulga kaaluga.

Kui üleslükkejõud saab võrdseks keha kaaluga, siis keha tõusmine lõpeb, keha jääb vedeliku pinnale ujuma, olles osaliselt vedelikus.

Saadud järeldust on kerge katseliselt kontrollida. Ülevooluanumasse (joon. 153) valatakse vett kuni väljavoolutoru servani (parem, kui osa vett isegi välja voolab). Pärast seda asetatakse vette keha, mille kaal on varem kindlaks määratud.

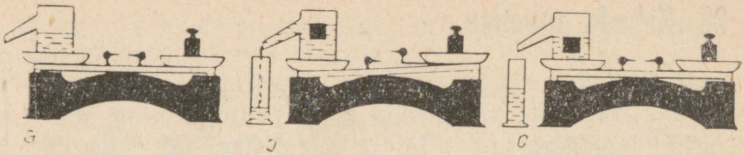
Vette lastud keha surub välja veehulga, mille ruumala on võrdne vees oleva kehaosa ruumalaga.

Kui keha poolt väljatõrjutud vesi (see lastakse voolata mensuuri) ära kaaluda, selgub, et see kaalub niisama palju kui vette lastud keha.

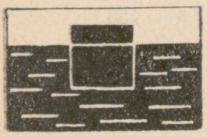
Kui teha samasugused katsed teiste kehadega, mida pannakse ujuma mitmesugustesse vedelikesse — vette, piiritusse, soola lahusesse jne. — siis veendume, et ujuva keha kaal on alati võrdne selle keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

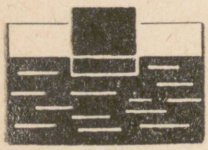
Küsimused.

1. Kuidas näidata katseliselt, et ujuva keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal on võrdne keha kaaluga? 2. Millega on võrdne üleslükkejõud, mis mõjub vedeliku pinnal ujuvale kehale? 3. Millal vedelikus olev keha tõuseb vedelikus üles? ujub? upub?

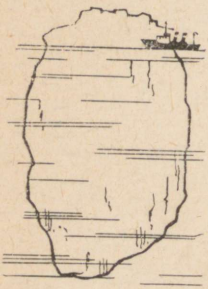


Joon. 154.





Joon. 155.



Joon. 156.

Harjutus 32.

1. Kaalul on tasakaalustatud ülevooluanum veega (joon. 154, *a*). Vette lastakse puitklots. Selle tulemusena kaalu tasakaal kaob (joon. 154, *b*). Kui aga kogu keha poolt väljatõrjutud vesi on anumast välja voolanud, jääb kaal uuesti tasakaalu (joon. 154, *c*). Selgitage seda nähtust.
2. Miks raske laev ujub, vette kukkunud nael aga upub?
3. Joonisel 155 on kujutatud ühe ja sama keha ujumist erinevates vedelikes. Kumma vedeliku tihedus on suurem? Miks? Mida võib mõlemal juhul öelda keha kaalu ja üleslükkejõu kohta?
4. Puidust õngekork koos selle all oleva pliist koormusega lastakse algul vette, siis aga petrooleumi. Kummaski vedelikus kork ei upu. Kummas vedelikus istub kork sügavamalt?
5. Millist koormust võib veepinnal hoida korkvest ruumalaga 5 dm^3, kui ta on tervenisti vees?
6. Jäämägi ujub vees (joon. 156) selliselt, et tema veealuse osa ruumala on 1 000 000 m^3. Leidke mäe ruumala ja kaal, kui merevee tihedus on 1030 $\frac{kg}{m^3}$.
7. Kanamuna upub tavalises vees, kuid ujub soolvees. Selgitage miks. Vaadelge seda ise katseliselt.
8. Kujutage graafiliselt jõud, mis mõjuvad vette asetatud kehale, kui see tõuseb pinnale; upub.
9. U-torus tasakaalustavad teineteist vesi ja elavhõbe. Kas muutub vedelike kokkupuutepinna kõrgus, kui mõlemasse harusse panna ujuma ühesugused puitkuulid? Lahendage ülesanne, kui 1) toru mõlema ristlõike pindalad on võrdsed; 2) harude ristlõigete pindalad on erinevad.

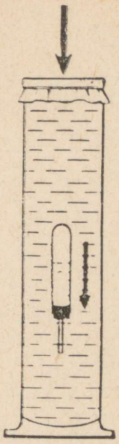
Ülesanne.

Tuntud prantsuse teadlane R. Descartes (1596—1650) mõtles mõnede hüdrostaatiliste printsiipide näitamiseks välja huvitava seadme.

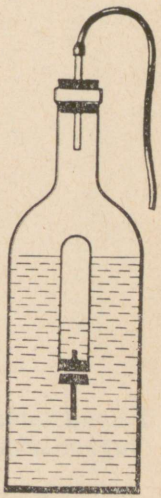
Kõrge klaasanum (purk) täideti veega selliselt, et üles jäi väike kogus õhku. Anumasse lasti väike õõnes klaaskujuke. Viimane oli osaliselt täidetud veega, osaliselt õhuga, nii et ta ainult õige veidi veest välja ulatus. Pealt suleti klaasanum tihedalt õhukese nahatükiga. Nahale vajutamisega võis vastavalt soovile lasta kujukest ujuda vees, vee peal või siis uputada.

Valmistage selline seade ning tehke sellega katseid. Kujuke asendage väikese ujukiga (õngekorgiga), anum sulgege kummikilega (joon. 157, *a*).

Sellise seadme teine variant on kujutatud joonisel 157, *b*. Õhku puhutakse pudelisse suuga läbi kummivooliku.
Selgitage seadme tegevust.
Näidake, et selle seadmega võib demonstreerida Pascali seadust, üleslükkejõudu ja kehade ujumise seadusi.



a



b

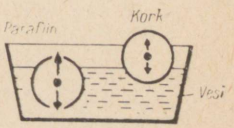
Joon. 157.

89. Kehade ujumise sõltuvus keha ja vedeliku tihedusest.

Olenevalt keha ja vedeliku tihedusest võib üks ja sama keha ühes vedelikus ujuda, teises aga uppuda. Näiteks ujub parafiinitükk vees, petrooleumis aga upub. Seda on kerge katseliselt kontrollida.
Me teame, et keha ujub, kui vedeliku poolt temale avaldatav üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga. Üleslükkejõud on aga võrdne vedeliku kaaluga vedelikus oleva kehaosa ruumala suuruses.
Kui keha tihedus on väiksem kui vedeliku tihedus, siis on vedeliku kaal keha ruumala suuruses suurem kui keha enda kaal. Selline keha vajub vedelikku ainult osaliselt, s. o. ujub vedeliku pinnal.
Parafiini tihedus on $900\frac{kg}{m^3}$, vee tihedus aga 1000 $\frac{kg}{m^3}$. See tähendab, et 1 m^3 parafiini kaalub 9000 N, 1 m^3 vett aga 10 000 N. Seepärast ujubki parafiinitükk vee pinnal.
Mida väiksem on keha tihedus võrreldes vedeliku tihedusega, seda väiksem osa kehast jääb vedelikku (joon. 158).
Kui keha tihedus on vedeliku tihedusest suurem, siis isegi üleni vedelikus olles on keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal ning järelikult üleslükkejõud väiksem kui keha kaal. Selline keha upub vedelikus. Petrooleumi tihedus on $800\frac{kg}{m^3}$, seepärast upubki parafiinitükk petrooleumis.

Küsimused.

1. Keha tihedus on vedeliku tihedusest väiksem. Kas keha ujub vedelikus või upub? Selgitage. 2. Keha tihedus on vedeliku tihedusest suurem. Kas selline keha ujub või upub vedelikus? Selgitage. 3. Kuidas sõltub ujuva keha vedelikus asetsemise sügavus keha tihedusest?



Joon. 158.

Harjutus 33.

1. Kuidas paigutuvad ühes anumas kolm omavahel mittesegunevat vedelikku — vesi, petrooleum ja elavhõbe?
   Juhis. Kasutage ainete tiheduste tabelit.
2. Kuidas paiknevad vett, petrooleumi ja elavhõbedat sisaldavas anumas kolm kuuli — korgist, parafiinist ja terasest? põhjendage vastust.
3. Kas jäätükk ujub bensiinis? petrooleumis? glütseriinis?
4. Tehke tiheduste tabeli abil kindlaks, millised metallid ujuvad elavhõbedas ja millised upuvad.
5. Puuanum ja plekkanum on täidetud ääreni veega. Kas need anumad upuvad, kui nad asetada vette?
6. Miks terasest laev ei upu, kuigi terase tihedus on suurem kui veel?
7. Miks vette pandud puutükk tõuseb pinnale, kivi aga vajub põhja?
8. Kui rauatükk kukub ookeani, kas ta vajub kuni põhjani? Selgitage.
9. Millega selgitada seda, et teatud vilumuse korral võib liikumatult lebada seljali veepinnal, kusjuures keha on peaaegu täielikult vees?
10. Kus on kergem inimest hoida, kas jõepinnal, mageda veega järve pinnal või merepinnal? Selgitage.

Ülesanne.

Kirjeldage, kuidas allveelaev sukeldub vette, sõidab vees ning tõuseb veepinnale. Kasutage selleks populaarteaduslikku kirjandust.

90. Laevade ujumine.

Täiendavaks lugemiseks.

Jõgedes, järvedes ja meredel sõitvad laevad on ehitatud mitmesugustest erineva tihedusega materjalidest. Laevakere tehakse harilikult teraslehtedest. Kõik sisemised ühendused, mis annavad laevale tugevuse, tehakse samuti mitmesugustest metallidest. Laevade ehitamisel kasutatakse veel kümneid teisi materjale, mille tihedus on vee tihedusest kas suurem või väiksem.

Miks aga suudavad laevad veepinnal püsida ning küllalt suuri koormaid vedada?

Katse ujuva kehaga (§ 88) näitas, et keha surub oma veealuse osaga välja sellise veehulga, mille kaal on võrdne keha kaaluga. See kehtib ka kõigi laevade kohta. Laeva veealuse osa poolt väljasurutud vee kaal on võrdne laeva ja selle koorma kaaluga.

Sügavust, milleni laev vajub vette, nimetatakse laeva *süviseks.*

Suurim lubatud süvis märgitakse laevakerele punase joonega. Seda joont nimetatakse *süvisejooneks*. Süvisejooneni vees istuva laeva poolt väljatõrjutud vee kaalu tonnides, mis on võrdne laeva ja sellel oleva koorma kaaluga, nimetatakse laeva *veeväljasurveks* (tonnaažiks).
Tänapäeval ehitatakse tanklaevu (nafta vedamiseks) veeväljasurvega kuni 200 000 T.
Meie maal on palju laevatatavaid jõgesid, suuri järvi ja meresid. Nõukogude võimu ajal ehitatud kanalid võimaldasid ühendada omavahel viis merd: Musta, Aasovi, Kaspia, Balti ja Valge mere. Meie maal on tihedad kaubandussidemed teiste riikidega. Veetransport on kõige odavam transpordiliik, kõige erinevamate koormate vedamiseks. Seepärast on veetranspordil meie maal väga suur tähtsus. Iga aastaga kasvab meie mere- ja jõelaevastik.

Küsimused.

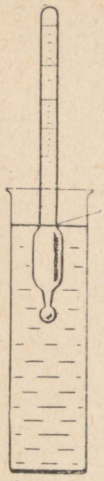
1. Millel põhineb laevade ujumine? 2. Mida nimetatakse laeva süviseks? 3. Mis on süvisejoon? 4. Mis on laeva veeväljasurve?

Harjutus 34.

1. Kuidas muutub laeva süvis sõitmisel jõest merre? Põhjendage vastust.
2. Auriku ristlõike pindala veejoonel on jões 5400 m². Pealelaaditud koorma mõjul suurenes süvis 40 cm. Arvutage laevale laaditud koorma kaal.
3. Laev kaalub 10 000 T. Kui palju vett tõrjub välja see laev?
4. 8 m pikkuse ja 4 m laiuse puitparvega veetakse koormat. Kui suure koorma mõjul suureneb parve süvis 20 cm võrra? Parv on ristkülikukujuline.

91. Areomeetrid.

Katseklaasi võib puistata niipalju liiva või haavleid, et ta ujub vees vertikaalasendis. Kui sama katseklaas asetada nüüd piiritusse, mille tihedus on veega võrreldes väiksem, siis vajub katseklaas sügavamale. Suurema tihedusega vedelikes vajub selline katseklaas aga vähem vedelikku. Seda vaadeldi juba § 89. Katseklaasile võib kanda jaotused, mis märgivad vedelike tihedusi (gradueerida katseklaasi skaala) ning me saame mõõteriista, mida nimetatakse *areomeetriks*.
Harilikult kujutavad areomeetrid endast peenikest



a



b

Joon. 159.

klaastoru, mille alumine osa on tunduvalt jämedam ja lõpeb ballasti reservuaariga (ruum koormuse jaoks). Sellise kujuga areomeeter ujub vedelikus vertikaalselt.

Joonisel on kujutatud kaks sellist vees ujuvat areomeetrit. Esimene neist (joon. 159, *a*) on määratud veest väiksema tihedusega vedelike, teine aga (joon. 159, *b*) veest tihedamate vedelike jaoks. Mõlemad areomeetrid ujuvad vees, olles vajunud sellesse jaotuseni 1000, mis märgib vee tihedust. Esimene areomeeter vajub piirituses sügavamale kui vees, seepärast on temal jaotused kantud vee tihedusest ülespoole (1000, 990, 980 jne.). Teine areomeeter vajub näiteks väävelhappesse vähem kui vette, tema jaotused on vee tihedusest allpool (1000, 1010, 1020 jne.). Sageli ei märgi jaotused areomeetri skaalal mitte tihedust, vaid tihedusest sõltuvat suurust. Nii on olemas areomeetrid, mis näitavad piirituse kangust (spirtomeeter), suhkru protsenti lahuses (sahharimeeter), piima rasvasisaldust (laktomeeter) jne.

Küsimused.

1. Kuidas selgitada seda, et koormusega katseklaas vajub piirituses sügavamale kui vees? Kui sügavale vajub see katseklaas keedusoola vesilahuses, võrreldes veega? 2. Milleks kasutatakse areomeetreid? 3. Nimetage kaht tüüpi areomeetreid. Mille poolest nad teineteisest erinevad? 4. Millel põhineb lahuse, suhkruprotsendi, piirituse kanguse ja piima rasvasisalduse määramine areomeetriga?

Ülesanne.

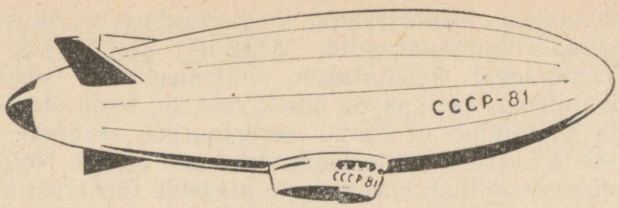
Valmistage katseklaasist ja haavlitest või pliitükikestest areomeetrid nii veest kergemate kui ka raskemate vedelike tiheduse mõõtmiseks. Pange mõõteriistad vette ning märkige skaalal sügavus, milleni nad vette vajusid. Joonte juurde kirjutage vee tihedus. Edasi asetage vastav areomeeter järgimööda keedusoola lahusesse, petrooleumi (või bensiini) ning märkige skaalal sügavused, milleni mõõteriist vajus.

92. Sõitmine õhus.

Täiendavaks lugemiseks.

Juba ammu unistasid inimesed pilvede kohal lendamisest, sõitmisest õhuookeanis samuti kui merel. Õhusõidukiteks kasutati kõigepealt õhupalle (joon. 161).

Algul täideti õhupalle sooja õhuga. Praegu täidetakse neid gaasidega — kas vesiniku või heeliumiga. 1 m^3



Joon. 160.

vesinikku kaalub normaalrõhul ainult 0,9 N, heelium aga 1,8 N. Samal ajal kaalub 1 m^3 õhku 13 N. Siit järgneb, et 1 m^3 mahuga õhupall, mis on täidetud vesinikuga, võib tõsta koorma 13 N — 0,9 N ≈ 12 N. Selle raskuse hulka tuleb arvestada ka palli kesta kaal. Seepärast on arusaadav, miks viimane peab olema võimalikult kerge.

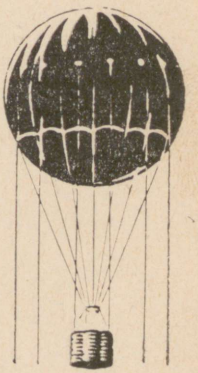
1 m^3 õhu ja sama koguse gaasi kaalude vahet nimetatakse *1 m^3 gaasi tõstejõuks*. Järelikult on 1 m^3 vesiniku tõstejõud 12 N, 1 m^3 heeliumi tõstejõud aga 13 N — 1,8 N ≈ 11 N.

Vesiniku tõstejõud on suurem kui heeliumil, kuid õhupallide täiteks on siiski sobivam heelium, sest see gaas ei põle.

Mida kõrgemale tõuseb õhupall, seda väiksemaks jääb temale mõjuv üleslükkejõud, sest ülemiste kihtide hõre õhk palli ruumala suuruses kaalub vähem kui maapinnal. Selleks et tõusta kõrgemale, tuleb liiv kottidest alla heita. Selle tulemusena muutub õhupall kergemaks. Lõppude lõpuks saavutab õhupall tõusu maksimaalse kõrguse. Laskumiseks tuleb õhupallist spetsiaalse klapi kaudu osa gaasi välja lasta.

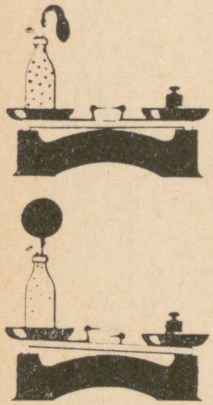
Atmosfääride ülemiste kihtide uurimiseks lastakse maa paljudest kohtadest iga päev üles väikseid, 1—2 m diameetriga õhupalle, nn. sondpalle. Need pallid tõusevad 35—40 km kõrgusele. Pallide külge on kinnitatud kerged mõõteriistad, mis raadio teel annavad maapinnale informatsiooni lennu kõrguse, õhurõhu, temperatuuri ja õhuniiskuse kohta. Palli liikumissuuna ja lennukiiruse järgi võib hinnata tuule suunda ja tugevust mitmesugustel kõrgustel. Selliste sondpallide abil saadavad andmed on väga vajalikud ilmade ennustamiseks.

Joonisel 160 on kujutatud õhust kergem juhitav lennuaparaat — dirižaabel, mida 30—40 aastat tagasi kasutati lendamiseks. Dirižaabli panid liikuma propellerid, mis töötasid mootorite jõul. Dirižaablite uuesti kasutuselevõtmise küsimustega tegelevad tänapäeval teadlased ja insenerid.



Joon. 161.

Õhupallid, stratostaadid ja dirižaablid on õhust kergemad lennuaparaadid.
Tänapäeval kasutatakse õhutranspordis põhiliselt lennukeid. Lennuk on õhust raskem, tema startimine ja lendamine ei toimu aerostaatika seaduste, vaid teiste keerulisemate loodusseaduste alusel. Neid seadusi vaadeldakse vanemate klasside füüsikakursuses.



Joon. 162.

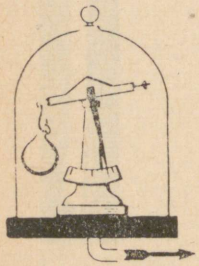
Küsimused.

1. Mida nimetatakse 1 m^3 gaasi tõstejõuks? 2. Missugustel gaasidel on suurim tõstejõud? 3. Kuidas muutub üleslükkejõud õhupalli tõusmisel? 4. Kuidas toimub õhupalli laskumine? 5. Kuidas nimetatakse õhust kergemat juhitavat lennuaparaati?

Ülesanne.

1. Koostage ettekanne õhusõidu ajaloost.
2. Koostage ettekanne dirižaablite ehituse ja kasutamise kohta.
3. Koostage ettekanne nõukogude stratonautide lendude kohta.

Harjutus 35.



Joon. 163.

