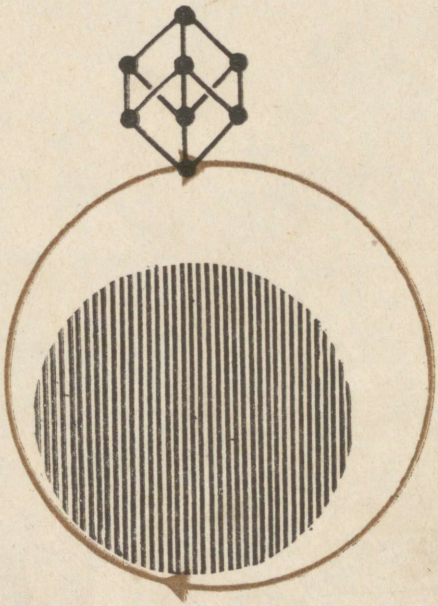
A. PJORÕŠKIN
N. RODINA

FÜÜSIKA

7. KLASSILE





81522

A-33051

A. PJORÕŠKIN N. RODINA

FÜÜSIKA

VII KLASSILE

4. trükk

«VALGUS» · TALLINN 1973

53
P 57

Originaali tiitel:

А. В. Перышкин, Н. А. Родина. Физика. Учебник для шестого класса. Под редакцией академика И. К. Кикоина. Утвержден Министерством просвещения СССР. Издание четвертое, переработанное. Издательство «Просвещение», Москва, 1973.

Vene keelest tõlkinud A. Siirak.

Kaane kujundanud J. Palm.

ARHIIVKOGU

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

81522

6—6—1

SISSEJUHATUS.

1. Loodus ja inimene.

Õhk, vesi, maa, taevakehad, taimed, loomad, s. o. kõik see, mis meid ümbritseb, on loodus.

Loodus on eksisteerinud alati. 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 toimuvad üksteisega tihedalt seotuna — *seaduspäraselt.* Nii näiteks toimub kehade langemine Maa külgetõmbejõu mõjul; öö ja päeva vaheldumine on seotud Maa pöörlemisega ümber oma telje (joon. 1); tuule tekkimise üheks põhjuseks on õhu ebaühtlane soojenemine jne.

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.

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

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



Joon. 1.

Küsimused.

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



Mihhail Vassiljevitš Lomonossov
(1711—1765)

2. Millega tegeleb füüsika?

Sõna f ü ü s i k a tuleneb kreekakeelsest sõnast *physis*, mis tähendab loodust. Füüsika on teadus loodusest.

Kõiki looduses toimuvaid muutusi nimetatakse nähtusteks.

Jää sulamine, vee keemine, kivide langemine; juhtme soojenemine, lambi hõõgniidi helendamine, välk — kõik need on mitmesugused nähtused.

Füüsika uurib mehhaanilisi, soojuslikke, optilisi ja elektrilisi nähtusi. Kõiki neid nähtusi nimetatakse f ü ü s i k a l i s t e k s nähtusteks. Füüsika uurib ka meid ümbritsevate kehade omadusi.

On ka teisi teadusi, mis uurivad loodust, näiteks astronoomia, botaanika, zooloogia, keemia. Kõik need teadused k a s u t a v a d f ü ü s i k a s e a d u s i. Ning see on ka mõistetav, mispärast. 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. Seepärast kasutataksegi füüsika seadusi zooloogias, füsioloogias ja botaanikas. Geograafias kasutatakse neid kliima, jõgede voolamise, tuulte tekkimise ja teiste nähtuste selgitamiseks.

Füüsika on üks vanemaid teadusi. Esimesteks füüsikuteks olid kreeka õpetlased, kes elasid mitusada aastat enne meie ajaarvamist. Esimestena püüdsid need teadlased selgitada vaadeldavaid loodusnähtusi.

Suurimaks vanaaja 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.