1. Kaalui on tasakaalustatud pudel suruõhuga. Läbi pudeli korgi on pandud ventiiliga klaastoru, toru välimise otsa küljes on õhupalli kest (joon. 162, *a*). Kui osa õhku läheb pudelist õhupalli ning paisutab selle kerakujuliseks, siis kaalu tasakaal kaob (joon. 162, *b*). Selgitage seda nähtust.
2. Kaalukausi ühele otsale on kinnitatud kerge klaaskera (joon. 163). Kera on tasakaalustatud kangi teisele otsale kinnitatud koormusega. Kui paigutada kirjeldatud seade õhupumba kupli alla ning pumbata sealt õhk välja, siis kaalukangi tasakaal kaob. Miks?
3. 100 dm^3 ruumalaga kummipall on täidetud vesinikuga. Kui palju on selline pall samasugusest õhuga täidetud pallist kergem?
4. 1500 m^3 ruumalaga õhupall on täidetud heeliumiga (1 m^3 heeliumi kaalub 1,8 N). Palli kest ja gondel kaaluvad kokku 2500 N. Kas suudab selline õhupall tõsta viit reisijat, kui iga reisija kaalub 650 N?

TÖÖ JA VÕIMSUS. ENERGIA.

93. Mehhaaniline töö.

Sõna «töö» on meile kõigile hästi tuntud. Igapäevases elus kasutatakse seda sõna aga teises, hoopis laiemas tähenduses kui teaduses. Tavaliselt me nimetame ju tööks igasugust töölise, inseneri, teadlase või õpilase kasulikku tegevust.

Töö mõiste füüsikas on piiratum. Füüsikas uuritakse eelkõige mehhaanilist tööd.

Mehhaanilist tööd tehakse keha nihutamisel temale rakendatud jõu mõjul.

Vaatleme mehhaanilise töö näiteid.

Kivile mõjub raskusjõud. Kivi langemisel tehakse mehhaanilist tööd.

Elektri- või diiselveduri veojõud paneb liikuma rongi. Seejuures tehakse mehhaanilist tööd.

Püssist laskmisel paneb püssirohugaaside rõhumisjõud kuuli rauas liikuma. Seejuures kuuli kiirus kasvab. Ka kirjeldatud protsessi nimetame me mehhaaniliseks tööks.

Mehhaanilist tööd tehakse ka siis, kui kehale mõjuv jõud (näiteks hõõrdejõud) vähendab liikumise kiirust. Kui liikuvale kehale mõjub jõud, siis tehakse alati mehhaanilist tööd. Kui ei ole liikumist, ei ole ka tööd. Kõie otsas rippuvale kehale mõjub küll raskusjõud, kuid jõu rakenduspunkt edasi ei nihku ning mehhaanilist tööd seejuures ei tehta.

Soovides nihutada kappi, mõjume me sellele jõuga. Kui aga kapp selle tulemusena liikuma ei hakka, siis me mehhaanilist tööd ei tee. Jõud on, kuid *liikumist ei ole ning ei ole ka tööd.*

Võib ette kujutada olukorda, kus keha liigub ilma jõu mõjuta (inertsi mõjul). Ka sellisel kujuteldaval juhul mehhaanilist tööd ei tehta.

Jõu olemasoluta ei ole tööd.

Nüüd võime öelda, et mehhaanilist tööd teeb künd-

misel atra vedav traktor, teel sõitev auto, ehitusmaterjale tõstev kraana, käru vedav poiss, koormatud rege vedav hobune jne. Kõigil mainitud juhtudel on tegemist jõuallika (mootor, inimene või loom) poolt arendatava jõuga.
Rääkides edaspidi mehhaanilisest tööst, nimetame seda lühidalt tööks.

Küsimused.

1. Mida mõeldakse igapäevases elus sõna *töö* all? 2. Missugused kaks tingimust peavad olema täidetud mehhaanilise töö tegemiseks? 3. Missugustel loetletud juhtudel tehakse mehhaanilist tööd: tütarlaps mängib klaverit; inimene seisab ning hoiab seljas viljakotti; tööline toetub õlaga vastu ust; poiss ronib puu otsa; vesi rõhub anuma seintele? 4. Nimetage mõni kasulik tegevus, mida võiks nimetada ka mehhaaniliseks tööks. 5. Kas võib pärdiku jändamist pakuga Krõlovi vastavas valmis nimetada mehhaaniliseks tööks? tööks? Põhjendage. 6. Kas poisid jalgpalli mängides teevad mehhaanilist tööd? Kas võib öelda, et poisid seejuures töötavad? 7. Siledat jääd mööda veereb teraskuul. Oletame, et kuuli liikumistakistust (hõõrdumine vastu jääd ja õhutakistus) ei esine. Kas tehakse antud juhul mehhaanilist tööd?

94. Töö. Tööühikud.

Väga tarvilik on osata arvutada mingi jõu poolt tehtud töö hulka. On kerge mõista, et tehtud töö hulk oleneb kahest suurusest — jõu suurusest ja tee pikkusest.
Oletame, et me tõstsime 1 kg massiga keha 1 m kõrgusele. Selleks tuleb meil rakendada 9,8 N suurust jõudu. Seejuures teeme me kindla hulga tööd. Selleks et tõsta samale kõrgusele 5 kg massiga keha, tuleb rakendada 5 korda suuremat jõudu. Tehtud töö on sel korral samuti 5 korda suurem.
Tõepoolest, tööd, mis tehti 5 kg keha tõstmisel 1 m kõrgusele, võib vaadelda kui 1 kg keha tõstmist 1 m kõrgusele 5 korda järjest. Järelikult tehti 5 kg keha tõstmisel 1 m kõrgusele 5 korda suurem töö kui 1 kg keha tõstmisel 1 m kõrgusele.
Tõstame nüüd 1 kg massiga keha mitte 1 m kõrgusele, vaid näiteks 3 m kõrgusele. Tööd esimesel, teisel ja kolmandal meetril on ilmselt ühesugused. Seepärast on ka töö keha tõstmisel 3 m kõrgusele 3 korda suurem sellest tööst, mis tehti keha tõstmisel 1 m kõrgusele.

Vaadeldud näidetest selgub, *mehhaanilise töö hulk on võrdeline jõuga ja läbitud tee pikkusega.* Seepärast mõõdab mehhaanilist tööd jõu ja selle jõu mõjumise suunas läbitud tee pikkuse korrutis: töö = jõud × tee-pikkus ehk $A = Fs$, kus A on töö, F — jõud ja s — läbitud tee pikkus.

Töö = = jõud × tee

$A = Fs$

Mehhaaniline töö on füüsiline suurus, mille mõõtmiseks tuleb kõigepealt valida mõõduühik.

Töö mõõduühikuks võetakse selline tööhulk, mille teeb ühikuline jõud ühikulisel teel.

Kui jõuühikuks võtta 1 N, teeühikuks aga 1 m, saame tööühikuks 1 njuutonmeetri. Sellist ühikut nimetatakse inglise teadlase Joule'i auks *džauliks* (J). Joule viis läbi töö mõõtmise seisukohalt teadusele väga tähtsaid katseid.

1 džaul = 1 njuuton × 1 meeter ehk 1 J = 1 N · m.

Kui jõuühikuks võtta 1 kG (massikilogrammi etaloni kaal selle hoiukohas Sèvres'is Pariisi lähedal), teeühikuks aga 1 m, saame tööühikuks 1 kilogrammmeetri. 1 kG · m = 1 kG · 1 m. Kuna 1 kG = 9,8 N, siis

$1\ \text{kG} \cdot \text{m} = 9{,}8\ \text{J}$. $1\ \text{J} = \frac{1}{9{,}8}\ \text{kG} \cdot \text{m} \approx 0{,}102\ \text{kGm}$.

Tööühikut 1 kGm kasutati varem praktikas väga ulatuslikult. Seda ühikut kasutati ka vanades füüsikaõpikutes.

Küsimused.

1. Missugusest kahest suurusest oleneb tehtud töö hulk? 2. Mis on mehhaanilise töö mõõduks? 3. Kirjutage töö arvutamiseks valem. 4. Missuguste ühikutega mõõdetakse tööd? 5. Defineerige tööühik džaul. 6. Kuidas defineeritakse tööühik kilogramm-meeter? 7. Missugune seos on 1 J ja 1 kGm vahel? 8. Millise oletuse me teeme, kinnitades, et 1 kg massiga keha tõstmisel 3 m kõrgusele tehtud töö on selle keha 1 m kõrgusele tõstmisel tehtud töö kolmekordne.

95. Näiteid mehhaanilise töö arvutamisest.

Näide 1. Kündmisel veab traktor atra 10 000 N suuruse jõuga. Kui suure töö teeb traktor 200 meetriga?

Lahendus. Kasutades § 94 toodud tööhulga arvutamise valemit, saame:

$A = Fs$; $A = 10\,000\ \text{N} \cdot 200\ \text{m} = 2\,000\,000\ \text{J} = 2 \cdot 10^6\ \text{J}$.

Näide 2. Kui palju tööd võib teha 10 kg massiga keha vabal langemisel 5 m kõrguselt?

Lahendus. Kehale mõjub keha kaaluga võrdne raskusjõud $P = 10\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{m}} = 98\ \text{N}$. See jõud mõjub vertikaalselt alla. Samas suunas langeb ka keha. Seega langeva keha tee ja jõu suund ühtivad. Sel juhul on töö võrdne keha kaalu ja langemise kõrguse h korrutisega:

$A = Ph;\ A = 98\ \text{N} \cdot 5\ \text{m} = 490\ \text{J}$.

Näide 3. Puitkasti nihutatakse mööda horisontaalset puitpõrandat 20 m. Kui palju tehakse seejuures tööd, kui hõõrdejõud on 400 N?

Lahendus. Selle ülesande juures ei saa eelmiste näidete eeskujul korrutada kasti kaalu läbitud tee pikkusega, sest tööd teeb antud olukorras hõõrdejõuga F_h võrdne jõud:

$F = F_h = 400\ \text{N}$

Seepärast töö $A = Fs;\ A = 400\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} = 8000\ \text{J}$.

Näide 4. Arvutada töö, mis tehakse 0,5 m^3 ruumalaga graniitplaadi tõstmisel 20 m kõrgusele. Graniidi tihedus $\varrho = 2500\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Lahendus. Plaadi tõstmise tööd väljendab valem

$A = Ph$,

kus P on plaadi kaal, mille võib arvutada plaadi massist lähtudes.

Teades plaadi ruumala ning graniidi tihedust, võib arvutada plaadi massi:

$m = \varrho V;$

$m = 2500\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}5\ \text{m}^3 = 1250\ \text{kg}.$

Plaadi kaal $P = 1250\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 12\,250\ \text{N}.$

Töö $A = 12\,250\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} = 245\,000\ \text{J}$.

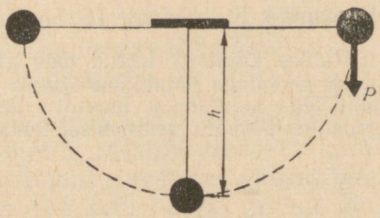
Ülesanne.

1. Arvutage töö, mille te teete, tõustes koolimaja esimeselt korruselt teisele. Kõik arvutamiseks vajalikud andmed hankige ise, tulemus kirjutage vihikusse.
2. Arvutage töö, mille te teete, läbides 1 km pikkuse horisontaalse teelõigu. Tulemus kirjutage vihikusse.

Juhis. Mööda horisontaalset teed liikuv inimene teeb seejuures 0,05 sellest tööst, mida ta teeks teepikkusega võrdsele kõrgusele tõusmisel.

Harjutus 36.

1. Kraana tõstis 2500 kg massiga koormuse 12 m kõrgusele. Kui palju tööd seejuures tehti?
2. Kui palju tööd tehakse 20 t massiga suruõhuhaamri tõstmisel 120 cm kõrgusele?
3. 2,4 cm paksuse laua saagimisel tõmbab õpilane saagi 50 cm, rakendades seejuures 60 N suurust jõudu. Kui palju kulub tööd selle laua katkisaagimiseks, kui iga saetõmbega lõikab saag lauda 2 mm sügavuselt.
4. Kas tehakse ühepalju tööd vihi tõstmisel 1 m kõrgusele ja selle vedamisel mööda lauda samuti 1 m kaugusele? Põhjendage vastust vastava katse alusel.
5. Elektrivedur veab 5 km ühtlaselt 3000-tonnise massiga rongi. Leidke veduri poolt sellel teel tehtud töö. Hõõrdejõud moodustab 0,003 kogu rongi kaalust.
6. Veoauto veojõud sõitmisel mööda kruusatatud maanteed kiirusega $54\frac{km}{h}$ on 1750 N. Arvutada auto mootori poolt ühe tunni jooksul tehtud töö.
7. Gaasi 5 atm rõhu mõjul liikus mootori kolb 0,5 m. Leida gaasi poolt tehtud töö, kui kolvi pindala on 300 cm^2.
8. Teraslati pikkus on 8 m, laius 25 cm ning paksus 4 cm. Terase tihedus on 7800 $\frac{kg}{m^3}$. Kui palju tuleb teha tööd selle lati lohistamisel mööda horisontaalset põrandat 50 m kaugusele? Hõõrdejõud on 0,2 lati kaalust.
9. Sammuv ekskavaator haarab korraga 14 m^3 pinnast ning tõstab selle 20 m kõrgusele. Ekskavaatori kopa mass ilma koormata on 2 t. Arvutada ekskavaatori mootori poolt tehtav töö kopa ja pinnase tõstmisel. Pinnase tihedus on 1500 $\frac{kg}{m^3}$.



Joon. 164.

10. 3 m pikkune redel on pandud vastu seina selliselt, et selle ots on põrandast 2 m kõrgusel. Kui palju tööd teeb 70 kg massiga inimene seda redelit mööda üles tõustes?
11. Kui palju tööd teeb 0,5 kg massiga pendel langemisel 1 m kõrguselt (joon. 164)?

Juhis. Pendel liigub mööda ringjoone kaart, raskusjõu poolt tehtud töö arvutamiseks tuleb teepikkuseks võtta *h*, mis läbiti jõu mõjumise suunas.

96. Töö graafiline kujutamine.

Täiendavaks lugemiseks.

Mehhaanilise töö suurust võib kujutada graafiliselt. Selleks märgitakse graafiku horisontaalteljele läbitud tee pikkus, vertikaalteljele aga jõud (joon. 165, *a*). Seejuures tuleb nii tee kui jõud kujutada valitud mastaabis, näiteks 1 cm — 1 N ja 1 cm — 1 m. Tehtud tööd kujutab ristküliku *ABCD* pindala (joon. 165, *a*), mis on ehitatud graafikul jõudu ja teed märkivatele sirglõikudele. Meie poolt valitud mastaabis vastab 1 cm^2 pindalale 1 J tööd.

Kui tööd teeb muutuva suurusega jõud, siis kujutab graafiliselt seda tööd ristkülikust keerulisem kujund (joon. 165, *b*). Sellise kujundi pindala on ligikaudu võrdne väga väikeste ristkülikute pindalade summaga. Mida rohkem on neid ristkülikuid, seda vähem erineb nende pindalade summa meie keerulise kujundi pindalast.

Kujutame graafiliselt töö, mida tehakse vedru venitamisel. Vedru elastsusjõud, mida venitamisel tuleb ületada, kasvab (alates nullist) võrdeliselt pikenemisega. Graafiliselt kujutab seda sirglõik *OA* (joon. 165, *c*).

Vedru venitamisel pikkuse *OB* võrra tehtud tööd kujutab kolmnurga *OAB* pindala.

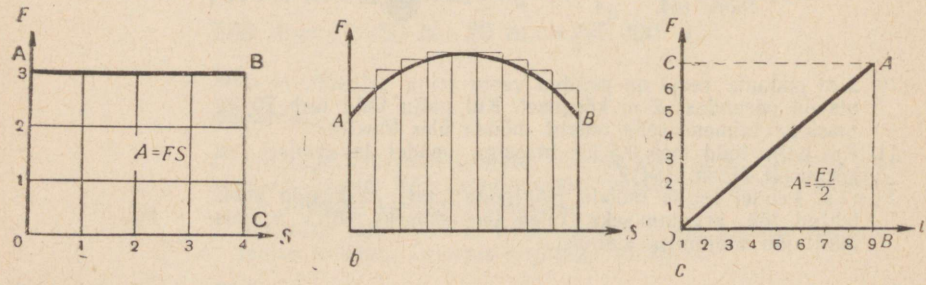
Kui elastsusjõud venitamise lõpul on *F*, venitamise pikkus *l*, siis on ilmselt töö $A = \frac{F \cdot l}{2}$.

Graafiliselt kujutab tööd täisnurkse kolmnurga *OAB* pindala, mis on võrdne ristküliku *OCAB* poole pindalaga.

Küsimused.

1. Kuidas kujutada tehtud tööd graafiliselt? 2. Missuguse kujundi pindalaga kujutatakse jääva jõu tööd? 3. Millise kujundi pindalaga kujutatakse muutuva jõu tööd? 4. Kuidas kujutada graafiliselt vedru venitamisel tehtavat tööd?

Joon. 165.



97. Võimsus. Võimsusühikud.

Tehnikas on väga tähtis teada, kui kiiresti töö ära tehakse. Ühe ja sama mehhaanilise töö teevad erinevad jõumasinad erineva ajaga. Näiteks tõstab kraana ehitusplatsilt mõne minutiga hoone ülemisele korrusele mitusada tellist. Kui samad tellised peaks üles tassima tööline, kuluks tal selleks terve päev.

Teine näide. Hea hobune võib hektari põldu üles künda 10—12 tunniga, mitmehõlmalise adraga traktor teeb sama töö aga 40—50 minutiga.

On selge, et kraana teeb tööd kiiremini kui inimene ning traktor kiiremini kui hobune. Töötegemise kiirust iseloomustab tehnikas eriline suurus, mida nimetatakse *võimsuseks.*

Selleks et arvutada võimsust, tuleb töö hulk jagada ajaga, mille jooksul see töö tehti. Võimsus $= \frac{\text{töö}}{\text{aeg}}$.

Kui tähistada võimsust tähega N, tööd tähega A ja aega tähega t, siis saame kirjutada võimsuse arvutamise valemi järgmiselt: $N = \frac{A}{t}$.

Võimsus on arvuliselt võrdne ajaühikus tehtud tööga.

Võimsusühikuks võetakse selline võimsus, mille juures ajaühikus tehakse tööühikuga võrdne töö.

Kui tööühikuks on 1 J, ajaühikuks aga 1 s, siis on võimsusühikuks 1 $\frac{\text{J}}{\text{s}}$. Sellist ühikut nimetatakse aurumasina täiustaja, mehhaanik Watt'i auks *vatiks* (W). 1 W $= 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$.

Tehnikas kasutatakse eeltoodust suuremaid võimsusühikuid — kilovatti (kW) ja megavatti (MW).

1 kW $= 1000$ W; 1 MW $= 1\,000\,000$ W.

Jõumasinate võimsused on kilovati sajandikest (elektrihabemeajamismasina, õmblusmasina mootor) kuni sadade tuhandete kilovattideni (vee- ja auruturbiinid). Igal jõumasinal on silt (või pass), millele on märgitud mõningad andmed masina kohta. Nende andmete hulgas on ka masina võimsus.

Teades jõumasina võimsust, võib valemi $A = Nt$ abil arvutada masina poolt mingis ajavahemikus tehtud töö.

Nii tehakse 1 W võimsuse korral 1 tunniga töö $A =$ $= 1$ W $\cdot$ 3600 s $= 3600$ J. Seda tööhulka nimetatakse vatt-tunniks (Wh).

Võimsus $= \frac{\text{töö}}{\text{aeg}}$

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

1 kW võimsuse juures 1 tunniga tehtavat tööd nimetatakse kilovatt-tunniks.

$1\ \text{kWh} = 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3\,600\,000\ \text{J}.$

Mõned võimsused kilovattides

Sõiduauto «Volga» mootor	55
Diiselvedur	3 000
Elektrivedur	4 000
Ekskavaator ЭШ-14/75	7 500
Aatomijäälõhkuja «Lenin»	32 500
Hüdrogeneraator	200 000
Bratski hüdroelektrijaam	4 500 000
Kosmoseraketi mootor	20 000 000

Peale vati kasutatakse veel teisigi võimsusühikuid.

$1\ \frac{\text{kG} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 9{,}8\ \text{W}.$

Vana võimsusühik, mida mõnikord veel praegugi kasutatakse, on hobujõud (hj):

$1\ \text{hj} = 75\ \frac{\text{kG} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 736\ \text{W} = 0{,}736\ \text{kW}.$

Esimesi aurumasinaid kasutati söekaevandustest vee väljapumpamiseks. Enne aurumasina leiutamist tegid seda tööd hobused. Hobuseid väljavahetanud aurumasinate võimsuse mõõtmiseks võeti kasutusele võimsusühik, mida kokkuleppeliselt, kuigi mitte eriti õnnestunult, hakati nimetama hobujõuks. Pideva töö juures on keskmise hobuse võimsus 0,4—0,6 hj. Inimese võimsus pideva töö juures on 0,05—0,10 hj.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse jõumasina võimsuseks? 2. Milles seisneb töö ja võimsuse erinevus? 3. Kuidas väljendada võimsuse valemit töö ja aja kaudu? 4. Kuidas defineeritakse võimsusühik vatt? 5. Milliseid võimsusühikuid kasutatakse tehnikas? 6. Kuidas saab mootori võimsuse ning töötamise aja kaudu arvutada tehtud tööd? 7. Missugust suurust mõõdetakse kilovatt-tundidega? 8. Mis on hobujõud? Milline puudus on sellel nimetusel? 9. Missugune seos on $1\ \frac{\text{kG} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ ja 1 W vahel? Mitu vatti on ühes hobujõus? 10. Kuidas võib katseliselt määrata mootori võimsust?

Ülesanne.

1. Arvutage võimsused, mida te arendate, tõustes kord aeglaselt ja seejärel kiiresti koolimaja esimeselt korruselt teisele või kolmandale korrusele. Kõik vajalikud andmed muretsege ise.

2. Tehke kindlaks kooli töökojas asuvate treipinkide ja puurmasinate elektrimootorite võimsused, kasutades selleks mootorite silte või passe.
3. Tehke kindlaks nende autode ja traktorite võimsused, mida te tunnete või kohtate.

98. Näiteid töö ja võimsuse arvutamisest.

Näide 1. Leida tammilt langeva vee võimsus, kui vee langemise kõrgus on 25 m ning veekulu minutis 120 m^3.

Lahendus. Langeva vee mass $m = 120$ t ehk $m = 120\,000$ kg. Selle vee kaal

$$P = 120\,000 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 1\,200\,000 \text{ N}.$$

Veevoo poolt minutis tehtud töö $A = Ph$;

$A = 1\,200\,000 \text{ N} \cdot 25 \text{ m} = 30\,000\,000 \text{ J}$.

Voo võimsus

$$N = \frac{A}{t}; \; N = \frac{30\,000\,000 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 500\,000 \text{ W} = 0{,}50 \text{ MW}.$$

Näide 2. Traktori veojõud kündmisel on 10 000 N. 1 minutiga läbib traktor 120 m. Leida traktori poolt arendatav võimsus. Traktori liikumine lugeda ühtlaseks.

Lahendus. Traktori poolt tehtud töö:

$A = 10\,000 \text{ N} \cdot 120 \text{ m} = 1\,200\,000 \text{ J}$.

Jagades töö ajaga sekundites, saame võimsuse:

$$N = \frac{1\,200\,000 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 20\,000 \text{ W} = 20 \text{ kW}.$$

Sama tulemuse saame, kui lahendame ülesande teisiti.

Leiame traktori kiiruse: $v = \frac{120 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Kiirus on aga arvuliselt võrdne ühes sekundis läbitud teega. Korrutades traktori veojõu kiirusega, saame ühes sekundis tehtud töö ehk võimsuse:

$$\text{N} = 10\,000 \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20\,000 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 20\,000 \text{ W} = 20 \text{ kW}.$$

Toodud näide kinnitab, et võimsus on võrdne veojõu ja kiiruse korrutisega: $N = F \cdot v$.

Nüüd on selge, miks auto kiirus mootori võimsuse suurendamisel kasvab.

Ühe ja sama mootori võimsuse juures võib kiiruse muutmisega muuta veojõu suurust. Nii näiteks vähendab autojuht mäkkesõidul või halval teel kiirust selleks, et suurendada veojõudu. Selleks lülib ta sisse kas teise või koguni esimese käigu.

Näide 3. 100 kW võimsuse juures sõidab auto kiirusega 144 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Leida selle auto mootori veojõud.

Lahendus. Veojõu leiame valemi $F = \frac{N}{v}$ abil. Selleks et saada veojõudu njuutonites, tuleb võimsus väljendada vattides, kiirus aga $\frac{\text{m}}{\text{s}}$-tes:

$N = 100\ \text{kW} = 100\,000\ \text{W}$; $v = \frac{144\,000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 40\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Veojõud $F = \frac{100\,000\ \text{W}}{40\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2500\ \text{N}$.

Harjutus 37.

1. 22 m kõrguselt tammilt kukub 10 minutiga alla 500 t vett. Kui suur on langeva vee võimsus?
2. Eskalaator (trepp-lift) tõstab iga minutiga 10 inimest 6 m kõrgusele. Kui suur peab olema selle töö tegemiseks vajaliku mootori võimsus, kui iga inimene kaalub keskmiselt 750 N?
3. Kiirusega 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ sõitvale autole mõjub õhu takistus 500 N. Rataste ja maantee vaheline hõõrdejõud on 120 N. Kui suur on auto mootori võimsus selle liikumise juures?
4. Traktorile monteeritud kuhjategija tõstab 1,2 t heinu kiirusega 0,85 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Kui suurt võimsust arendab traktori mootor selle töö juures?
5. 20 kg massiga poiss tõuseb 20 sekundiga mööda treppi 10 m kõrgusele. Kui suurt võimsust ta seejuures arendab?
6. Kui suur on inimese võimsus käimisel, kui ta 2 tunniga teeb 10 000 sammu ning iga sammu juures 40 J tööd?
7. Diiselveduri võimsus 180 000 N suuruse veojõu korral on 3 000 kW. Kui pika ajaga läbib rong 500 m?
8. Seinakella 0,75 kg massiga pomm langeb ööpäevas 72 cm allapoole. Arvutage kellamehhanismi võimsus.
9. Kui palju tööd teeb 20 minutiga mootor, mille võimsus on 10 kW?
10. Kui palju tööd teeb 1 kW võimsusega mootor ööpäevas?
11. Transportöör tõstab 1 tunniga 30 m^3 liiva 6 m kõrgusele. Leidke selle töö tegemiseks vajalik võimsus. Liiva tihedus on 1500 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
12. Treipingi mootor arendab 4 kW võimsust, kui lõikamiskiirus on 720 $\frac{\text{m}}{\text{min.}}$. Arvutage laastu takistusjõud.

13. Kopa ja söe kogumass on 300 kg. Arvutage tõstekraana võimsus, kui ta tõstab söega täidetud kopa 5 sekundiga 15 m kõrgusele.
14. Võimas tornkraana võib tõsta 5 t massiga koormust. Missuguse ajaga tõstab kraana selle koormuse 20 m kõrgusele, kui ta arendab seejuures võimsust 30 kW?
15. Kas võib autot, mis on võimeline otsekohe saavutama maksimaalset kiirust, lugeda ka kõige võimsamaks? Põhjendage vastust.

99. Lihtmehhanismid.

Juba ammusest ajast kasutab inimene mehhaanilise töö tegemiseks mitmesuguseid esemeid ja seadmeid.

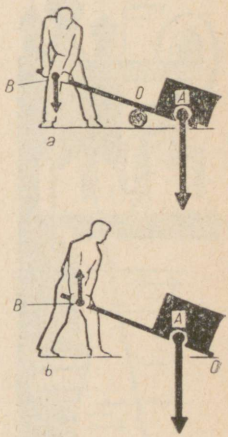
Igaüks teab, et rasket eset (kivi, kappi, tööpinki), mida vahetult kätega ei ole võimalik liigutada, on kerge nihutada küllalt pika ja tugeva *kangi* abil (joon. 166).

Kolm tuhat aastat tagasi nihutati ja tõsteti vanas Egiptuses püramiidide ehitamisel kangide abil raskeid kiviplaate (joon. 167).

Kangi abil võib küllalt väikese jõu abil ületada suuri takistusi. Piltlikult öeldes — kangi abil võib võita jõus, s. o. muuta väikest jõudu suureks.

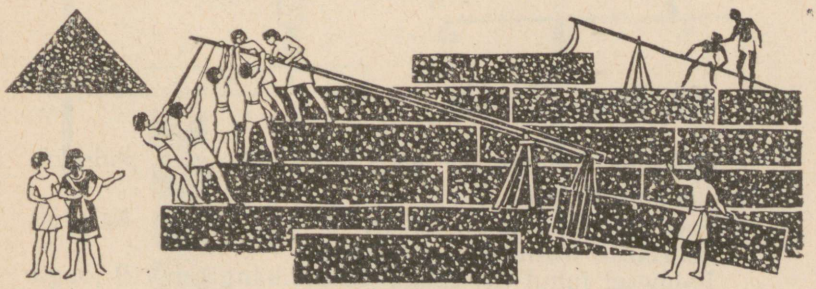
Selle asemel et tõsta keha otse vajalikule kõrgusele, lükatakse või veeretatakse see sageli samale kõrgusele *kaldpinna* abil (joon. 168). Ka siin võidetakse jõus, sest kaldpinna juures on vajalik rakendada keha kaalust väiksemat jõudu.

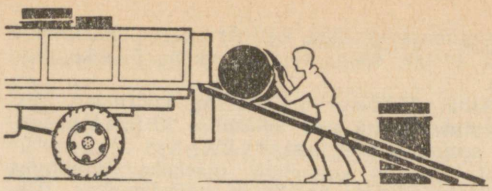
Mõnikord pole vaja muuta mitte jõu suurust, vaid ainult selle mõjumise suunda. Seda võib teha näiteks *liikumatu ploki* abil (joon. 169).



Joon. 166.

Joon. 167.





Joon. 168.



Joon. 169.

Sageli on aga vaja muuta nii jõu suurust kui ka suunda. Seadmeid, mida jõu muutmiseks kasutatakse, nimetatakse mehhanismideks. Lihtmehhanismideks on kang, plokk, pöör, kaldpind, kiil ja kruvi.

Uurides mitmesuguste masinate ja seadmete ehitust, näeme, et nendes kasutatakse lihtmehhanisme.

Uurige sel eesmärgil koduses majapidamises kasutatavaid masinaid ja instrumente — hakklihamasinat, õmblusmasinat, tolmuimejat, konservikarbi avajat, pähklitange jne. Nende kõigi juurest leiate te tingimata ühe või isegi mitu lihtmehhanismi.

Lihtmehhanisme sisaldavad ka kõik keerukad tehastes ja vabrikutes kasutatavad masinad, mille abil lõigatakse, painutatakse või stantsitakse suuri teraslehti, kedratakse niiti ning kootakse sellest riiet. Need mehhanismid on olemas tänapäeva keerukates automaatides, kirjutus- ja arvutusmasinates.

Tundes lihtmehhanismide tööprintsiipe võib kergesti mõista ka keeruliste masinate ehitust.

Kuuest eespool nimetatud lihtmehhanismist vaatleme lähemalt ainult kangi ja kaldpinda, sest ülejäänud nelja mehhanismi võib taandada neile kahele.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse lihtmehhanismiks? 2. Milleks kasutatakse lihtmehhanisme? 3. Missugused 6 mehhanismi kannavad tavaliselt lihtmehhanismi nime? 4. Missugust lihtmehhanismi kasutati Egiptuses püramiidide ehitamisel?

100. Kang. Jõu õlg.

Kangiks nimetatakse kõva keha, mis võib pöörelda liikumatul toel.

Joonisel 166 on näidatud, kuidas tööline kasutab koormuse tõstmiseks raudkangi.

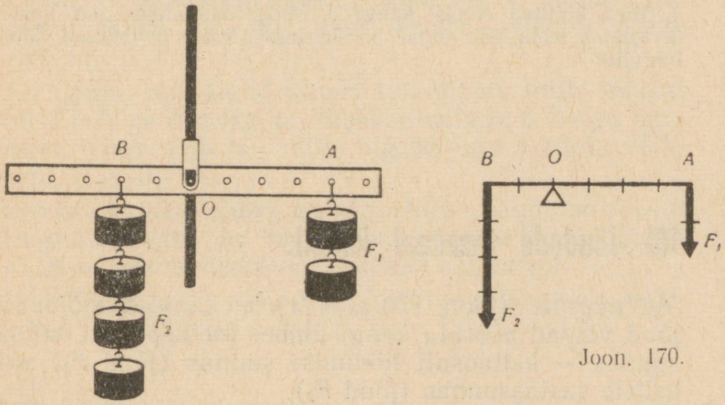
Esimesel juhul (*a*) rõhub tööline kangi otsa *B* jõuga

F allapoole, teisel juhul (*b*) aga tõstab kangi otsa üles. Töölise pingutusele vastupidiselt mõjub koormuse kaal P — jõud, mis on suunatud vertikaalselt alla.

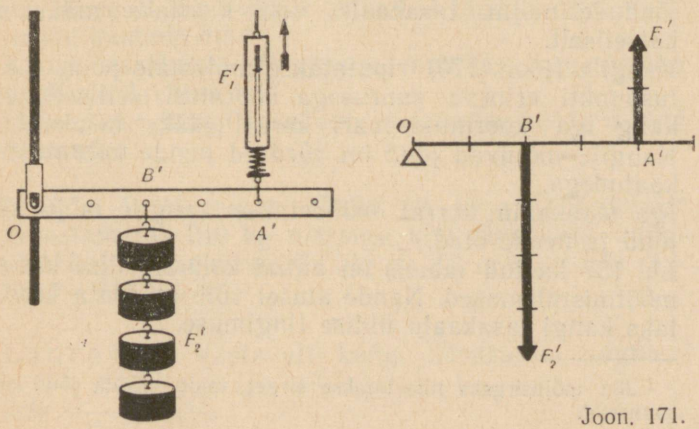
Koormuse tõstmiseks pöörab tööline kangi ümber telje, mis läbib kangi ainukest paigalejäävat punkti O. Seda punkti nimetatakse kangi toetuspunktiks. Kui töölise pingutus on küllaldane koormuse takistuse ületamiseks, siis tõstab tööline koormuse üles, tehes seejuures tööd.

Joonisel 170 (vasakul) on kujutatud kang, mille toetuspunkt O asub jõudude rakenduspunktide A ja B vahel. Paremal on toodud selle kangi skeem. Kangile mõjuvad jõud F_1 ja F_2 on suunatud ühele ja samale poole.

Joonisel 171 on kujutatud teine kang. Selle kangi toetuspunkt asub kangi ühes otsas. Kangile punktides A' ja B' mõjuvad jõud on vastassuunalised.



Joon. 170.



Joon. 171.

Lühimat kaugust kangile rakendatud jõu mõjusirge[1] ja toetuspunkti vahel nimetatakse *jõu õlaks.*
Selleks et leida jõu õlga, tuleb kangi toetuspunktist tõmmata ristsirge jõu mõjusirgele. Selle ristsirge lõik, mis jääb toetuspunkti ja mõjusirge vahele, ongi jõu õlg. Joonistel 170 ja 171 on OA jõu F_1 õlg; OB jõu F_2 õlg; OA' jõu F'_1 õlg ja OB' jõu F'_2 õlg.
Kangile mõjuvad jõud võivad pöörata kangi ümber toetuspunkti kahes suunas, nii kellaosuti liikumise suunas kui ka vastupidi. Nii pöörab jõud F_1 (joon. 170) kangi kellaosuti liikumise suunas, jõud F_2 aga kellaosuti liikumisele vastassuunas: F'_1 (joon. 171) pöörab kangi vastupidi kellaosuti liikumise suunale, jõud F'_2 aga kellaosuti liikumise suunas.

Küsimused.

1. Mida kujutab endast kang? 2. Mida nimetatakse jõu õlaks? 3. Kuidas leida jõu õlga? 4. Missugust mõju avaldavad jõud kangile?

101. Jõudude tasakaal kangil.

Me nägime (joon. 170 ja 171), et kangile mõjuvad jõud võivad pöörata kangi ümber toetuspunkti kahes suunas — kellaosuti liikumise suunas (jõud F_1) või sellele vastassuunas (jõud F_2).
Tingimuse, mille korral kang jääb temale rakendatud jõudude mõjul tasakaalu, võib kindlaks määrata katseliselt.
Kangile (joon. 170) riputatakse mõlemale poole toetuspunkti erineva suurusega koormusi selliselt, et kang iga koormustepaari korral jääks tasakaalu. Kangile mõjuvad jõud on võrdsed nende koormuste kaaludega.
Iga tasakaalu korral mõõdetakse kangile mõjuvad jõud ja nende õlad.
Lk. 157 toodud tabelis on antud kolme sellise katse mõõtmistulemused. Nende alusel võib määrata kindlaks kangi tasakaalu üldise tingimuse.

[1] Jõu mõjusirgeks nimetatakse sirget, mida mööda jõud on suunatud.

Jõud, mis pöörab kangi kellaosuti liikumisele vastassuunas		Jõud,mis pöörab kangi kellaosuti liikumise suunas	
jõud (N)	jõu õlg (m)	jõud (N)	jõu õlg (m)
10	0,2	5	0,4
10	0,1	2,5	0,4
2,5	0,3	7,5	0,1

Esimesel katsel mõjus kangile toetuspunktist vasakul jõud 10 N, jõu õlg oli 0,2 m. Selle jõu tasakaalustamiseks tuli mõjuda toetuspunktist paremal 2 korda väiksema jõuga (5 N), mille õlg oli aga 2 korda pikem (0,4 m).

Teisel katsel tuli 10 N suuruse jõu, mille õlg oli 0,1 m, tasakaalustamiseks rakendada 4 korda väiksemat jõudu (2,5 N), kuid 4 korda pikema õlaga (0,4 m).

Ja lõpuks kolmandal katsel tuli jõudu, mille suurus oli 2,5 N ja õlg 0,3 m, tasakaalustada 3 korda suurema jõuga (7,5 N), mille õlg oli aga 3 korda väiksem, s. o. 0,1 m.

Selliste katsete alusel on sõnastatud kangi tasakaalu tingimus: *kang on tasakaalus, kui sellele mõjuvad jõud on pöördvõrdelised jõudude õlgadega.*

Matemaatiliselt võib seda kirjutada järgmise valemina:

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

kus F_1 *ja* F_2 on kangile mõjuvad jõud ning l_1 ja l_2 nende jõudude õlad.

Kangi tasakaalu tingimuse avastas vana-kreeka teadlane Archimedes.

Lahendame kangi tasakaalu tingimuse kohta mõned ülesanded.

Näide 1. Missugust jõudu on vaja (hõõrdumist arvestamata) 240 kg massiga kivi tõstmiseks kangi abil, kui rakendatava jõu õlg on 2,4 m ning kivi raskusjõu õlg 0,6 m.

Lahendus. Vastavalt kangi tasakaalu tingimusele $\frac{F}{P} = \frac{l_2}{l_1}$.

Kivi kaal $P = 240\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 2400\ \text{N}$;

õlad $l_1 = 2{,}4\ \text{m}$ ja $l_2 = 0{,}6\ \text{m}$.

$F = P\frac{l_2}{l_1}$; $F = 2400\ \text{N}\ \frac{0{,}6\ \text{m}}{2{,}4\ \text{m}} = 600\ \text{N}$.

Näide 2. Mitu korda võidetakse jõus, kui 1000 N suuruse jõuga ületatakse 6000 N suurune takistus? Missugune peab olema jõu õlgade suhe selleks kasutataval kangil?

Lahendus. Võit jõus $n = \frac{6000\ \text{N}}{1000\ \text{N}} = 6$. Vastavalt kangi tasakaalu tingimusele peab kangile mõjuvate jõudude õlgade suhe olema 1:6, järelikult

$$\frac{F}{P} = \frac{1}{6}.$$

Küsimused.

1. Milles seisneb kangi tasakaalu tingimus? 2. Milline vanaaja õpetlane avastas kangi tasakaalu tingimuse? 3. Tõestage, et kangi tasakaalu tingimust võib väljendada järgmiselt: tasakaalu korral on kangile mõjuvate jõudude ja neile vastavate õlgade korrutised omavahel võrdsed.

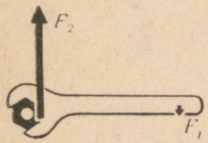
Juhis. Tõestamiseks kasutage katseandmete tabelis toodud andmeid ning kangi tasakaalu üldist valemit.

102. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus.

Täiendavaks lugemiseks.

Kangi tasakaalu tingimusel (§ 101) põhinevaid instrumente ja seadmeid kasutatakse tehnikas ja igapäevases elus seal, kus tahetakse võita jõus.

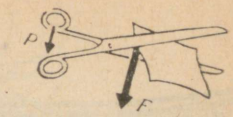
Piltlikuks näiteks kangi kasutamisest on mutrivõti (joon. 172). Jooniselt nähtub, et töölise jõud F_1 on rakendatud mutrivõtme varrele. Jõud F_2, mis takistab mutri keeramist, on rakendatud võtmele mutri ja võtme kokkupuutekohas. Võtme ja mutri pöörlemisteljed (kangi toetuspunkt) ühtivad. Seega võib mutrivõtit vaadelda kui kangi, millele mõjuvad jõud asuvad toetuspunktist ühel pool ning on vastupidiste suundadega.[1] Mutri keeramisel võidab tööline jõus, sest jõud F_1 on väiksem kui F_2. Seejuures on aga rakendatava jõu õlg vastavalt pikem.