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

Palju tähtsaid avastusi, mis aitasid kaasa füüsika arengule, tegid sellised teadlased 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, I. V. Kurtšatov jt.

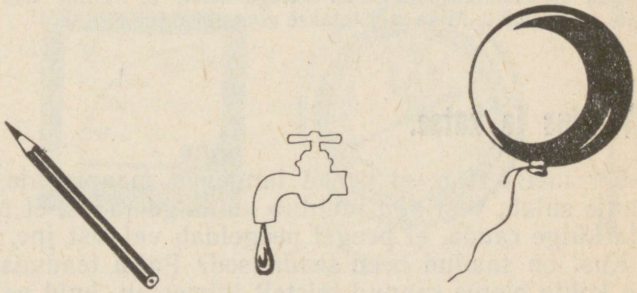
Väljapaistvate vene teadlaste seas on eriline koht Mihhail Vassiljevitš Lomonossovil — esimesel vene akadeemikul. Oma määratu tööarmastusega saavutas M. Lomonossov edu mitmetel teadusaladel. A. S. Puškin kirjutas M. V. Lomonossovist: «Ta asutas esimese vene ülikooli. Parem on öelda, et ta ise oli meie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

Küsimused.

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

3. Mõned füüsikalised algmõisted.

Kõrvuti harilike sõnadega kasutatakse teaduses palju sõnu, mis tähendavad füüsikalisi mõisteid. Mõned nendest sõnadest on järkjärgult läinud igapäevasesse kõnekeelde, näiteks sellised sõnad nagu «elekter», «energia», «kosmos». Praegu on need sõnad tuttavad kõigile, kunagi kasutati neid aga ainult teaduses.

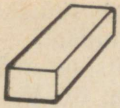


Joon. 2.

Füüsikalisteks kehadeks (joon. 2) nimetatakse igat meid ümbritsevat eset, näiteks maja, traktorit, liivatera, Päikest, inimkeha, veetilka, õhku, mis asub toas jne. Tavalises kõnekeeles nimetatakse kehaks harilikult ainult inimese või looma keha.

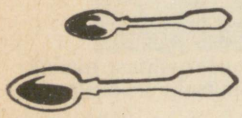
Sõnaga mateeria märgitakse kõike seda, mis eksisteerib looduses. Mateerial on kaks eksisteerimisvormi. Üheks selliseks vormiks on aine. Kõik füüsikalised kehad koosnevad ainest.

Raud, õhk, vesi, sool, hapnik jne. on ained. Vesi on aine, veetilk aga füüsikaline keha. Alumiinium on aine, alumiiniumlusikas — füüsikaline keha.

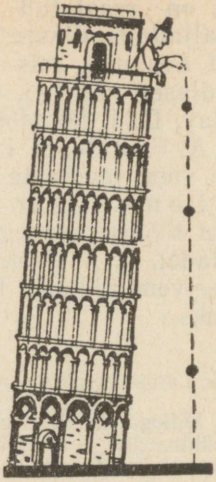




Joon. 3.



Joon. 4.



Joon. 5.

Igal füüsikalisel kehal on oma kuju ja ruumala.

Joonisel 3 on toodud erineva kujuga, kuid ühesuguse ruumalaga kehad, joonisel 4 aga erineva ruumalaga, kuid ühesuguse kujuga kehad. Mateeria teise, ainest erineva eksisteerimisvormi näideteks on raadiolained ja valgus.

Küsimused.

1. Mida väljendatakse füüsikas sõnaga *keha*? 2. Milline sisu antakse füüsikas sõnale *mateeria*? 3. Mida mõistetakse *aine* all?

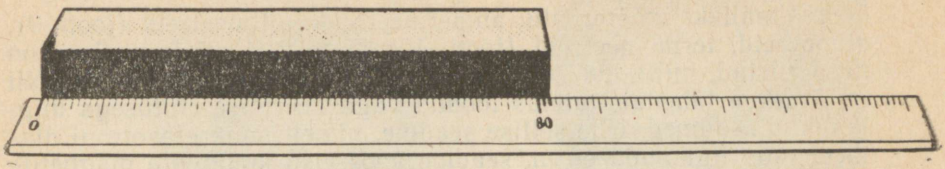
4. Vaatlus ja katse.

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

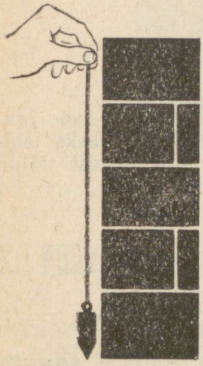
Kust on saadud need teadmised? Palju teadmisi ühe või teise asja kohta oleme saanud teistelt inimestelt, kuid paljud teadmised on pärit meie isiklikest vaatlustest. Igaüks meist on näinud, et keha, mis kusagile ei toetu, langeb maapinnale. Tänu vaatlustele oleme saanud ka paljud teised teadmised.

Ka teadlased ammutavad teadmisi vaatluste abil, kuid peale selle korraldavad nad veel spetsiaalseid katseid. Teaduslikel katsetel on alati läbimõeldud kindel eesmärk.

Nii näiteks laskis kuulus itaalia teadlane Galilei langemise uurimiseks erinevatel kuulikestel langeda viltusest Pisa tornist (joon. 5). Selliste katsete tulemusena avastas ta kehade langemise seadused.

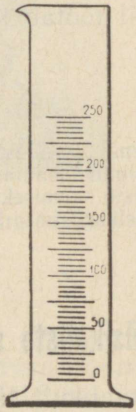


Joon. 6.

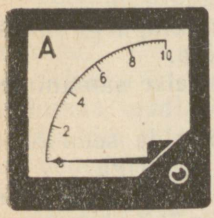


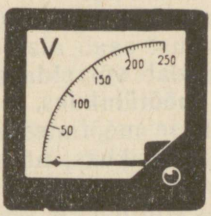
a

Joon. 7.

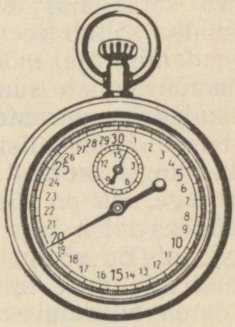


Joon. 8.





Joon. 9.



Joon. 10.



Katse on füüsikaliste teadmiste allikas.

Kindlate teadmiste saamiseks on ainult katsetest vähe, tuleb osata katse tulemusi ka 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 lihtsateks mõõtmisteks. Selliseks riistaks on näiteks mõõtejoonlaud (joon. 6), niidi otsa seotud koormus, mis võib olla püstloodiks (joon. 7), mensuur (joon. 8) vedeliku ruumala mõõtmiseks, kaalud ja teised riistad.

Koos füüsika arenguga muutusid riistad keerulisemaks ning täiuslikumaks. Füüsikakabinettidesse ja laboratooriumidesse ilmus

kõikvõimalikke mõõteriistu: ampermeetreid, voltmeetreid (joon. 9), stoppereid, termomeetreid (joon. 10) 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 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.

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.

Füüsikalistest nähtustest võimalikult täpsemate teadmiste saamiseks tuleb katse ajal teha mõõtmisi. Näiteks selleks, et teada saada, kuidas sõltub vee ruumala tema temperatuurist, on tarvis vee soojendamise ajal mõõta mõlemat suurust. Ruumala ja temperatuur on füüsikaliste suuruste näiteks.

Füüsikalisteks suurusteks on samuti pikkus, pindala, aeg, kiirus, jõud ja teised. Füüsikalist suurust saab 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 s), ruumala mõõtmiseks ruumalaühikut (1 m^3).