Joon. 172.

[1] Sellist kangi nimetatakse mõnikord ka ühepoolseks kangiks.

Jõus võidame ka kääridega töötamisel. Käärid kujutavad endast samuti kangi (joon. 173, 174).
Sellise kangi toetuspunktiks on kääriterade ühenduskruvi. Mõjuvaks jõuks *P* (joon. 173) on käelihaste jõud, millega inimene vajutab kääridele, vastumõju jõuks *F* on lõigatava materjali takistus. Olenevalt eesmärgist on ka kääride ehitus erinev. Kontorikääridel, mida kasutatakse paberi lõikamiseks, on pikad lõiketerad ning peaaegu niisama pikad käepidemed (joon. 173), sest paberi lõikamine ei nõua suurt jõupingutust. Küll on aga pikkade lõiketeradega hõlbus saada sirgjoonelist lõiget. Plekikääridel (joon. 174) on aga käepidemete osa lõiketeradest tunduvalt pikem, sest metalli takistus on suur. Selle ületamiseks peabki mõjuva jõu õlg, s. t. käepidemete osa olema küllaldase pikkusega.
Eriti suur on erinevus käepidemete pikkuse ja lõiketerade ning toetuspunkti (ühenduskruvi) vahelise kauguse vahel lõiketangide juures (joon. 175), mida kasutatakse traadi lõikamisel.
Mitmesuguse kujuga kange kohtate paljude masinate juures. Õmblusmasina vänt, jalgratta pedaalid ja käsipidur, auto ja traktori gaasi- ja piduripedaalid, kirjutusmasina ja klaveri klahvid — kõik need on kangide erijuhud mitmesugustes masinates ja instrumentides.
Näiteid kangide kasutamise kohta võite te leida ka oma kooli töökojast. Nendeks on kruustangide ja höövelpinkide käepidemed, puurmasina kang jne.

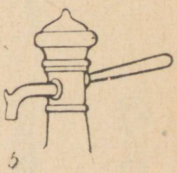


Joon. 173.


Joon. 174.

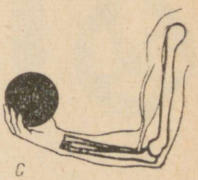

Joon. 175.


a

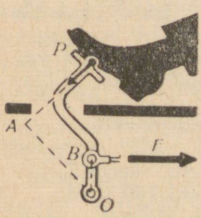

b

Harjutus 38.

1. Leidke joonisel 176 kujutatud kangide toetuspunktid ja jõudude õlad.
2. Missuguse asendi juures rõhub kompsu kandmiseks kasutatav kepp kõige vähem õlga?


c

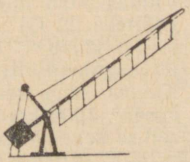
Joon. 176.



d

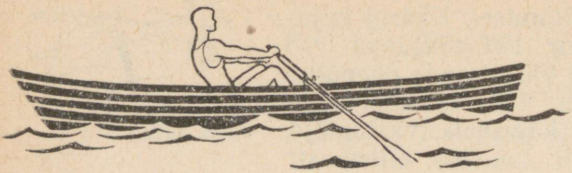

e


f

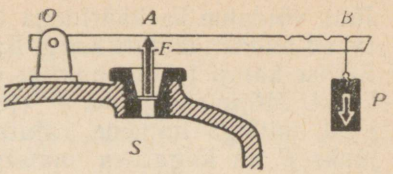

g


h


i

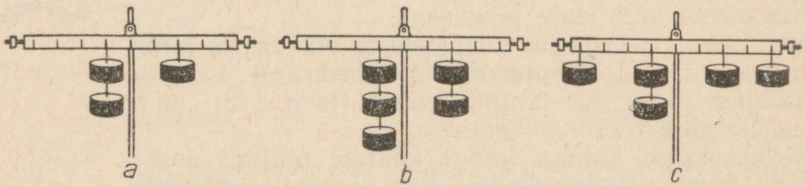


Joon. 177.



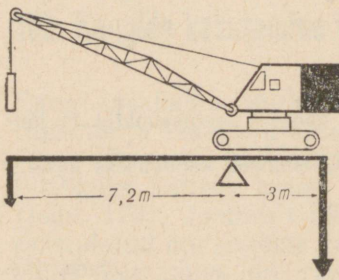
Joon. 178.

3. Selgitage aeru kui kangi tegevust (joon. 177).
4. Miks on siis kergem lõigata, kui plekk asub kääride ühenduskruvile võimalikult lähedal?
5. Joonisel 178 on kujutatud kaitseventiili läbilõige[1]. Kui suur koormus P tuleb riputada kangile, et 12 at all olev aur katlast välja ei pääseks? Ventiili klapi pindala S=3 cm^2, klapi ning kangi kaalu mitte arvestada. Jõudude õlad mõõta joonise lt.



Joon. 179.

6. Joonisel 179, *a* kujutatud kang on tasakaalus. Kas kang jääb tasakaalu, kui riputada sellele veel kaks raskust nii, nagu on kujutatud joonisel 179, *b*? Kas kang jääb tasakaalu, kui täiendavad raskused paigutada nii, nagu kujutatud joonisel 179, *c*?
7. Joonisel 180 on kujutatud kraana ja selle skeem. Kui suurt koormat võib tõsta selle kraanaga, kui vastukaalu mass on 1000 kg?



Joon. 180.

8. Keskelt niidi külge riputatud traat on tasakaalus horisontaalasendis. Kas traadi tasakaal säilib, kui traadi üks ots keerata kahekorra?
9. Kuidas saab millimeeterjaotusega joonlaua ja väikese vihi (näiteks 20 G) abil määrata mutri või mõne teise väikese eseme kaalu?
   Kaaluge selliselt mõni ese ning kontrollige tulemust kaaludel.
10. Kuidas saab kangide kombinatsiooni abil võita jõus 100 korda? 1000 korda? Joonistage sellise seadme skeem. Tehke sellise seadme mudel, millega võib jõus võita 100 korda.

[1] Kaitseventiil on spetsiaalne seade, mis avab aurukatlas auru väljavooluava, kui auru rõhk ületab ettenähtud normi.

103. Kangkaal.

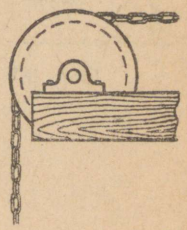
Täiendavaks lugemiseks.

Laboratoorsed kangkaalud (joon. lk. 66) töötavad nagu võrdõlgne kang. Kangi põhimõttel on ehitatud ka detsimaalkaalud (kümnendikkaalud). Sellistel kaaludel moodustab kaalukausile asetatud vihtide kogukaal $^1/_{10}$ kaalutava (tasakaalustatud) keha kaalust.

Sellistel kaaludel on kaalukangi see õlg, mille küljes ripub vihtide jaoks ettenähtud kaalukauss, kümme korda pikem kui kaalutava keha poolne õlg. See kergendab tunduvalt raskete esemete kaalumist. Kaalumisel detsimaalkaaludega tuleb vihtide kaal korrutada kümnega. Detsimaalkaalude ehitus on lihtne, kuid otstarbekas, mis tagab kaaluplatvormi horisontaalse asendi nii enne kui pärast kaalutava keha kaalule asetamist.

Sajandikkaaludes moodustab vihtide kaal ainult $\frac{1}{100}$ kaalutava keha raskusest.

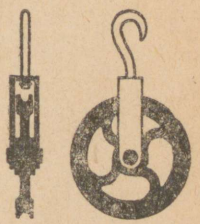
Vagunite, autode ja teiste veokite kaalumiseks kasutatavad seadmed põhinevad samuti kangi seaduspärasustele.



a

Küsimused.

1. Missugust kangi kasutatakse laboratoorsete kangkaalude juures, 2. Missugune on kangi õlgade suhe detsimaalkaaludes? sajandikkaaludes?

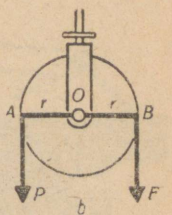


103. Kangi tasakaalu tingimuse kasutamine ploki ja pöörа juures.

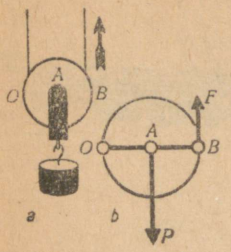
Plokk kujutab endast soonega ratast, mis on kinnitatud plokikahvlisse (joon. 181, *a*). Üle plokiratta pannakse nöör, tross või kett. Plokke kasutatakse raskuste tõstmiseks.

Liikumatuks plokiks nimetatakse sellist plokki, mille telg raskuse tõstmise ajal jääb paigale (ei tõuse ega lange).

Liikumatut plokki võib vaadelda kui võrdõlgset kangi, millele rakendatud jõudude õlad on võrdsed plokiratta raadiusega (joon. 181, *b*): $OA = OB = r$.



Joon. 181.

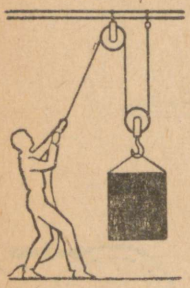


Joon. 182.

Sellise plokiga jõus ei võida. Plokk võimaldab aga muuta jõu mõjumise suunda.

Joonisel 182, *a* on kujutatud liikuv plokk (sellise ploki telg tõuseb koos koormaga), joonisel 182, *b* aga sellele vastav kang. Seal on O kangi toetuspunkt, *OA* — jõu *P* õlg ja *OB* — jõu *F* õlg. Kuna õlg *OB* on kaks korda pikem kui õlg *OA*, siis on ka jõud *F* kaks korda väiksem kui jõud *P*:

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



Joon. 183.

Seega võidame liikuva plokiga jõus kaks korda.

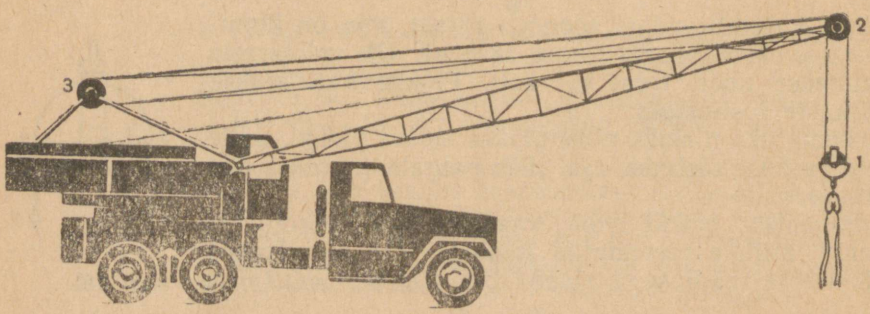
Praktikas kasutatakse tavaliselt liikumatu ja liikuva ploki kombinatsiooni (joon. 183). Joonisel 184 on kujutatud liikuva *(1)* ja liikumatu ploki *(2, 3)* kasutamine autokraanal.

Väga levinud on praktikas selline lihtmehhanism nagu pöör. Pööra peaosaks on telje ümber pöörlev võll. Võlli külge on kinnitatud nöör, mis võlli pöörlemisel keritakse selle ümber. Seejuures tõuseb nööri otsa riputatud raskus üles. Võlli pööratakse kas vända või suure ratta abil. Joonisel 185 on kujutatud kaevupöör.

Vaatleme pööra tööd. Kujutame pööra skemaatiliselt. Tähega *O* on joonisel märgitud pööra telg. *OB* on võlli raadius, *OC* vända pikkus (või siis ratta raadius), *P* — vee ja pange kaal, *F* — inimese poolt rakendatav jõud.

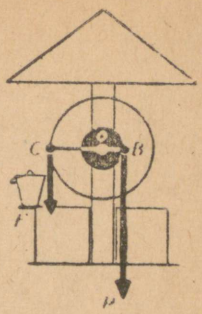
Kui läbi punktide *C, O ja B* tõmmata sirge, saame kangi skeemi. Mõjuvate jõudude õlgadeks jäävad seejuures võlli raadius ja vända pikkus (või ratta raadius). Märgime võlli raadiuse tähega *r*, vända pikkuse aga tähega *R*. Kuna *r* ja *R* ei ole võrdsed, siis ei ole võrdsed ka *F* ja *P*, mis on rakendatud

Joon. 184.



punktidesse C ja B. Vastavalt kangi tasakaalu tingimusele jääb pöör tasakaalu, kui jõud F ja P, mis on rakendatud vastavalt vändale ja võllile, on pöördvõrdelised nende õlgadega:

$$\frac{F}{P} = \frac{r}{R};\ F = P\frac{r}{R}.$$



Joon. 185.

Küsimused.

1. Missugust plokki nimetatakse liikumatuks? liikuvaks? 2. Mis otstarbel kasutatakse liikumatut plokki? 3. Mitu korda võidetakse liikuva plokiga jõus? 4. Missugusele kangile vastab oma tööprintsiibilt liikumatu plokk? liikuv plokk? Joonistage selliste kangide skeemid. 5. Kui palju võidetakse pööra abil jõus? 6. Joonistage sellise kangi skeem, mille tegevus vastaks pööra tegevusele. 7. Tooge praktikast tuttavaid näiteid ploki ja pööra kasutamise kohta.

105. Tööde võrdsus lihtmehhanismide kasutamisel. Mehhaanika «kuldreegel».

Meie poolt tundmaõpitud lihtmehhanisme kasutatakse töötegemisel siis, kui väikese jõu abil on vaja ületada suurt.

Tekib loogiline küsimus: kui lihtmehhanismid võimaldavad võita jõus, kas võib siis nende abil võita ka töös?

Ammendava vastuse sellele küsimusele võib saada katseliselt.

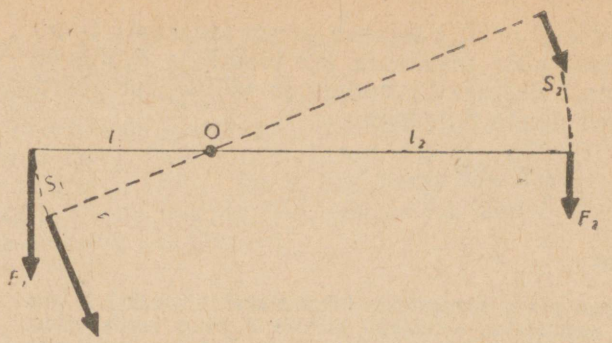
Tasakaalustame kangil kaks erinevat jõudu F_1 ja F_2 (joon. 186) ning paneme siis kangi liikuma. Näeme, et ühe ja sama aja jooksul läbib väiksema jõu F_2 rakenduspunkt suurema tee s_2, suurema jõu F_1 rakenduspunkt aga väiksema tee s_1. Mõõdame need pikkused ning võrdleme neid jõudude õlgadega.

Võrdlus näitab, et teepikkused on võrdelised jõudude õlgadega:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Me teame aga, et vastavalt kangi tasakaalu tingimusele

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



Joon. 186.

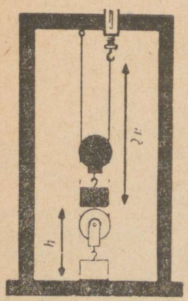
Järelikult on kangile rakendatud jõudude rakenduspunktide poolt läbitud teepikkused pöördvõrdelised jõududega

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}.$$

Mõjudes kangi pikemale õlale, võidame me järelikult jõus, kuid kaotame sama arv korda teepikkuses. Teepikkuse ja jõu korrutis annab jõu poolt tehtud töö. Katsed näitavad, et kangi mõlema otsa juures tehtud tööhulgad on ühesugused: $F_1 s_1 = F_2 s_2$.

Kangi abil ei võideta töös. Kangi kasutamisel võime võita kas jõus või teepikkuses. Kui me rakendame jõudu kangi pikemale õlale, siis võidame jõus, kuid kaotame sama arv korda teepikkuses. Mõjudes jõuga kangi lühemale õlale, võidame teepikkuses, kuid kaotame sama arv korda jõus.

Töös ei anna võitu ka liikumatu plokk. See on ilmne (joon. 181), sest jõud on ühesuurused ning nende rakenduspunktide poolt läbitud teed samuti. Seepärast peavad võrdsed olema ka nende jõudude tööd.



Joon. 187.

Võib mõõta ja omavahel võrrelda liikuvale plokile rakendatud jõudude poolt tehtavaid tööhulki. Selleks tõstame mingit koormust liikuva ploki abil (joon. 187). Katse näitab, et koormuse tõstmiseks kõrgusele h peab dünamomeetri külge seotud nööri ots tõusma kõrgusele $2h$. Seega võidame me liikuva plokiga jõus 2 korda. Järelikult ei anna liikuv plokk analoogiliselt kangiga võitu töös.

Kuna pöör kujutab endast kangi ühte erijuhtu, siis võib kohe öelda, et pöör töös võitu ei anna. Seega ei anna töös võitu ei kang, plokk ega pöör.

Paljude sajandite praktika näitas, et **mitte ühegi lihtmehhanismiga ei ole võimalik võita töös.** Mitmesuguseid mehhanisme kasutatakse ainult selleks, et vastavalt olukorrale võita kas jõus või teepikkuses.

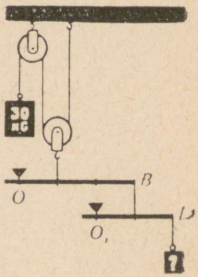
Juba vanal ajal tundsid õpetlased kõigi mehhanismide kohta kehtivat reeglit: **nii mitu korda, kui me võidame jõus, kaotame me samal ajal teepikkuses.** Seda reeglit nimetatakse *mehhaanika kuldreegliks.*

Küsimused.

1. Milline suhe on kangile rakendatud jõudude rakenduspunktide poolt läbitud teepikkuste ja nende jõudude õlgade vahel? Näidake seda ka joonisel. 2. Milline suhe on kangile rakendatud jõudude rakenduspunktide poolt läbitud teepikkuste ja nende jõudude suuruste vahel? 3. Kas kangiga võib võita jõus? Milles seejuures kaotatakse? 4. Mitu korda kaotatakse liikuva ploki kasutamisel teepikkuses? 5. Mitu korda kaotatakse pööra kasutamisel teepikkuses? 6. Milles seisneb mehhaanika *kuldreegel?*

Harjutus 39.

1. Keha tõsteti liikuva ploki abil 1,5 m kõrgusele. Kui pika tee läbis seejuures nööri lahtine ots?
2. Liikuva ploki abil tõsteti keha 7 m kõrgusele. Kui palju tegi tööline seejuures tööd, kui ta nööri vabale otsale rakendas 160 N suurust jõudu?
3. Kas võib põrandal seisev õpilane, kes kaalub 450 N, tõsta liikumatu ploki abil 540 N raskust koormat?
4. Kuidas saab liikuvat plokki kasutada teepikkuses võitmiseks?
5. Mõelge plokkide ja kangide kombinatsioon, mille abil oleks võimalik 20 N jõuga tõsta 1500 N koormust.
6. Missugune raskus tuleks riputada kangi otsa *D* (joon. 188), et kang jääks tasakaalu? Kangide ja plokkide kaalu ning hõõrdumist ülesande lahendamisel ei ole tarvis arvestada.
7. Kangi lühemale otsale on riputatud raskus 50 N. Kangi pikemale otsale rõhuv õpilane surub seda 10 cm allapoole, tehes selleks 2,5 J tööd. Arvutage jõud, millega õpilane mõjub kangile, ning kõrgus, milleni tõuseb koormus.
8. Arvestage välja ning joonistage sellise pööra skeem, mille abil on võimalik 100 N suuruse jõuga tõsta 1500 N koormust.
9. Pööra võlli diameeter on 20 cm, vända pikkus aga 50 cm. Kui suurt jõudu läheb vaja 120 N kaaluga veeämbri tõstmiseks?
10. Pööra võlli raadius on 20 cm, vända pikkus aga 80 cm. Pööraga tõstetakse kaevust puuämbrit veega. Kui vänt läbib 0,6 m pikkuse tee, tehakse 30 J tööd. Arvutage vändale mõjuv jõud, ämbri ja vee kaal, kõrgus, mille võrra tõuseb ämber, kui vänt läbis 0,6 m.



Joon. 188.

Ülesanne.

Tõestage, et mehhaanika *kuldreegel* kehtib ka hüdraulilise masina kohta.

Juhis. Tõestamisel kasutage joonist 84. Kui väike kolb jõu F_1 mõjul langeb mingi kõrguse h_1 võrra, siis tõrjub ta mingi hulga vett välja. Sama koguse võrra suureneb veehulk suure kolvi all, mis selle tulemusena tõuseb h_2 võrra.
Hõõrdumist kolbide ja anumate seinte vahel mitte arvestada.

106. Mehhanismi kasutegur.

Vaadeldes kangi töötamise põhimõtet, ei arvestanud me hõõrdumist ega kangi kaalu. Neis ideaalsetes tingimustes rakendatud jõu poolt tehtud kogu töö on võrdne raskuse tõstmiseks (või mõne takistuse ületamiseks) vajaliku kasuliku tööga.
Praktikas on mehhanismi abil saadud kasulik töö alati veidi väiksem kogu tööst. Osa tööst läheb nimelt hõõrdumise ületamiseks mehhanismis ning mehhanismi üksikute osade nihutamiseks.
Näiteks raskuse tõstmisel liikuva ploki abil tuleb teha täiendavat tööd ploki enda ja nööri tõstmiseks ning plokis esineva hõõrdumise ületamiseks.
Ükskõik millise mehhanismi me ka ei võtaks, alati moodustab kasulik töö, mis selle abil saadi, ainult osa kogu kulutatud tööst. Märkides kasuliku töö tähega A_{kas} ning selle saamiseks tehtud kogu töö tähega A, võime kirjutada:

$$A > A_{kas} \text{ ja } \frac{A_{kas}}{A} < 1.$$

Toodud murdu, nimelt kasuliku ja kogu töö suhet, nimetatakse *mehhanismi kasuteguriks* ning märgitakse kreeka tähega η (eeta).
Harilikult väljendatakse kasutegur protsentides:

$$\eta = \frac{A_{kas}}{A} \cdot 100\ \%.$$

Näide 1. Kangi lühemale õlale on paigutatud keha massiga 100 kg. Selle tõstmiseks tuleb kangi pikemale õlale mõjuda jõuga 250 N. Keha tõsteti 0,08 m kõrgusele. Seejuures langes kangi pikem ots 0,4 m allapoole. Leida kangi kasutegur.

Lahendus. Keha kaal $P = 100\ \text{kg} \cdot 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 980\ \text{N}$.
Kasulik töö $A_{kas} = Ph_1$; $A_{kas} = 980\ \text{N} \cdot 0{,}08\ \text{m} = 78{,}4\ \text{J} \approx 80\ \text{J}$.
Kogu töö $A = Fh_2$; $A = 250\ \text{N} \cdot 0{,}4\ \text{m} = 100\ \text{J}$. Kasutegur $\eta = \frac{A_{kas}}{A} \cdot 100\ \%$; $\eta = \frac{80\ \text{J}}{100\ \text{J}} \cdot 100\ \% = 80\ \%$.

Näide 2. Liikuva ploki abil tõstetakse 75 kg massiga keha 10 m kõrgusele. Ploki kasutegur on 60 %. Leida tõstmiseks vajalik jõud, kasulik ja kogu tehtud töö.

Lahendus. Keha kaal $P = 75\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 750\ \text{N}$.

Kasulik töö $A_{\text{kas}} = Ph$; $A_{\text{kas}} = 750\ \text{N} \cdot 10\ \text{m} = 7500\ \text{J}$.

See töö moodustab 60 % kogu tehtud tööst:

$$A = \frac{A_{\text{kas}}}{\eta};\ A = \frac{7\,500\ \text{J}}{0{,}60} = 12\,500\ \text{J}.$$

Keha tõstmisel liikuva ploki abil 10 m kõrgusele peab jõu rakenduspunkt läbima kaks korda pikema tee $l = 20$ m.

Teades jõu poolt tehtud tööd ning seejuures läbitud tee pikkust, võib arvutada jõu:

$$A = Fl;\ F = \frac{A}{l};$$

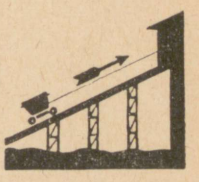
$$F = \frac{12\,500\ \text{J}}{20\ \text{m}} = 625\ \text{N}.$$

Küsimused.

1. Miks tuleb mehhanismide abil raskuste tõstmisel ning teiste takistuste ületamisel teha täiendavat tööd? 2. Millist tööd nimetatakse **kasulikuks** tööks? kogu tööks? 3. Mis on mehhanismi **kasutegur?** 4. Kas võib kasutegur olla suurem kui 1? Põhjendage vastust.

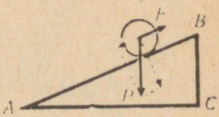
107. Kaldpind.

Sageli ei tõsteta keha vajalikule kõrgusele otse, vaid veeretatakse või lükatakse sinna kaldpinda mööda. Kaldpinna kasutamine on kujutatud joonisel 189.



Joon. 189.

Skemaatiliselt võib iga kaldpinda kujutada täisnurkse kolmnurgana (joon. 190), kus BC on kaldpinna kõrgus, AB — kaldpinna pikkus, P — kehale mõjuv raskusjõud, F — jõud, mis nihutab keha kaldpinda mööda üles. Viimane on võrdne jõuga, mille mõjul keha püüab kaldpinda mööda alla liikuda (hõõrdumise puudumisel). Tähistame kaldpinna pikkuse tähega l ja kõrguse tähega h.



Joon. 190.

Keha tõstmisel kõrgusele h tehakse töö, mis on võrdne raskusjõu ja tõste kõrguse korrutisega:

$$A = Ph.$$

Töö keha nihutamisel piki kaldpinda on võrdne liikumapaneva jõu ja kaldpinna pikkuse korrutisega:

$A = Fl.$

Vastavalt mehhaanika *kuldreeglile* ei anna ükski mehhanism võitu töös, järelikult on kaks ülalmärgitud tööd omavahel võrdsed.

Kirjutame selle võrdsuse üles: $Ph = Fl.$

Kirjutame selle suhtena: $\frac{P}{F} = \frac{l}{h}$. Sellest nähtub, et kaldpinna abil võidetakse jõus nii mitu korda, kui mitu korda on kaldpinna pikkus suurem kaldpinna kõrgusest. Hõõrdumist seejuures ei arvestata.

Kõrgahju kaldtee, mida mööda tõstetakse üles maaki ja koksi, raudtee sorteerimissõlm, kaldtee-estakaad, mida mööda lastakse vette uusi laevu jne. on näited kaldpinna kasutamisest.

Hõõrdumise olemasolu korral on keha kaldpinda mööda nihutamisel tehtav töö (kogu töö) suurem sellest tööst, mida oleks vaja teha tõstmiseks kaldpinna kõrgusele (kasulik töö).

Kaldpinna kasutegur on analoogiliselt mistahes teise mehhanismiga alati väiksem kui üks.

N ä i d e 1. Kui suurt jõudu on vaja 1 t massiga söevagoneti ühtlaseks ülesvedamiseks estakaadil, mille pikkus on 200 m ja kõrgus 20 m. Hõõrdumist mitte arvestada.

L a h e n d u s. Otsitava jõu leiame ülaltoodud valemi $F = P \cdot \frac{h}{l}$ abil. Enne on tarvis raskusjõud väljendada njuutonites.

$P = 1000 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 9\,800 \text{ N};$

$F = 9\,800 \text{ N} \cdot \frac{20}{200} = 980 \text{ N}.$

N ä i d e 2. 10 m pikkust ja 3 m kõrgust kaldpinda mööda lohistatakse üles 300 kg massiga koormat. Selleks tuleb viimasele rakendada kaldpinnaga paralleelselt 1500 N suurust jõudu. Arvutada kaldpinna kasutegur.

L a h e n d u s. Kasuteguri leiame valemist $\eta = \frac{A_{kas}}{A}$.

Kasulik töö $A_{kas} = Ph.$

$P = 300 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 3\,000 \text{ N}; \quad h = 3 \text{ m}.$

$A_{kas} = 3\,000 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 9\,000 \text{ J}.$

Kogu töö $A = Fl$

$F = 1\,500$ N; $l = 10$ m.
$A = 1\,500$ N $\cdot$ 10 m $= 15\,000$ J.
$\eta = \frac{A_{kas.}}{A} \cdot 100\%$; $\eta = \frac{9\,000\text{ J}}{15\,000\text{ J}} \cdot 100\% = 60\%$.

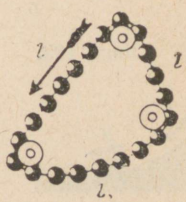
Küsimused.

1. Kui palju saab kaldpinnaga võita jõus? Vastake küsimusele, tuginedes mehhaanika *kuldreeglile*. 2. Milles kaotatakse kaldpinna kasutamisel? 3. Tooge näiteid kaldpinna kasutamise kohta. 4. Kuidas leida katseliselt kaldpinna kasutegurit?

Harjutus 40.

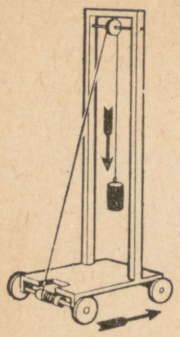
1. Jäätunud kaldtee pikkus on 20 m, kõrgus 4 m. Kui palju tehakse tööd 150 kg massiga saani ülesvedamisel mööda seda kaldteed? Hõõrdumist mitte arvestada.
2. Tee tõuseb 50 m kohta 3 m. Kui suurt jõudu peab arendama sellel teel 2 t massiga auto, et mitte alla veereda? Kui palju tööd teeb auto mootor 50 m pikkusel teel? Hõõrdumist mitte arvestada.
3. 10 m pikkust ja 2,5 m kõrgust kaldpinda mööda on tarvis veeretada üles 200 kg massiga vaati. Kas see on võimalik 300 N suuruse jõuga? Hõõrdumist mitte arvestada.
4. Kahemeetrise laua üks ots on teisest 40 cm kõrgemal. 240 kg massiga vagoneti üleslükkamiseks mööda sellist kaldpinda tuleb rakendada 720 N suurust jõudu. Arvutada kasulik töö, kogu töö ja kasutegur.
5. Koorma tõstmisel kaldpinda mööda 4 m kõrgusele tehakse 12 000 J tööd. Arvutada koorma mass, kui kaldpinna kasutegur on 0,6.
6. Koorma ühtlasel vedamisel kaldpinda mööda üles näitab dünamomeeter 40 N. Leida hõõrdejõud, kui kaldpinna pikkus on 1,8 m, kõrgus 30 cm ning keha mass 12 kg. Arvutada kaldpinna kasutegur.
7. Milline jõud mõjub hüdraulilise tungraua (joon. 87) suurele kolvile, kui kangi pikem õlg $l_1 = 50$ cm, lühem õlg $l_2 = 10$ cm, väiksema kolvi pindala $s_1 = 50$ cm^2, suurema kolvi pindala $s_2 = 1250$ cm^2, kangi käepidemele mõjuv jõud $F_1 = 200$ N ning seadme kasutegur on 80%?
8. Joonisel 191 on toodud üks «igavese jõumasina» projekt. Leidur kinnitab, et selline ahel peab liikuma pidevalt, sest Z_1 on pikem ja raskem kui Z_2, Z_3 raskus jaguneb aga ühtlaselt Z_1 ja Z_2 vahel. Leiduri arvamuse kohaselt peaks liikumine toimuma vastupidiselt kellaosuti liikumisele. Missugused vead tegi leidur oma arutluse käigus?

108. Energia.



Joon. 191.

Tehastes ja vabrikutes töötavad masinad ja tööpingid käitatakse tavaliselt elektrimootoritega. Viimased aga tarbivad seejuures elektrienergiat.
Autode ja lennukite mootorid teevad tööd põleva bensiini energia arvel, auruvedurid ning auruturbii-



Joon. 192.

nid kulutavad naftas talletatud energiat, hüdroturbiinid aga kasutavad langeva vee energiat. Selleks et elada ja töötada, peame ka meie ise täiendama oma energiavarusid.

Sõna *energia* leiab sageli kasutamist ka igapäevases elus. Nii nimetatakse inimesi, kes suudavad palju teha, energilisteks.

Mis on energia? Sellele küsimusele vastamiseks vaatleme mõningaid näiteid.

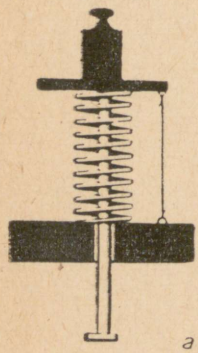
Laua kohale tõstetud keha ei tee tööd, kui aga lasta keha langeda, siis ta teeb tööd.

Joonisel 192 on kujutatud vankrike, millele on kinnitatud plokki hoidev raam. Üle ploki käib niit, mille üks ots on keritud ümber vankri rattapaari telje, teises otsas aga ripub väike viht. Vihi langemine paneb vankri liikuma. Seejuures tehakse tööd.

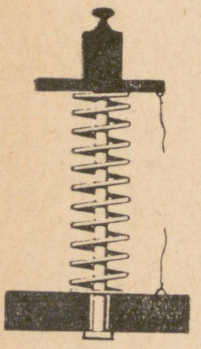
Kokkusurutud vedru võib sirgenedes teha tööd, tõstab näiteks üles vihi (joon. 193) või paneb veerema vankrikese.

Kõik liikuvad kehad on võimelised tegema tööd. Nii näiteks lööb kaldpinda mööda allaveerev teraskuul *A* (joon. 194) vastu puitsilindrit *B*, nihutades seda mingi teepikkuse võrra edasi.

Kui keha või vastastikku seotud kehad (kehade süsteem) on võimelised tegema tööd, siis öeldakse, et need kehad omavad energiat.



a



b

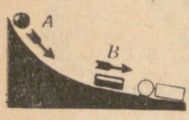
Joon. 193.

Meie poolt vaadeldud ülestõstetud kehal, kokkusurutud vedrul ning liikuval teraskuulil oli energiat, sest liikumisel tegid nad tööd.

Energia on füüsikaline suurus, mis näitab, kui palju tööd võib keha (või kehade süsteem) teha. Seepärast mõõdetakse ka energiat tööühikutega.

Mida suurem on töö, mida keha võib teha, seda suurem on selle keha energia.

Tuleb märkida, et keha võib teha tööd ainult siis, kui ta on teatud kindlas asendis. Näiteks võib keha teha tööd, kui ta on tõstetud mingile kõrgusele, vedru siis, kui ta on deformeeritud, gaas — kui ta on kokku surutud, püssikuul — kui ta lendab. Töö tegemise käigus läheb keha (või kehade süsteem) ühest olukorrast teise: ülestõstetud keha langeb alla, vedru deformatsioon kaob, gaas paisub, kuuli kiirus aga väheneb.



Joon. 194.

Töö tegemisel keha energia muutub, nimelt väheneb. Energia vähenemine on võrdne tehtud tööga. *Seega on töö energia muutumise mõõduks.*

Küsimused.

1. Missuguste näidete abil on võimalik tõestada, et töö ja energia on teineteisega seotud füüsikalised suurused? 2. Millal on kehal energiat? 3. Mida näitab energia kui füüsikaline suurus? 4. Kuidas on keha (või kehade süsteemi) asend seotud keha energiaga? 5. Kuidas võib energia mõiste kaudu defineerida tööd? 6. Missugustes ühikutes mõõdetakse energiat?

109. Potentsiaalne[1] energia.

Potentsiaalseks energiaks nimetatakse sellist energiat, mis on tingitud kehade või keha üksikute osade vastastikusest asendist.

Iga maapinnalt kõrgemale tõstetud keha omab potentsiaalset energiat.

Loeme maapinnal asuva keha potentsiaalse energia nulliks. Siis on maapinnalt mingile kõrgusele tõstetud keha potentsiaalne energia võrdne tööga, mida see keha teeb maapinnale langemisel.

Keha kaaluga P, mis on tõstetud kõrgusele h, teeb langemisel töö, mis on võrdne keha kaalu ja kõrguse korrutisega:

$$A = Ph.$$

Märgime keha potentsiaalse energia sellel kõrgusel tähega W_p. Siis

$$W_p = A = Ph.$$

Leiame 10 kg massiga keha potentsiaalse energia 10 m kõrgusel.

Keha kaal $P = 10\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 98\ \text{N}$. $W_p = 98\ \text{N} \times 10\ \text{m} = 980\ \text{J}$. 100 m kõrgusel on 5 kg massiga keha potentsiaalne energia $W_p = 49\ \text{N} \cdot 100\ \text{m} = 4900\ \text{J}$ (keha kaal $P = 5\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 49\ \text{N}$).

Määratu potentsiaalne energia on jõgede tammide taha paisutatud veel. Langemisel teeb see vesi tööd, pannes tööle võimsad elektrijaamade turbiinid.

Rammimisnuia potentsiaalset energiat kasutatakse ehitustel vaiade rammimiseks. Ülestõstetud keha potentsiaalset energiat kasutatakse ka pommidega seinakellades. Tõstes pommi kaaluga P kõrgusele h, tehakse töö $A = Ph$. Selle tööhulga võrra suureneb kellapommi potentsiaalne energia. Pommi energia kasutatakse ära kellamehhanismi käigushoidmiseks.

[1] Ladinakeelsest sõnast *potentia* — võime.

Pomm langeb allapoole, teeb seejuures tööd ning pommi potentsiaalne energia väheneb.
Vedru venitamisel või kokkusurumisel tehakse samuti tööd. Selle töö tulemusena saab vedru potentsiaalse energia. Selle energia arvel võib vedru deformatsiooni kadumise käigus teha tööd.
Vedruga varustatud ukse avamisel tuleb teha täiendavat tööd vedru venitamiseks (või surumiseks). Omandatud energia arvel teeb vedru lühenemisel tööd, sulgedes ukse.
Kokkusurutud ja kokkukeeratud vedrude energiat kasutatakse vintpüssides lööknõela liikumapanemiseks, grammofonides, kellades ja mitmesugustes mehhaanilistes mänguasjades.
Igal elastselt deformeeritud kehal on potentsiaalset energiat. Kokkusurutud gaaside potentsiaalset energiat kasutatakse soojusjõumasinates ja suruõhuvasarates, mida laialt rakendatakse mäetööstuses, teedeehituses, kõva pinnase kaevamisel jne.
Mida tugevamini on gaas kokku surutud, seda suurem on gaasi potentsiaalne energia. Ja seda suuremat tööd võib gaas paisumisel teha.
Potentsiaalse energia arvel võib teha tööd ainult kindlate tingimuste juures. Ülestõstetud pomm või üleskeeratud vedru paneb kellamehhanismi liikuma ainult siis, kui pommile antakse võimalus langeda, vedrule aga end lahti kerida. Kokkusurutud gaas paneb automootori kolvi liikuma ainult sel juhul, kui gaas paisub.

Küsimused.

1. Missugust energiat nimetatakse potentsiaalseks energiaks? 2. Mis on maapinna kohale tõstetud keha potentsiaalse energia mõõduks? 3. Missugune nivoo võetakse maapinna kohale tõstetud keha potentsiaalse energia nullnivooks? 4. Tooge näiteid kehadest, millel on potentsiaalne energia. 5. Tõestage, et deformeeritud vedrul on potentsiaalset energiat. 6. Missuguse vedru asendi korral on tema energianivood otstarbekas lugeda nulliks? 7. Missugustel tingimustel võib potentsiaalse energia arvel tööd teha?

110. Kineetiline[1] energia.

Energiat, mis kehal on oma liikumisest tingituna, nimetatakse kineetiliseks energiaks.
Voolav vesi, mis paneb tööle elektrijaama turbiinid, teeb tööd. Järelikult on voolaval veel kineetilist ener-

[1] Kreekakeelsest sõnast *kinēma* — liikumine.

giat. Kineetiline energia on ka liikuval õhul — tuulel.

Kineetilise energia nullnivooks võib võtta Maa suhtes paigalseisva keha kineetilise energia. Keha kineetiline energia on võrdne selle tööga, mis tehti keha kiiruse muutmiseks nullist kuni mingi väärtuseni või kiiruse vähendamiseks mingist väärtusest nullini.

Mida suurem on keha mass ja liikumise kiirus, seda suurem on keha kineetiline energia. Selles võib veenduda, korrates katset kuuli ja silindriga (joon. 194). Seekord aga võtame erinevate massidega kuulid ning laseme neid alla veereda erinevatelt kõrgustelt.

Kõigil looduses esinevatel kehadel on kas potentsiaalset või kineetilist energiat. Väga sageli omavad kehad mõlemat liiki energiat. Näiteks on lendaval lennukil kineetilist energiat ning samal ajal maapinna suhtes ka potentsiaalset energiat.

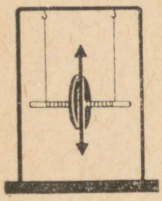
Vaatleme teist näidet, nimelt kella, mille paneb liikuma langev pomm. Selleks et kell käiks, on vaja pomm üles tõsta, s. o. anda talle potentsiaalne energia. Kui pomm hakkab langema, paneb ta kellamehhanismi tööle. Laskuval pommil on nii kineetilist kui ka potentsiaalset energiat. Tõepoolest, kui pomm liigub, siis omab ta kineetilist energiat, kuna aga pomm ei ole jõudnud veel maapinnani, siis on tal ka potentsiaalset energiat.