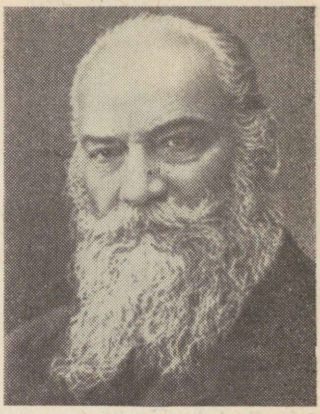
Mõõtmiste hõlbustamiseks püüavad maailma kõik maad kasutada füüsikaliste suuruste ühesuguseid mõõtühikuid.

Küsimused.

1. Mis tähendab mõõta mingisugust suurust? 2. Milliseid pikkusühikuid, pindalaühikuid ja ruumalaühikuid te tunnete?



Aleksandr Stepanovitš Popov
(1859—1906)



Nikolai Jegorovitš Žukovski
(1847—1921)

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.

Tehnika areng omakorda mõjutab teaduse arengut. Nii näiteks võimaldasid kosmoselennud uurida maalähedases ruumis toimuvaid nähtusi.

Tehnika ja teaduse arengus on tähtsat osa etendanud meie kodumaa teadlased.

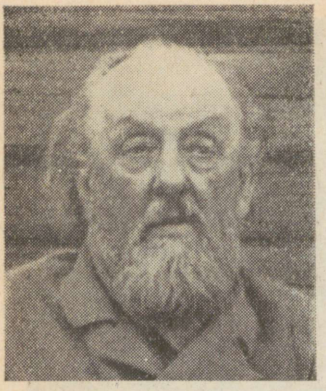
Raadio on tänapäeva kõige vajalikum sidevahend. Raadio leiutas vene teadlane Aleksandr Stepanovitš Popov. 7. mail 1895. a. teatas ta sellise riista leiutamisest, mis võimaldab ilma juhtmeteta võtta kauge maa tagant vastu elektrilisi signaale.

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

Vene insenerid Pavel Nikolajevitš Jablotškov ja Aleksandr Nikolajevitš Lodõgin leiutasid elektrivalgustuse.

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 aatomi-



Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski (1857—1935)



Igor Vassiljevitš Kurtšatov (1903—1960)



Juri Aleksejevitš Gagarin (1934—1968)



Sergei Pavlovitš Koroljov (1906—1966)

elektrijaama loomine, Maa esimese tehiskaaslase orbiidile viimine ja esimese kosmoseraketi üleslennutamine, mis sai päikesesüsteemi uueks planeediks. Esimeseks raketiks, mis jõudis Kuule, oli nõukogude rakett. Maailma esimene kosmonaut oli nõukogude inimene — Juri Aleksejevitš Gagarin.

Suuri teeneid esimeste kosmoselendudega seotud teaduslike ja tehniliste küsimuste lahendamisel on nõukogude teadlasel Sergei Pavlovitš Koroljovil.

Tuumaenergeetika areng meie maal on seotud väljapaistva teadlase Igor Vassiljevitš Kurtšatovi nimega.

ALGTEADMISI AINE EHITUSEST.

7. Milleks on vaja tunda aine ehitust.

Füüsika mitte üksnes ei vaatle ega kirjelda nähtusi ning kehade omadusi, vaid, teades nähtuse kulgu, püüab neid ka selgitada. Näiteks kuidas selgitada seda, et siledale põrandale 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 terastükki kergem painutada või laiaks taguda kui külma?

Nii nendele kui ka paljudele teistele küsimustele võib vastata, kuid selleks on vaja tunda kehade siseehitust.