Me tutvusime mehhaanilise energia kahe liigiga. Teiste energialiikidega (elektriline, keemiline jne.) tutvume füüsika kursuse teistes osades.

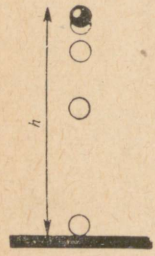
Küsimused.

1. Missugust energiat nimetatakse kineetiliseks energiaks? 2. Missugust nivood loetakse kineetilise energia nullnivooks? 3. Mis on keha kineetilise energia mõõduks? 4. Nimetage kehi, millel on olemas kineetiline energia? 5. Kuidas oleneb keha kineetiline energia keha massist ja liikumise kiirusest? 6. Missuguste katsete ja näidete abil võib veenduda, et keha kineetiline energia sõltub tema massist ja liikumise kiirusest? 7. Missugust energiat on lendaval lennukil? töötava kella pommil? 8. Missugust energiat nimetatakse mehhaaniliseks energiaks?

111. Mehhaanilise energia ühe liigi muundumine teiseks.



Joon. 195.



Joon. 196.

Looduses, tehnikas ja igapäevases majapidamises võib pidevalt näha mehhaanilise energia ühe liigi muundumist teiseks, nimelt potentsiaalse energia muundumist kineetiliseks ning samuti kineetilise energia muundumist potentsiaalseks.

Väga hea on seda nähtust vaadelda seadme abil, mis on kujutatud joonisel 195. Kui keerutada niit ümber telje, siis tõuseb seadme ketas üles. Ülestõstetud kettal on mingi potentsiaalne energia. Kui ketas lahti lasta, hakkab ta pöörlema ja allapoole langema. Langemisel ketta potentsiaalne energia väheneb, samal ajal aga kasvab kineetiline energia. Langemise lõpul on kettal selline kineetilise energia varu, mille arvel ketas tõuseb peaaegu endisele kõrgusele.[1] Ülesjõudnud ketas langeb uuesti, siis aga tõuseb jällegi jne. Selles katses muundub ketta potentsiaalne energia langemisel kineetiliseks, ülesliikumisel aga kineetiline energia omakorda potentsiaalseks.

Keerulisem energia muundumine ühest liigist teise toimub mingi kahe elastse keha põrkumisel, näiteks kummipalli põrkamisel vastu põrandat või teraskuuli põrkamisel terasplaadilt.

Kui tõsta teraskuul terasplaadi kohale (joon. 196) ja lasta siis käest lahti, hakkab ta langema. Langemise ajal kuuli potentsiaalne energia väheneb, kineetiline energia aga kasvab, sest kuuli liikumise kiirus suureneb. Kuuli põrkamisel vastu terasplaati surutakse nii kuuli kui ka plaadi osakesed kokku, kuuli kineetiline energia aga muundub kuuli ja plaadi elastse deformatsiooni potentsiaalseks energiaks. Tänu elastsusjõududele võtavad plaat ja kuul oma esialgse kuju tagasi, kuul põrkub plaadilt üles, deformatsiooni potentsiaalne energia muundub uuesti kuuli kineetiliseks energiaks. Kuul põrkub plaadilt tagasi sama kiirusega, mis tal oli plaadile langemise momendil. Liikumisel üles kuuli kiirus ja järelikult ka kineetiline energia väheneb, potentsiaalne energia aga kasvab. Plaadilt tagasipõrganud kuul tõuseb sellele kõrgusele, kust ta algul kukkuma hakkas. Sellel kõrgusel on kuuli kineetiline energia uuesti tervenisti muundunud potentsiaalseks.

---

[1] Osa energiat kulub hõõrdumise ületamiseks, seepärast ei tõusegi ketas endisele kõrgusele.

Kõiki looduses toimuvaid nähtusi saadab ühe energialiigi muundumine teiseks.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata ühe energialiigi muundumist teiseks? 2. Missugused energia muundumised toimuvad teraskuuli langemisel vastu terasplaati?

Harjutus 41.

1. Kirjeldage energia muundumisi järgmiste nähtuste juures:
   a) vee langemine koses;
   b) palli viskamine vertikaalselt üles;
   c) käekella vedru üleskeeramine;
   d) uksevedru kasutamine.
2. Üks kahest kehast visatakse horisontaalselt kiirusega v, teine lastakse aga vabalt langeda samalt kõrguselt. Kehade massid on ühesugused. Kas kehade potentsiaalsed energiad ühel ja samal kõrgusel on ühesugused? kineetilised energiad?
3. Tooge näiteid kehadest, millel on üheaegselt nii kineetilist kui potentsiaalset energiat.

Ülesanne.

Valmistage niitpendel ja vedrupendel. Vaadelge nende pendlite võnkumist. Kirjeldage lühidalt energia muundumist nende võnkumiste juures.

112. Voolava vee energia kasutamine.

Täiendavaks lugemiseks.

Juba mitu tuhat aastat kasutab inimkond mitmesugusteks eesmärkideks voolava vee energiat.

Vee-energia varud Maal on määratu suured. Ligikaudsete arvutuste alusel on Nõukogude Liidu hüdroenergia varud ligikaudu 2000 miljardit kWh aastas.

Vee ringkäigu eest looduses oleme tänu võlgu päikesekiirgusele. Järvede, merede ja ookeanide vesi aurustub, tõuseb üles ja moodustab pilved ning sajab siis vihmana või lumena maapinnale. Sealt voolab vesi ojakeste ja jõgedena merre ja ookeani, kus ta uuesti aurustub. Iga laviin, iga ojake, iga jõgi on energiaallikas, mida võib rakendada mitmel viisil.

Vaatamata sellele, et vee-energia varud on ammendamatud ning et inimesed hakkasid seda kasutama juba ammu, on vee-energia, nn. «valge süsi» omandanud tööstuses suure tähtsuse alles tänapäeval. Eriti

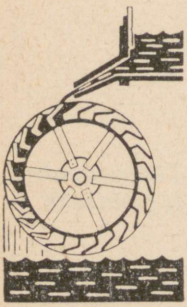
suurt tähelepanu pööratakse «valge söe» energia kasutamisele Nõukogude Liidus.
Energeetikavallas püstitati Nõukogude Liidus üheks esimeseks ülesandeks «valge söe» energia maksimaalne kasutamine võimsate hüdroelektrijaamade ehitamise näol. Tänu sotsialistlikule ülesehitustööle meie maal lahendati see ülesanne edukalt. Tänapäeval töötab meie maal rida võimsaid hüdroelektrijaamu: V. I. Lenini nimeline Dnepri Hüdroelektrijaam võimsusega 650 tuhat kW, V. I. Lenini nimeline Volga Hüdroelektrijaam võimsusega 2,3 milj. kW; NLKP XXII Kongressi nimeline Hüdroelektrijaam võimsusega 2,5 miljonit kW. Elektrienergiat annab maailma suurim Oktoobri 50. Aastapäeva nimeline Bratski Hüdroelektrijaam Angaraal võimsusega 4,5 miljonit kW. Ehitatakse juurde veel võimsamaid hüdroelektrijaamu.

113. Hüdraulilised jõumasinad.

Täiendavaks lugemiseks.

Igal maapinna kohale tõstetud kehal on potentsiaalset energiat. See kehtib ka vee kohta. Ühe kuupmeetri vee potentsiaalne energia näiteks 50 m kõrgusel

$$W_p = 1\,000 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 50 \text{ m} \approx 500\,000 \text{ J}.$$



Joon. 197.

Langemisel sellelt kõrguselt teeb vesi tööd $A = 500\,000$ J.
Looduses esineb suhteliselt harva olukordi, kus suured veehulgad vahetult langevad küllalt suurelt kõrguselt. Kõige sagedamini tuleb kasutada selliseid jõgesid, mille sängi langus on väike. Sellisel juhul on hüdraulilise jõumasina tööks vajaliku rõhu saamiseks vaja tõsta kunstlikult veepinna taset jões. Seda tehakse tammi abil.
Kui tõkestada jõgi tammiga, siis veepind tammi taga tõuseb kõrgemale. Nii näiteks on V. I. Lenini nimelises Dnepri Hüdroelektrijaamas ehitatud tammi abil tõstetud veepind 51 m kõrgusele.
Ülespaisutatud vee energia arvel võivad hüdraulilised jõumasinad teha mehhaanilist tööd.
Üheks lihtsamaks ja vanemaks hüdrauliliseks jõumasinaks on vesiratas. (Joonisel 197 on toodud pealtlöödava vesiratta lõige.) Sellises jõumasinas kasutatakse põhiliselt vee potentsiaalset energiat ning

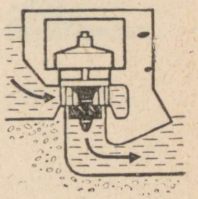


Joon. 198.

ainult osaliselt kineetilist energiat. Tänapäeval ehitatakse vesirattaid väga harva.
Kaasaegseteks hüdraulilisteks jõumasinateks on veeturbiinid. Sellistes turbiinides annab vesi oma energia töörattale oma liikumise kiiruse ja suuna muutmise tulemusena, mis toimub tööratta labade abil.
Joonisel 198 on kujutatud vee voolamise skeem turbiinis. Selle turbiini tööratas *1* asub pöörlemislabadega juhtratta 2 sees. Juhtratta labade abil reguleeritakse veekulu turbiinis.
Juhtratta labadelt liigub vesi suure kiirusega tööratta labadele ning liigub nendelt äravoolutorusse tunduvalt väiksema kiirusega. Vee kineetiline energia väheneb tehtud töö võrra.
Joonisel 199 on kujutatud suure veeturbiini tööratas. Turbiini tööratas on kinnitatud elektrienergiat tootva generaatori võllile.
Joonisel 200 on kujutatud elektrijaamas kasutatava turbiini skeem.
V. I. Lenini nimelises Volga Hüdroelektrijaamas on 20 turbiini, igaüks võimsusega 115 tuhat kW. Bratski hüdroelektrijaama iga turbiini võimsus on 225 tuhat kW. Need on määratu suured masinad. Nende kaal on ligi 1500 tonni. Tööratta iga laba kaalub juba 20 T. Suurte turbiinide tööratastе diameeter ulatub 10 meetrini.
Veeturbiini võll pöörleb töötamisel suhteliselt väikese kiirusega, ligikaudu 68 pööret minutis.



Joon. 199.

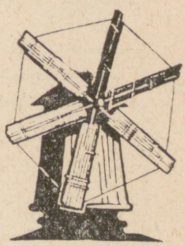


Joon. 200.

114. Tuulemootorid.

Täiendavaks lugemiseks

Liikuval õhul, tuulel on kineetilist energiat. Teadlaste arvestuste järgi ületab tuuleenergia tunduvalt kõigi kütuseliikide energia. Tuuleenergiat nimetatakse ka «sinise söe» energiaks.
Tuul kujutab endast odavat energiaallikat. Kahjuks on see allikas väga ebakindel. Seepärast kasutatakse senini seda energiat suhteliselt vähe.
Tuuleenergiat kasutatakse tuulemootorites.
Tuulemootoreid tunti juba vanal ajal. Joonisel 201 on kujutatud tuuleveski. Kaasaegne suure võimsusega tuulemootor on toodud joonisel 202.
Liikuvad õhumassid rõhuvad tuulemootori tiibade kaldpindadele ning panevad need liikuma. Tiibade pöörlemine antakse vastava ülekandesüsteemi abil üle mingi töö tegemiseks kohaldatud mehhanismile.



Joon. 201.



Joon. 202.

Tuulemootoreid kasutatakse kaevust vee tõstmiseks, vee pumpamiseks veetornidesse, sovhoosides, kolhoosides ning raudteejaamades elektrienergia tootmiseks jne.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse «valgeks söeks»? 2. Milliseid jõumasinaid nimetatakse hüdraulilisteks (vee-) jõumasinateks? 3. Nimetage lihtsaim ning samal ajal vanim hüdrauliline jõumasin. 4. Kuidas nimetatakse kaasaegseid suure võimsusega hüdraulilisi jõumasinaid? 5. Kuidas on ehitatud ning kuidas töötavad veeturbiinid? 6. Milleks kasutatakse veeturbiine? 7. Missugust vee-energiat kasutatakse hüdraulilistes masinates? 8. Milliseid meie maa suuri hüdroelektrijaamu te teate? 9. Mida nimetatakse «siniseks söeks»? 10. Kuidas nimetatakse tuuleenergiat kasutavaid jõumasinaid? 11. Mis takistab tuuleenergia ulatuslikku rakendamist tööstuses ja põllumajanduses?

Harjutus 42.

1. Kus on vee iga kuupmeetri potentsiaalne energia suurem, kas jõe lättel või suudmes? Põhjendage vastust.
2. Kummas jões, kas mägijões või tasandikujões on iga kuupmeetri voolava vee kineetiline energia suurem?
3. Bratski hüdroelektrijaama tammi kõrgus on 100 m. Kui palju tööd teeb iga kuupmeeter vett langemisel sellelt kõrguselt?
4. Veeturbiinid ja elektrigeneraatorid kasutavad ligikaudu 80% turbiini langeva vee energiast. Angaraal oleva Bratski hüdroelektrijaama maksimaalne võimsus on 4 500 000 kW. Kui palju vett langeb selles elektrijaamas igas sekundis 100 m kõrguselt?
5. Missugust vee-energia liiki kasutatakse joonisel 200 kujutatud turbiinis?

LABORATOORSED TÖÖD.

1. Keha massi mõõtmine kaugkaaludel.

T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: kangkaalud, kaaluvihtide komplekt, mõned erineva massiga esemed, anum, haavlid või kuiva puhast liiva.

T ö ö j u h e n d. 1. Lugege läbi õpikust § 47 «Kaalumise reeglid».

2. Määrake mõne tahke keha mass täpsusega 0,1 g, pidades seejuures kinni kaalumise reeglitest.
3. Mõõtmistulemused kirjutage järgmisesse tabelisse:

Katse nr.	Keha mass (g)
1. 2. 3.	

Täiendav ülesanne.

Kaalumisel kasutatakse mõnikord nn. t a r e e r i m i s e m e e t o d i t. Selle meetodi kasutamisel asetatakse vasakule kaalukausile ese, mille massi tahetakse mõõta. Paremale kaalukausile paigutatakse anum, millesse puistatakse seni kuiva liiva või peenikesi haavleid, kuni kaalud jäävad tasakaalu. Siis võetakse ese vasakult kaalukausilt ning selle asemele paigutatakse taarat (anum liiva või haavlitega) tasakaalustav kogus kaaluvihte. Nende vihtide mass on võrdne eseme massiga.

Tareerimismeetodiga võib küllalt täpselt mõõta keha massi ka veidi tasakaalust väljas olevate kaaludega.

Kontrollige seda katseliselt. Asetage vasakule kaalukausile haavel või paberitükikesi. Selle tulemusena kaalude tasakaal kaob — kaalud ei ole korras.

Mõõtke mõne käepärase eseme mass tareerimismeetodil ning võrrelge tulemusi tasakaalus olnud kaalude kasutamisel saadud tulemustega.

Katse nr.	Tasakaalus kaaludega mõõdetud keha mass (g)	Tareerimismeetodil mõõdetud mass (g)
1. 2. 3.		

Mõelge ning selgitage, miks saab tareerimismeetodil määrata küllalt täpselt keha massi ka tasakaalust väljas olevate kaaludega.

2. Tahke keha tiheduse määramine.

T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: kangkaalud, kaaluvihtide komplekt, mensuur, tahke keha, mille tihedust on tarvis mõõta (näiteks portselanrullike või alumiiniumsilinder), niiti.

T ö ö j u h e n d. 1. Korrake § 27 «Aine tihedus».

2. Mõõtke kaaludega keha mass grammides ning väljendage siis see kilogrammides.
3. Mensuuri abil mõõtke keha ruumala kuupsentimeetrites ning väljendage siis see kuupmeetrites. Ruumala määramiseks tuleb kõigepealt määrata mensuuri ühe jaotuse väärtus, s. o. ruumala, mis vastab skaala ühele jaotusele. (Harilikult antakse mensuuri skaala milliliitrites (ml), 1 ml = 1 cm^3.) Siis valatakse mensuuri selline kogus vett, mis võimaldab keha täieliku paigutamise vette, ning märgitakse vee tase mensuuris. Nüüd tuleb niidi otsa seotud keha lasta mensuuris olevasse vette ning teha kindlaks, mitme jaotuse võrra tõusis vesi mensuuris kõrgemale.
   Mensuuri jaotuse väärtuse abil määrake keha ruumala kuupsentimeetrites ja väljendage see kuupmeetrites.
4. Arvutage valemi $\varrho = \frac{m}{V}$ abil keha aine tihedus $\frac{g}{cm^3}$ -tes ja väljendage see $\frac{kg}{m^3}$ -tes.

Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjutage järgmisse tabelisse:

Aine nimetus	Keha mass		Keha ruumala		Aine tihedus	
	g	kg	cm^3	m^3	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{kg}{m^3}$

3. Vedru gradueerimine ja jõu mõõtmine dünamomeetriga.

T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: dünamomeeter, mille skaala on paberiga kaetud, 102 g massiga koormused, statiiv näpitsa ja rõngaga.

T ö ö j u h e n d. 1. Lugege õpikust läbi § 39 «Elastsusjõu sõltuvus deformatsiooni suurusest» ja § 40 «Dünamomeeter».

2. Kinnitage statiivi näpitsa külge vertikaalselt dünamomeeter. Märkige paberile dünamomeetri osuti asend. See on osuti nullasend.
3. Riputage dünamomeetri konksu külge koormus, mille mass on 102 g.Sellele koormusele mõjub raskusjõud 1 N. Sama jõuga venitab see koormus ka dünamomeetri vedru. See jõud tasakaalustatakse vedru deformeerimisel tekkiva elastsusjõuga.
   Dünamomeetri osuti uus asend märgitakse samuti horisontaalse kriipsukesega skaalal olevale paberile.
4. Edasi riputatakse dünamomeetri otsa sama massiga (102 g) teine, kolmas ja neljas koormus, kusjuures iga koormuse riputamise järel märgitakse osuti asend paberile.
5. Võtke dünamomeeter statiivilt ning kirjutage horisontaalsete kriipsukeste juurde ülalt alates 0, 1, 2, 3 ja 4. Arvude kohale kirjutage sõna «njuuton».

6. Mõõtke kriipsudevahelised kaugused. Need on võrdsed. Seda oligi oodata, sest elastsusjõud on võrdeline vedru deformatsiooniga (pikenemisega; § 39). Selle alusel võib öelda, et koormus massiga 51 g, mis mõjub dünamomeetrile jõuga 0,5 N, venitab vedru kaks korda vähem kui koormus massiga 102 g. Seepärast võib ilma koormusi dünamomeetrile riputamata märkida skaala põhijaotuste vahele ka kriipsukesed, mis märgivad 0,5 N suurusi jõude.
7. Mõõtke gradueeritud dünamomeetriga mõne keha, näiteks statiivi rõnga või näpitsa kaal.
Mõõtmistulemused kirjutage vihikusse. Joonistage sinna ka gradueeritud dünamomeeter.
Märkus. 102 g massiga koormuse saamiseks võib 100 g massiga koormusele lisada 2 g plastiliini.

4. Vedeliku tiheduse määramine areomeetriga.

Töövahendid ja materjalid: areomeeter veest tihedamate vedelike jaoks, 100 ml mahtuvusega mensuur, kaalud koos kaaluvihtidega, soola.

Tööjuhend. 1. Lugege õpikust § 91 «Areomeetrid».
2. Tutvuge areomeetri skaalaga. Laske areomeeter puhtasse vette ning tehke kindlaks, missuguse jaotuseni ta vette vajub.
3. Valage mensuuri 100 ml vett.
4. Kaaluge kaaludel 2 g soola, lahustage sool vees ning mõõtke saadud lahuse tihedus.
5. Lisage lahusele 2 g kaupa soola, lahustage ning mõõtke iga kord lahuse tihedus. Tehke 3 — 4 mõõtmist. Lahuse tihedus väljendage $\frac{g}{cm^3}$-tes ja $\frac{kg}{m^3}$-tes.
Mõõtmiste ja arvutamiste tulemused kirjutage järgmisse tabelisse:

Katse nr.	Vee mass		Lahustatud soola mass		Lahuse tihedus		Lahuse kontsentratsioon
	g	kg	g	kg	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{kg}{m^3}$	
1.							
2.							
3.							

6. Lahuse kontsentratsiooniks nimetatakse arvu, mida väljendab suhe

$$\Delta = \frac{m}{m+M}\,100\%,$$

kus m on lahustatud aine mass, M — lahustava aine (vesi) mass, Δ (kreeka täht *delta*) — lahuse kontsentratsioon.
Kontsentratsioon antakse tavaliselt protsentides.
Arvutage lahuse kontsentratsioonid protsentides. Saadud tulemused kirjutage tabelisse.
Kuidas muutub lahuse tihedus kontsentratsiooni muutudes?

5. Kehade ujumine vedelikes.

Töövahendid ja materjalid: kaalud koos kaaluvihtidega, mensuur, katseklaas-ujuk kummikorgiga, traatkonks, kuiva liiva, kuivatuspaberit või kuiv lapp.

Tööjuhend. 1. Lugege õpikust läbi § 88 «Kehade ujumine».

2. Puistake katseklaasi niipalju liiva, et ta korgiga suletult ujuks vees vertikaalselt ning osa temast ulatuks veest välja.
3. Määrake katseklaasile mõjuva üleslükkejõu suurus. See on teatavasti võrdne katseklaasi poolt väljatõrjutud vee kaaluga. Selle kaalu kindlakstegemiseks tuleb kõigepealt määrata väljatõrjutud vee ruumala. Selleks tuleb määrata vee kõrgus mensuuris enne ja pärast katseklaasi vette asetamist. Väljendage üleslükkejõud njuutonites.
4. Võtke katseklaas veest välja ning kuivatage see kuivatuspaberi või lapiga. Määrake siis katseklaasi kaal täpsusega 1 G. Väljendage see kaal njuutonites.
5. Puistake katseklaasi liiva juurde. Määrake uuesti üleslükkejõud ja katseklaasi kaal. Tehke selliseid mõõtmisi mitu korda (seni, kuni korgiga suletud katseklaas upub).

Katsete arvulised tulemused kirjutage tabelisse. Märkige, millal katseklaas ujub ja millal upub.

Katse nr.	Üleslükke jõud		Korgiga katseklaasi kaal		Katseklaas ujub või upub
	G	N	G	N	
1. 2. 3.					

6. Kaldpinna kasuteguri määramine.

Töövahendid ja materjalid: laud, dünamomeeter, mõõdulint, klots, statiiv näpitsaga.

Tööjuhend. 1. Korrake § 106 «Mehhanismi kasutegur».

2. Paigutage laud kaldasendisse.
3. Mõõtke lindi abil laua pikkus l ja tõusu kõrgus h. Tulemused väljendage meetrites.
4. Määrake klotsi kaal P njuutonites.
5. Kinnitage klots dünamomeetri külge ning vedage ühtlaselt mööda kaldpinda üles. Määrake veojõud F njuutonites.
6. Arvutage kasulik ja kogu töö, mis tehti klotsi tõstmisel mööda kaldpinda kõrgusele h.
7. Määrake kaldpinna kasutegur protsentides. Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjutage järgmisse tabelisse:

Katse nr.	Kaldpinna pikkus (m)	Veojõud (N)	Veojõu töö (kogu töö) $A_1=Fl$ (J)	Klotsikaal (N)	Kaldpinna kõrgus (m)	Kasulik töö $A_2=Ph$ (J)	Kasutegur $=\frac{A_2}{A_1}\cdot 100\%$

Täiendav ülesanne.

Suurendage kaldpinna kõrgust ja määrake uuesti kogu töö ja kasulik töö. Kas oleneb kaldpinna kasutegur kaldpinna kõrgusest?

7. Elektrimootori mehhaanilise võimsuse määramine.

Töövahendid ja materjalid: pikendatud võlliga laboratoorne elektrimootor, stopper, mõõdulint, kaalud koos kaaluvihtidega, 10—20 G raskune koormus, mida saab üles riputada, 150 cm pikkune niit, taskulambipatarei, laboratoorne lüliti, ühendusjuhtmed.

Tööjuhend.

1. Lülitage mootor vooluallika vooluringi (lüliti on avatud). Siduge niit mootori seibile ning kerige see ümber seibi selliselt, et teises otsas rippuv koormus ulatuks põrandale.
2. Mõõtke teepikkus, mille koormus peab mootori töötamise ajal läbima.
3. Mootor ja stopper lülitage sisse üheaegselt (mootori sisselülitamine toimub lüliti abil).

Kui koormus on märgitud teepikkuse läbinud, seiska üheaegselt stopper ja mootor (katkestage vooluring lüliti abil).

4. Arvutage mootori poolt tehtud töö džaulides:

$$A = Ph.$$

5. Teades aega, arvutage mootori võimsus vattides:

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

Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kirjutage järgmisse tabelisse:

Katse nr.	Koormuse kaal (N)	Läbitud tee pikkus (m)	Aeg (s)	Töö (J)	Võimsus (W)
1.					
2.					
3.					

VASTUSED.

Harjutus 1. 0,23 mm.

Harjutus 3. 1. $25\frac{m}{s}$. 2. Võib.

Harjutus 4. 1. 240 m. 2. 3680 m.

Harjutus 6. 1. $\approx 13\frac{m}{s}$. 2. $\approx 8\frac{m}{s}$ ja $4\frac{m}{s}$. 3. $11{,}2\frac{m}{s}$.

Harjutus 7. 4. 10 korda.

Harjutus 8. 4. $11{,}3\frac{g}{cm^3}$; $0{,}9\frac{g}{cm^3}$; $0{,}24\frac{g}{cm^3}$. 5. $0{,}2\frac{g}{cm^3}$; $200\frac{kg}{m^3}$
6. $800\frac{kg}{m^3}$. 7. $\approx 7\frac{g}{cm^3} \approx 7000\frac{kg}{m^3}$.

Harjutus 9. 1. 10 kg; 10,3 kg; 136 kg. 2. 1130 g. 3. $\approx$ 77 m. 4. 4 kg. 5. 120 cm^3.
6. 1,5 cm^3. 7. 80 m.

Harjutus 10. 3. $3 \cdot 10^{25}$.

Harjutus 12. 1. $\approx$100 N; $\approx$2 N. 2. $\approx$25 N; $\approx$8 N; $\approx$12 000 N. 3. 30 000 N.
4. $\approx$80 kg.

Harjutus 13. 1. 15 mm; 27 mm. 2. 40 000 N.

Harjutus 15. 1. 700 N. 2. 900 N. 3. 10 N.

Harjutus 16. 2. $\approx$ 15 N.

Harjutus 17. 5. $\approx 42\,000\frac{N}{m^2}$. 6. $5\,000\,000\,000\frac{N}{cm^2}$.

Harjutus 21. 1. 450 N. 2. 1 200 000 N. 3. 90; 100.

Harjutus 22. 1. $\approx$112 000 000 N. 2. $\approx$8 500 000 N.
3. $\approx$6 000 N; $\approx$4 800 N; $\approx$82 000 N.
4. $\approx$66 000 N. 5. $\approx$0,005 m^2.

Harjutus 23. 3. $\approx 1\,000\,000\frac{N}{m^2}$. 4. $\approx 30\,000\frac{N}{m^2}$.
6. 100 N; 50 N.

Harjutus 24. 5. 2 cm.

Harjutus 26. 6. $\approx$28 800 N. 7. $\approx$8 000 m.
8. $\approx 20\,000\,000\frac{N}{m^2}$. 9. $\approx$150 000 N.

Harjutus 27. 1. $\approx 103\,000\frac{N}{m^2}$; $1{,}03\frac{kG}{cm^2}$ 2. $\approx 100\,000\frac{N}{m^2}$.
3. $\approx$460 m. 6. $\approx$17 mm Hg.

Harjutus 28. 1. 860 mm Hg. 2. $\approx$762 mm Hg.

Harjutus 30. 5. $\approx$1 N; 0,8 N. 6. $\approx$1,6 N. 7. Võib. 8. $\approx 1\ m^3$.

Harjutus 31. 1. $16\,000\frac{kg}{m^3} = 16\frac{g}{cm^3}$; kulda 1,5 kg, hõbedat 0,5 kg.

Harjutus 32. 5. 3,8 kg. 6. ≈1 150 000 m³; ≈10 300 000 000 N.

Harjutus 34. 2. 2160 T. 3. 10 000 t. 4. 6,4 t.

Harjutus 35. 3. 1,2 N võrra. 4. Võib.

Harjutus 36. 1. ≈300 000 J. 2. 240 000 J. 3. ≈360 J.
5. ≈450 000 000 J. 6. 94 500 000 J.
7. ≈7500 J. 8. ≈62400 J. 9. ≈4 600 000 J.
10. ≈1400 J. 11. ≈5 J.

Harjutus 37. 1. ≈180 kW. 2. ≈750 W. 3. ≈15,5 kW.
4. ≈10 kW. 5. ≈100 W. 6. ≈60 W. 7. 30 s.
8. ≈0,00006 W. 9. 12 000 000 J ≈ 3,3 kWh.
10. 86 400 000 J ≈ 24 kWh. 11. 750 W. 12. ≈330 N.
13. ≈9 kW. 14. ≈30 s.

Harjutus 38. 5. ≈110 N. 7. ≈4 200 N.

Harjutus 39. 2. 2240 J. 6. ≈100 N. 7. 25 N; 0,05 m.
9. 24 N. 10. 50 N; ≈200 N; 0,15 m.

Harjutus 40. 1. 6000 J; 300 N. 2. ≈1200 N; 60 000 J. 3. Ei.
4. ≈960 J; 1440 J; ≈67%. 5. ≈180 kg.
6. 20 N; 50%. 7. 20 000 N.

Harjutus 42. 3. 1 000 000 J. 4. ≈ 6000 m³.

KORDAMISÜLESANDED.

Algteadmisi aine ehitusest.

1. Kui õlitilk paigutada veepinnale, siis ta vajub laiali, tekitades õhukese õlikile. Kas see kile võib olla kui tahes õhuke?
2. 1 cm^3 vees on 34 000 000 000 000 000 000 000 molekuli, 1 cm^3 veeaurus aga 20 000 000 000 000 000 000 molekuli. Mitu korda on 1 cm^3 vees molekule rohkem kui 1 cm^3 veeaurus?
3. Missugusel füüsikalisel nähtusel põhineb kurkide, tomatite ja teiste aedviljade soolamine?
4. Millega seletada seda, et koor koguneb piima peale kiiremini külmas ruumis kui soojas ruumis?
5. Miks muutuvad kurgid soojas soolvees kiiremini soolaseks kui külmas soolvees?

Liikumine ja jõud.

6. Traktor liigub mööda pinnast. Kuidas liigub pinnase suhtes roomiku ülemine ja alumine osa?
7. 18 km pikkuse tee käib jalakäija 5 tunniga, lennuk lendab sama tee 2 minutiga, reaktiivlennuk aga 40 sekundiga. Arvutage nende kehade kiirused $\frac{m}{s}$ -tes.
8. 1937. a. sooritas nõukogude lennuk AHT-25 (V. Tškalovi meeskonnaga) vahemaandumiseta lennu Moskvast USA-sse. 56 tunni 21 minutiga läbis lennuk 9374 km. Leida lennuki kiirus.
9. Nõukogude kosmoserakett läbis 410 000 km pikkuse vahemaa Maa — Kuu 38,5 tunniga. Arvutage raketi keskmine kiirus.
10. Mootorpaat läbis liikumise esimese 5 minutiga 2 km, järgmise 12 minutiga 5,5 km ning viimase 3 minutiga 900 m. Kas võib selle paadi liikumist nimetada ühtlaseks? Arvutage selle paadi liikumise keskmine kiirus.
11. Reisilennuk lendas tee kohal 1 minuti. Leida lennuki poolt tee kohal läbitud teepikkus, kui lennuki kiirus oli 840 $\frac{km}{h}$.
12. Maa liigub ümber Päikese keskmise kiirusega 30 $\frac{km}{s}$. Kui pika tee läbib Maa oma orbiidil 1 minutiga? 1 tunniga?
13. Kahe vankrikese vastastikuse mõju tulemusena muutus ühe vankrikese kiirus 1 $\frac{m}{s}$ võrra, teise kiirus aga 50 $\frac{cm}{s}$. Kumma vankrikese mass on suurem ja mitu korda?
14. 0,8 kg massiga vankrike põrkus vastu teist vankrikest. Kui suur on teise vankrikese mass, kui selle kiiruse muutumine põrkel on 4 korda suurem kui esimese vankrikese kiiruse muutus.

15. Kui suur on bensiini tihedus, kui 35 t bensiini ruumala on 50 m^3?
16. 1 l taimeõli mass on 920 g. Arvutada õli tihedus.
17. Gaas surutakse kolvi abil tugevasse ning hästi suletud ruumi tihedasti kokku. Kas selle käigus muutus gaasi ruumala, rõhk, mass ja tihedus?
18. Luisu pikkus on 30 cm, laius 5 cm ning paksus 2 cm. Luisu mass on 690 g. Leida luisu aine tihedus $\frac{kg}{m^3}$-tes ja $\frac{g}{cm^3}$-tes.
19. Heinapalli mass on 40 kg, mõõtmed aga 90×40×55 cm. Arvutage pressitud heinte tihedus. Paragrahvis 27 toodud andmete alusel arvutage äsjaniidetud heina tihedus ning võrrelge seda pressitud heina tihedusega.
20. Kasutades tiheduste tabelit, määrake järgmiste kehade massid: marmoritükk ruumalaga 2 m^3; parafiinitükk ruumalaga 100 cm^3; graniitsammas ruumalaga 2,5 m^3; malmese ruumalaga 0,3 m^3; tammelaud ruumalaga 12 dm^3.
21. 40 cm pikkusesse ja 20 cm laiusesse akvaariumi valati vett 35 cm kõrguseni. Arvutada akvaariumi kallatud vee mass. Kui suur on sama koguse masinaõli mass?
22. Arvutada aknaklaasi mass, kui selle pikkus on 1,5 m, kõrgus 0,8 m ja paksus 0,6 cm.
23. Graniitrahnu mass on 3,4 t. Kui suur on selle rahnu ruumala?
24. Raudteetsisterni ruumala on 50 m^3. Kui palju tsisterne kulub 200 t nafta vedamiseks?
25. Kujutage graafiliselt lauale mõjuvad jõud (joon. 32). Istuva poisi mass on 40 kg.
26. Dünamomeetri vedru venitamisel 5 mm võrra tekib elastsusjõud 4 N. Arvutada elastsusjõud, mis tekivad vedru venitamisel 2 mm, 16 mm ja 22 mm võrra.
27. Arvutage raskusjõud, mis mõjuvad kehadele, mille massid te määrasite ülesandes 20.
28. 1959. a. Kuule saadetud Nõukogude Liidu vimpel koos konteineriga kaalus Maal 3900 N. Kui palju kaalub see vimpel Kuul? Kui suur oli selle keha mass Maal ning kui suur on see praegu Kuul?
29. Ülesandes 21 toodud andmete järgi arvutada akvaariumi kallatud vee kaal.
30. 50 cm^3 ruumalaga malmdetail kaalub 3,43 N. Arvutada malmi tihedus.
31. Risttahukakujuline tinatükk mõõtmetega 30×10×10 cm kaalub 215 N. Arvutada tina tihedus.
32. Hobuse veojõud on keskmiselt 700 N. Mitut hobust asendab traktor veojõuga 84 000 N?
33. Auto veojõud on 1000 N, autole mõjuv takistusjõud aga 700 N. Arvutage nende jõudude resultant.
34. 70 kg massiga tööline hoiab ülal 40 kg massiga keha. Kui suure jõuga mõjub tööline maapinnale? Kujutage see jõud graafiliselt.
35. Puksiirauto veab mäkke järelvankrit. Auto tõmbab järelvankrit jõuga 7500 N. Hõõrdejõud on 800 N. Mäe kaldenurk on 10°. Kujutage veo- ja hõõrdejõud graafiliselt. Arvutage jõudude resultant.
36. Arvutage rõhk, mida avaldab lauale 10 kg massiga kaaluviht. Vihi toetuspindala on 50 cm^2.
37. Kui suurt rõhku avaldab rööbastele neljateljeline vagun massiga 60 t. Vaguni iga ratta toetuspindala rööpal on 10 cm^2.
38. 45 kg massiga poiss seisab suuskadel. Mõlema suusa pikkus on 1,5 m, laius 10 cm. Kui suur on poisi poolt lumele avaldatav rõhk?
39. 80 kg massiga sportlane sõidab uiskudega. Kui suurt rõhku avaldab sportlane jääle, kui mõlema uisu pikkus on 40 cm ning laius 3 mm?
40. Inimene surub labidale jõuga 600 N. Kui suurt rõhku avaldab labidas seejuures pinnasele, kui labidatera laius on 20 cm, paksus aga 0,5 mm?
41. Ülesandes 22 toodud andmete alusel arvutage klaasi rõhk aknaraami alumisele küljele.

42. Kui suurt rõhku avaldab alusele 4 m kõrgune marmorsammas?
43. Milline tähtsus on kruustangide ja näpitsate mokkadele tehtud hammastikul?
44. Mida tugevamini on veorihm seibidele paigutatud, seda suurem on hõõrdumine rihma ja seibi vahel. Miks?
45. Miks lihvimisel pindadevaheline hõõrdumine algul väheneb, pärast võib aga uuesti suureneda?
46. Kasti veetakse ühtlaselt mööda põrandat. Kas selleks läheb vaja kasti kaalust suuremat või väiksemat jõudu?
47. Miks puksivad koormaga auto rattad libedal teel vähem kui koormata auto rattad?
48. Miks ei tohi auto või mootorratta piduriklotsidele lasta õli?
49. 8 t massiga auto paigalt võtmiseks on tarvis veojõudu 14 000 N, ühtlaseks liikumiseks aga 1600 N. Miks on esimesel juhul vaja suuremat jõudu?
50. Miks ei saa rasvaste takkudega kuivatada märgi käsi?
51. Miks tuleb enne jootmist joodetav koht hoolikalt rasvast ja mustusest puhastada?
52. Missuguste tunnuste järgi saab antud keha märgavaid vedelikke eraldada mittemärgavaist?

Vedelike ja gaaside rõhk.

53. Hüdraulilise pressi väikesele kolvile mõjub rõhk 300 $\frac{N}{cm^2}$. Kui suurt raskust võib tõsta suur kolb, mille pindala on 800 cm^2?
54. Kaks erinevate ristlõigetega silindrilist anumat on täidetud veega (joon. 84). Kitsama anuma ristlõike pindala on 20 korda väiksem kui laiema anuma ristlõike pindala. Kitsamat anumat sulgevale kolvile asetati viht massiga 1 kg. Kui suure massiga keha tuleb asetada teisele kolvile, et nad jääksid tasakaalu?
55. Hüdraulilise pressi väikese kolvi pindala on 10 cm^2, suure kolvi pindala aga 100 cm^2. Väikesele kolvile mõjub jõud 400 N. Arvutage suurele kolvile mõjuv jõud.
56. Kui suurt rõhku avaldab klaasi põhjale 10 cm veekiht? Kui suur oleks rõhk põhjale siis, kui klaasis oleks vee asemel sama kõrguseni elavhõbedat?
57. Mensuuri kõrgus on 20 cm. Sellesse kallatakse järgemööda vett, petrooleumi ja masinaõli. Arvutage iga vedeliku rõhk mensuuri põhjale.
58. Kõrgesse silindrilisse anumasse kallati 10 cm kõrguseni elavhõbedat, selle peale 10 cm vett ja selle peale omakorda 10 cm petrooleumi. Arvutage koguröhk anuma põhjale.
59. 50 cm pikkusesse, 30 cm laiusesse ja 25 cm kõrgusesse akvaariumi kallati vett nii, et selle nivoo jäi anuma äärest 5 cm madalamale. Arvutada vee rõhumisjõud akvaariumi seintele ja põhjale.
60. Petrooleumiga täidetud tsisterni seinas on 2 m allpool vedeliku nivood kraan. Kraani ava pindala on 30 cm^2. Arvutage petrooleumi rõhumisjõud kraanile.
61. Veega täidetud anumasse on paigutatud risttahukakujuline klots pikkusega 5 cm, laiusega 4 cm ja kõrgusega 10 cm. Klotsi ülemine tahk on 6 cm kaugusel vee vabast pinnast. Kui suure jõuga rõhub vesi klotsile ülalt ja alt? Kui palju on rõhumisjõud põhitahule suurem kui ülemisele tahule?
62. Risttahukakujulisse paaki on kallatud 20 cm kõrguseni vett. Paagi põhja pindala on 100 cm^2. Veepinnale on paigutatud paaki sulgev kolb, sellele aga viht massiga 2 kg. Arvutage rõhk anuma põhjale.