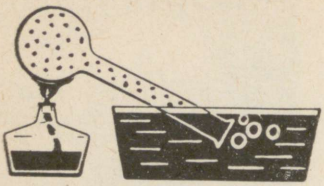
Aine siseehituse tundmine lubab selgitada mitte ainult paljusid füüsikalisi nähtusi, vaid võimaldab ka ette öelda, kuidas nähtused toimuvad, mida on tarvis teha, et neid kiirendada või aeglustada, see tähendab — võimaldab nähtusi juhtida. Aine siseehituse tundmine võimaldab selgitada kehade omadusi ning luua inimestele vajalike omadustega aineid — tugevaid ja vastupidavaid ning kuumakindlaid materjale. Teaduse abiga on näiteks loodud sellised materjalid nagu plastmassid, kunstlik kautšuk, kapron, nailon. Kõiki neid materjale kasutatakse ulatuslikult tehnikas, meditsiinis ja igapäevases elus.

Küsimused.

1. Milleks on vaja tunda kehade siseehitust? 2. Milliseid tehismaterjale te tunnete?

8. Aine ehitus.

Kui palli käega 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.

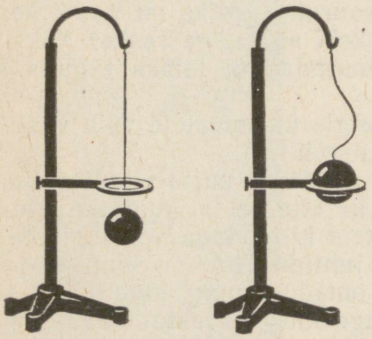


Joon. 11.

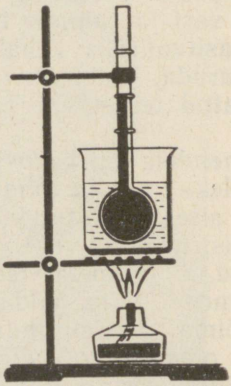
Keha ruumala muutub ka keha kuumutamisel ja jahutamisel. Joonisel 11 on kujutatud klaaskolb, mis on kaelapidi vette torgatud. Kui kuumutada kolvis olevat õhku, siis viimase ruumala suureneb ning õhumullid tungivad kolvist välja. Kolvi jahtumisel tungib sinna vett, sest kolbi jäänud õhu ruumala jahtumisel väheneb.

Teraskuul, mis mahub vabalt läbi rõnga, soojendamisel paisub ning jääb seetõttu rõngale toetuma (joon. 12). Kuuli jahtumisel tema ruumala väheneb ning kuul mahub jällegi rõngast läbi.

Vedeliku paisumist soojendamisel võib vaadelda katse abil (joon. 13).



Joon. 12.



Joon. 13.

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.** Kui osakesed eemalduvad üksteisest, siis keha ruumala suureneb. Osakeste lähenemisel üksteisele keha ruumala väheneb.

Miks näivad sellised ained nagu õhk, vesi, teras ja teised meile lausalisena? Asi on selles, et osakesed, millest aine koosneb, on nii väikesed, et me neid ei näe.

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. Järelikult 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 kinnitavad, et aine koosneb osakestest, mis on üksteisest vahemikega eraldatud? 2. Kuidas muutub keha ruumala, kui tema osakeste vahelised kaugused suurenevad või vähenevad? 3. Kuidas näidata, et need osakesed on väga väikesed?

9. Molekulid.

Inimesed aimasid juba väga ammu, et mistahes aine koosneb üksikutest väga väikestest osakestest. Seda väitis juba 2500 aastat tagasi kreeka õpetlane Demokritos. Kui vanal ajal teadlased ainult aimasid aine väikseimate osakeste olemasolu, siis XIX sajandil tõestati selliste osakeste eksisteerimine.

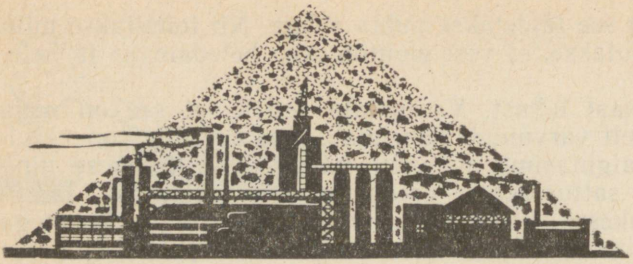
Osakesi, millest kehad koosnevad, nimetatakse molekulideks (sõna «molekul» tuleneb ladinakeelsest sõnast, mis tähendab väikest massi).