63. Kaks ühesuguse ruumalaga keha on asetatud vedelikku erinevasse sügavusse. Kas nendele mõjuvad üleslükkejõud on ühesugused? (Vedeliku tihedus lugeda kõikjal ühtlaseks.)
64. Arvutage 10 cm^3 ruumalaga kehale mõjuv üleslükkejõud vees, petrooleumis, elavhõbedas.
65. Kui suurt jõudu on vaja 600 kg massiga kivi tõstmiseks vee all? Kivi ruumala on 0,23 m^3.
66. Dünamomeetri otsa on riputatud 14,3 cm^3 ruumalaga malmviht. Kui palju näitab dünamomeeter, kui viht lasta vette? petrooleumi?
67. Vesinikuga täidetud laste õhupalli ruumala on 4 dm^3. Palli kesta maht on 3 g. Kui suurt koormat suudab see pall õhku tõsta?
68. Nööriga tõstetakse ühtlaselt veest välja risttahukakujulist malmivalatist. Malmitüki pikkus on 4 dm, laius 2 dm ja kõrgus 1 dm. Kui suur on nööri pinge? Kuidas see muutub, kui keha läheb veest õhku?
69. Loendage tiheduste tabeli abi kasutades aineid, mis ujuvad ja mis upuvad vees. Põhjendage oma loetelu.
70. Sügaval sissehingamisel mahub inimese kopsu umbes 4 dm^3 õhku. Arvutage selle õhu mass.
71. Arvutage oma toas oleva õhu mass. Kui suur on selle õhu kaal?
72. Kas võib Torricelli katset teha klaastoruga, mille pikkus on väiksem kui 1 m? suurem kui 1 m?
73. Kui tõsta veega täidetud torus olevat kolbi, siis tõuseb ka vesi kolvi taga (joon. 128). Miks sunnib veele ülalt alla mõjuv õhurõhk vett tõusma ülespoole? Kas vesi kolvi taga tõuseb ka siis, kui kolb laseb õhku läbi? Kui kõrgele võib vesi üldse kolvi taga üles tõusta (kui toru on küllalt pikk)? Kui kõrgele tõuseks kolvi taga elavhõbe? petrooleum?
74. Arvutage õhu poolt lauale avaldatav rõhumine, kui laua pindala on $1,5 \times 0,8$ m^2.
75. Õpilased mõõtsid õhurõhku koolimaja keldris ja pööningul. Tulemused olid vastavalt 752 mm Hg ja 753,5 mm Hg. Kui kõrge on (ligikaudu) koolimaja?
76. Moskva televisioonimasti kõrgus on 520 m. Kui palju näitaks baromeeter selle masti tipus, kui masti jalamil on õhurõhk 760 mm Hg?

Töö ja võimsus. Energia mõiste.

77. 280 kg massiga heinakuhi tõstetakse tõstukiga 6,5 m kõrgusele. Arvutage tehtud töö.
78. Kraana tõstab 2 t massiga koorma 5 m kõrgusele. Kui palju tehakse seejuures tööd?
79. Hobune veab vankrit jõuga 300 N. Kui palju teeb hobune tööd vankri ühtlasel vedamisel 2 km kaugusele?
80. Ülesande nr. 53 andmete alusel arvutage töö, mis tehakse hüdraulilise pressi ühe käiguga. Pressi suur kolb tõuseb seejuures 10 cm võrra.
81. 15 kg massiga keha tõstmisel tehti 60 J tööd. Kui kõrgele keha tõsteti?
82. Kui suur on masina võimsus, kui ta 1 tunniga teeb 1 000 000 J tööd?
83. Treipingi tera ületab 9 $\frac{m}{s}$ liikumiskiiruse juures takistust 440 N. Arvutada treipingi poolt 1 tunniga tehtud töö.
84. Lifti ja selle koorma kogumass on 500 kg. 40 sekundiga tõuseb see lift 30 m kõrgusele. Arvutada liftimootori kasulik võimsus.
85. Elektriveduri veojõud on 150 000 N. Ühe tunniga sõidab see vedur 90 km. Arvutada veduri võimsus.
86. Tööline kaalub kangi abil kivi. Kivipoolne kangi õlg on 20 cm, töölisepoolne õlg aga 160 cm. Käsi mõjub kangile jõuga 200 N. Arvutada kivile mõjuv jõud.
87. Kang on tasakaalus, kui tema otstele mõjuvad jõud 4 N ja 24 N. Väiksema jõu õlg on 6 cm. Arvutada kangi pikkus.

88. Kui rasket koormat võib tõsta 200 g massiga liikuva ploki abil, kui rakendada nööri vabale otsale jõud 210 N? Hõõrdumist mitte arvestada.
89. Kuhjatõstja võib liikuva ploki abil tõsta heinakoorma massiga 200 kg. Kui suur jõud mõjub tõstetrossi otsale? Mitu meetrit trossi tuleb kerida võllile, et tõsta koormat 7,5 m kõrgusele. Hõõrdumist mitte arvestada.
90. Kui suure jõuga tuleb mõjuda pööra rattale raadiusega 45 cm, et tõsta marmoritükki ruumalaga 30 dm^3? Pööra võlli raadius on 5 cm. Hõõrdumist mitte arvestada.
91. Mööda kaldpinda veeretatakse ühtlaselt vankrile 120 kg massiga vaati. Kaldpinna pikkus on 2,5 m, vankri kõrgus 1 m. Hõõrdejõud vaadi ja laua vahel on 70 N. Kui suurt jõudu on tarvis rakendada vaadi veeretamiseks kaldpinda mööda üles?
92. 6 m pikkust ja 2 m kõrgust kaldpinda mööda lohistati üles 180 kg massiga koorem. Koormale tuli selleks rakendada 1000 N suurune kaldpinnaga paralleelne jõud. Arvutada hõõrdejõud ja kaldpinna kasutegur.
93. Missugust mehhaanilist energiat on järgmistel kehadel: kella üleskeeratud vedru; mäest allasõitev kelk; tammilt allavoolav vesi; liikuv lift; voolikust väljavoolav veejuga.
94. Maapinnalt ühele ja samale kõrgusele on tõstetud ühesuguste mõõtmetega puit- ja raudklots. Kummal klotsil on suurem mehhaaniline energia?
95. Kas võib kahel erineva massiga kehal olla ühesugune kineetiline energia? Millistel tingimustel?
96. 5 t massiga haamer tõstetakse 2 m kõrgusele. Kui palju tuleb selleks teha tööd? Missugust energiat omab ülestõstetud haamer ning kui suur see energia on? Missugust energiat on vasaral löögi momendil (vastu detaili) ning kui palju seda energiat sel momendil on?
97. Missuguse energia arvel töötavad vedruga seinakellad?
98. Missuguse energia abil jahvatatakse tuuleveskites teri? vesiveskites?

VASTUSED KORDAMISÜLESANNETELE.

2. 1700 korda. **7.** $1\frac{m}{s}$; $150\frac{m}{s}$; $450\frac{m}{s}$. **8.** $\approx 166\frac{km}{h}$. **9.** $\approx 11\,000\frac{km}{h}$. **10.** $7\frac{m}{s}$. **11.** 14 km. **12.** 1800 km; 108 000 km. **13.** teise vankri mass on esimesest kaks korda suurem. **14.** 0,2 kg. **15.** $700\frac{kg}{m^3}$. **16.** $0{,}92\frac{g}{cm^3}$. **18.** $2300\frac{kg}{m^3}$ ehk $2{,}3\frac{g}{cm^3}$. **19.** 200 $\frac{kg}{m^3}$; 50 $\frac{kg}{m^3}$. **20.** 5,4 t; 90 g; 6,5 t; 2,1 t; 9,6 kg. **21.** 28 kg; 25 kg. **22.** 18 kg. **23.** 1,3 m^3. **24.** 5. **26.** 1,6 N; $\approx$ 13 N; $\approx$ 18 N. **27.** $\approx$ 54 000 N; $\approx$ 0,9 N; $\approx$ 65 000 N; $\approx$ 21 000 N; $\approx$ 96 N. **28.** 650 N; 390 kg nii Maal kui Kuul. **29.** $\approx$ 280 N. **30.** $7\frac{g}{cm^3}$. **31.** $\approx 7{,}3\frac{g}{cm^3}$. **32.** 120. **33.** 300 N. **34.** 1100 N. **35.** 6700 N. **36.** $2\frac{N}{cm^2}$. **37.** $7500\frac{N}{cm^2}$. **38.** $\approx 0{,}15\frac{N}{cm^2}$. **39.** $\approx 670\,000\frac{N}{m^2}$. **40.** $600\frac{N}{cm^2}$. **41.** $2\frac{N}{cm^2}$. **42.** $110\,000\frac{N}{m^2}$. **53.** 240 000 N. **54.** 20 kg. **55.** 4000 N. **56.** 1000 $\frac{N}{m^2}$; 13 600 $\frac{N}{m^2}$. **57.** $2000\frac{N}{m^2}$; 1600 $\frac{N}{m^2}$; 1800 $\frac{N}{m^2}$. **58.** 15 400 $\frac{N}{m^2}$. **59.** 300 N; 100 N; 60 N. **60.** $\approx$ 50 N. **61.** $\approx$ 1,2 N; $\approx$ 3,2 N; $\approx$ 2 N. **62.** 0,4 $\frac{N}{cm^2}$. **64.** 0,1 N; 0,08 N; 1,36 N. **65.** $\approx$ 3 700 N. **66.** 0,98 N; 0,841 N; 0,869 N. **67.** 1,8 g. **68.** 470 N; suureneb 80 N. **70.** $\approx$5,2 g. **74.** $\approx$124 000 N. **75.** 18 m. **76.** $\approx$717 mm Hg. **77.** $\approx$ 18 000 J. **78.** $\approx$ 100 000 J. **79.** 600 000 J. **80.** 24 000 J. **81.** $\approx$ 40 cm. **82.** $\approx$ $\approx$ 280 W. **83.** 14 000 kJ. **84.** $\approx$ 3 800 W. **85.** 3 750 kW. **86.** 1600 N. **87.** 7 cm. **88.** $\approx$ 41,8 kg. **89.** 980 N; 15 m. **90.** $\approx$ 90 N. **91.** 550 N. **92.** $\approx$ 400 N; $\approx$ 60%. **96.** $\approx$ 100 000 J.

AINEREGISTER.

Aatom 16
aine 4, 26
— olek 21—23, 24
altimeeter 221
aneroidbaromeeter 119—120
Archimedes 132, 133—134, 157
areomeeter 139—140
Aristoteles 5, 127, 128, 129
atmosfäär 113

Baromeeter 117, 119—120, 128
batüsfäär 107
batüskaaf 107
Browni liikumine 17

Deformatsioon 53, 60
difusioon 19, 20
dirižaabel 141
džaul 145
dünamomeeter 61—62

Elastsusjõud 53, 60
elavhõbebaromeeter 117
energia 169—173
— kasutamine 175—176
— muundumine 174

Füüsikaline keha 4
— nähtus 4—5
— suurus 8, 51

Gaas 22, 23
— rõhk 73—74, 88—89, 99
Galilei, G. 9, 48, 127—128
gravitatsioon 51—52, 58

Hobujõud 150
hõõrdejõud 76, 77—78
hõõrdumine 70—77, 79, 80
hüdrauliline masin 91—92, 124
— pidur 94
— press 92—93
— tungraud 93
hüdroelektrijaam 176
hüdrostaatiline paradoks 102—104

Inerts 47—48

Jablotškov, P. 10
jõud 50, 62—63, 70
jõu õlg 156
jõuühik 56—57

Kaal 53, 57, 69
kaalud 65—66, 161
kaaluta olek 55
kaldpind 153, 167—168
kang 153, 154—159
kapillaarsus 85

kasutegur 166
keskmine kiirus 34—35
kiirus 30, 33, 36, 47, 50
kiiruse ühik 30
kilogramm 39
kilovatt-tund 150
kineetiline energia 172—173
kolbpump 125—126
Koroljov, S. 11
Kurtšatov, I. 9, 11
kõverjooneline liikumine 28

Laager 80—81
laeva veeväljasurve 139
liikumine 27
lihtmehhanism 154
Lodõgin, A. 10
Lomonossov, M. 5, 9—10, 26
lüüsid 111—112

Manomeeter 122
mass 37—38, 39, 45, 67
massiühik 39
mateeria 4
mehhaanika «kuldreegel» 165
mehhaaniline liikumine 27
— töö 143, 144—145
mensuur 7
metallmanomeeter 123—124
mitteühtlane liikumine 29, 34
Mohr'i pipett 115
molekul 14, 27, 81—82
molekuli kiirus 20
molekuli mass 40
märgamine 83—84

Newton, I. 9, 52, 57
nivoo 96
njuuton 57
normaalrõhk 221

Pascal, B. 88, 104, 128—129
Pascali seadus 89, 90
pidurdusteekonna pikkus 48—49
pipett 115
plokk 153, 161—162
pneumaatiline masin 94—95, 97
Popov, A. 10
potentsiaalne energia 171—172
päikesesüsteem 52—53
pöör 162—163
püstlood 54

Raskusjõud 52, 53
resultantjõud 63—65
rõhk 71, 88, 97—99
rõhuühik 71
rõhumisjõud 70, 88

Sirgjooneline liikumine 28
süvisejoon 139

Žukovski, N. 10

Tahke keha 22, 23—24
temperatuur 19—20
tihedus 41, 45
Torricelli, E. 116, 117, 128
trajektoor 27—28
Tsiolkovski, K. 10
tuukriülikond 106
tuulemootor 177
tõstejõud 41, 141
töö 143, 144—145, 170
tööühik 145

Ujumine 135, 137, 138—139

Vatt 149
vedelik 22, 25, 96
vedelikmanomeeter 122—123
vedeliku rõhk 97—99, 100—101, 106
veeväljasurve 139
veeturbiin 177
veevärk 112—113
vektor 33—34, 63
vertikaalsiht 54
vesiratas 176
võimsus 149
võimsusühik 149

Õhupall 130, 140—141
õhurõhk 114, 116—117, 120—121, 127—129

Ühendatud anumad 107—108, 109
ühtlane liikumine 29, 32, 34, 47
üleslükkejõud 130, 131—132

SISUKORD.

Sissejuhatus ... 3
1. Loodus ja inimene ... 3
2. Mõned füüsikalised algmõisted ... 4
3. Millega tegeleb füüsika? ... 5
4. Vaatlus ja katse ... 6
5. Füüsikalised suurused. Füüsikaliste suuruste mõõtmine 8
6. Füüsika ja tehnika ... 9

Algteadmisi aine ehitusest ... 12
7. Milleks on vaja tunda aine siseehitust ... 12
8. Kehade siseehitus ... 13
9. Molekulid ... 14
10. Molekulide liikumine ... 17
11. Difusioon gaasides, vedelikes ja tahketes kehades ... 18
12. Molekulide liikumine ja keha temperatuur ... 19
13. Molekulide vastastikune külgetõmme ... 20
14. Aine kolm olekut ... 21
15. Erinevused tahkete kehade, vedelike ja gaaside molekulaarses ehituses ... 24
16. M. V. Lomonossov aine ehitusest ... 26

Liikumine ja jõud ... 27
17. Mehhaaniline liikumine ... 27
18. Ühtlane liikumine ... 29
19. Kiirus. Kiiruse ühikud ... 30
20. Ühtlase liikumise teepikkuse ja aja arvutamine ... 32
21. Kiiruse suund ... 33
22. Mitteühtlane liikumine. Keskmine kiirus ... 34
23. Kehade vastastikune mõju ... 36
24. Keha mass ... 37
25. Massiühikud. Massi mõõtmine ... 39
26. Molekulide mass ... 40
27. Aine tihedus ... 40
28. Keha massi ja ruumala arvutamine tiheduse kaudu .. 43
29. Aine tiheduse väljendamine molekulide massi ja ruumalaühikus oleva molekulide arvu kaudu ... 45
30. Inerts ... 47
31. Inerts igapäevases elus ja tehnikas ... 48
32. Jõud ... 49
33. Gravitatsioon. Raskusjõud ... 51
34. Elastsusjõud. Keha kaal ... 52
35. Vertikaalsiht. Püstlood ... 54
36. Kaalutuse mõiste ... 54
37. Jõuühikud ... 56
38. Raskusjõud teistel planeetidel ... 58
39. Elastsusjõu olenevus deformatsiooni suurusest ... 60
40. Dünamomeeter ... 61
41. Jõud kui vektor ... 62
42. Jõudude liitmine. Resultantjõud ... 63

43. Kahe ühte sirget mööda mõjuva jõu liitmine 64
44. Kaalud. Kaalumine 65
45. Keha massi määramine kaalumisega 67
46. Kaaluvihid 68
47. Kaalumise reeglid 68
48. Rõhumisjõud. Rõhk 69
49. Rõhk looduses ja tehnikas 71
50. Gaasi rõhk 73
51. Millest oleneb gaasi rõhk 74
52. Hõõrdumine 76
53. Hõõrdejõud 77
54. Paigaloleku hõõrdumine 79
55. Hõõrdumine looduses ja tehnikas 80
56. Molekulidevahelised mõjujõud 81
57. Märgamine 83
58. Kapillaarsus 84

Rõhk vedelikes ja gaasides. (Hüdro- ja aerostaatika.) 87

59. Liikumine ja vedelike ning gaaside tasakaal 87
60. Rõhk vedelikes ja gaasides. Pascali seadus 88
61. Rõhu edasiandmine vedelikes ja gaasides 89
62. Hüdrauliline masin 91
63. Hüdrauliline press 92
64. Hüdrauliline pidur 94
65. Pneumaatilised masinad ja instrumendid 94
66. Vedeliku vaba pind 96
67. Raskusjõu mõjul vedelikus või gaasis esinev rõhk ... 97
68. Vedeliku poolt anuma põhjale ja seintele avaldatava rõhu arvutamine 99
69. Vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust (hüdrostaatiline paradoks) 102
70. Pascali katse 104
71. Rõhk merede ja ookeanide põhjas. Meresügavuste uurimine 106
72. Ühendatud anumad 107
73. Erinevate vedelike tasakaal ühendatud anumates 109
74. Lüüsid 111
75. Veevärgi ehitus 112
76. Õhurõhk 113
77. Maad ümbritseva õhukihi olemasolu 114
78. Õhurõhu mõõtmine. Torricelli katse 116
79. Aneroidbaromeeter 119
80. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel 120
81. Manomeetrid 122
82. Vererõhu mõõtmine 124
83. Vedeliku kolbpump 125
84. Õhurõhu avastamise ajalugu 127
85. Vedeliku ja gaasi mõju temasse asetatud kehadele ... 129
86. Üleslükkejõud 131
87. Legend Archimedesest 133
88. Kehade ujumine 135
89. Kehade ujumise seos keha ja vedeliku tihedusega ... 137
90. Laevade ujumine 138
91. Areomeetrid 139
92. Sõitmine õhus 140

Töö ja võimsus. Energia 143

93. Mehhaaniline töö 143
94. Töö. Tööühikud 144

95. Näiteid mehhaanilise töö arvutamisest 145
96. Töö graafiline kujutamine 148
97. Võimsus. Võimsusühikud 149
98. Näiteid töö ja võimsuse arvutamisest 151
99. Lihtmehhanismid 153
100. Kang. Jõu õlg 154
101. Jõudude tasakaal kangil 156
102. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus ... 158
103. Kangkaal 161
104. Kangi tasakaalu tingimuse kasutamine ploki ja pööra juures. 161
105. Tööde võrdsus lihtmehhanismide kasutamisel. Mehhaanika «kuldreegel» ..... 16[illegible]
106. Mehhanismi kasutegur 166
107. Kaldpind 167
108. Energia 169
109. Potentsiaalne energia 171
110. Kineetiline energia 172
111. Mehhaanilise energia ühe liigi muundumine teiseks .. 174
112. Voolava vee energia kasutamine 175
113. Hüdraulilised jõumasinad 176
114. Tuulemootorid 177

Laboratoorsed tööd 179

Vastused 184

Kordamisülesanded 186

Vastused kordamisülesannetele 191

Aineregister 192

Александр Васильевич Пёрышкин, Надежда Александровна Родина. ФИЗИКА ДЛЯ 7-ГО КЛАССА. На эстонском языке. Перевела с русского А. Сийрак. Художественное оформление Ю. Пальма. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja M. Tammes. Korrektorid A. Kalberg ja H. Kull. Laduda antud 13. X 1969. Trükkida antud 11. XII 1969. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 12,25. Arvestuspoognaid 12,05. Trükiarv 20 000. Tellimuse nr. 2959. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn, Pikk tn. 54/58.

Hind 23 kop.

30.–

23 kop.

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00259855 7