Molekul on antud aine kõige väiksem osake.

Kui suured on molekuli mõõtmed?

On teada, et suhkrutükki võib jagada väga väikesteks terakesteks, nisutera võib jahvatada jahuks. Veepinnal laialivalgunud õlikile paksus on 40 000 korda väiksem inimese juukse jämedusest. Kuid jahuteras ja õlikile paksuses sisaldub rohkem kui üks molekul. Tähendab molekulide mõõtmed on veel väiksemad kui jahutera mõõtmed ja õlikile paksus.

Võib tuua järgmise võrdluse: molekul on keskmisest õunast niisama palju kordi väiksem, kui mitu korda õun on väiksem Maast. 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.



Joon. 14.

Erinevate ainete molekulid erinevad üksteisest oma mõõtmete poolest, kuid kõik nad on väga väikesed. Kaasaegsed elektronmikroskoobid lubavad vaadelda ja fotografeerida suurimaid molekule. Saadud fotod on veel üheks kinnituseks molekulide olemasolule.

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 moodustaks mäe, mis kataks suure tehase (joon. 14).

Kas ühe ja sama aine molekulid erinevad üksteisest?

Sellele küsimusele vastates peame silmas aineid, milles ei ole lisandeid (näiteks puhas vesi, mis ei sisalda sooli) ning mis ei kujuta endast mitme aine segusid.

Looduses erinevad kõik kehad üksteisest millegi poolest. Ei ole olemas ühesuguste nägudega inimesi. Ühel puul kasvavate lehtede hulgas ei ole kaht täiesti ühesugust. Isegi liivahunnikust ei leia me 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.

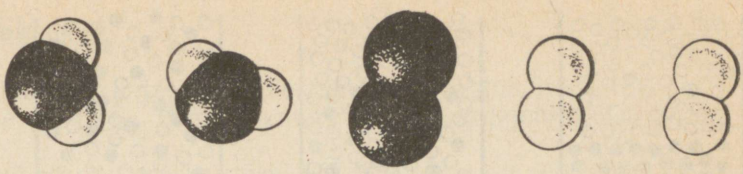
Arvukad ning keerulised katsed näitavad, et ühe ja sama aine molekulid on täiesti ühesugused. See on huvitav fakt. Ei ole näiteks võimalik eraldada teineteisest mereveest destilleeritud vett ja mahlast või piimast saadud vett, sest kõik vee molekulid on ühesugused.

Ühe ja sama aine kõik molekulid on ühesugused.

Aine molekule võib jagada teisteks osakesteks.

Osakesi, milleks jagunevad molekulid, nimetatakse *aatomiteks*. Nii näiteks jaguneb hapniku molekul kaheks ühesuguseks aatomiks, vee molekul aga kolmeks aatomiks (vee molekuli kuulub kaks vesiniku aatomit ja üks hapniku aatom).

Miks nimetatakse molekule antud aine väikseimateks osakesteks? Nimelt seepärast, et molekuli jagamisel osadeks saadakse sageli hoopis teiste ainete aatomid. Näiteks saadakse kahe veemolekuli jagamisel neli vesiniku ja kaks hapniku aatomit. Saadud



Joon. 15.

vesiniku aatomid annavad kahekaupa ühinemisel kaks vesiniku molekuli ning hapniku aatomid hapniku molekuli. Skemaatiliselt on see kujutatud joonisel 15.

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

Küsimused.

1. Kuidas nimetatakse osakesi, millest koosneb aine? 2. Millistest vaatlustest selgub, et molekulide mõõtmed on väga väikesed? 3. Mida te teate molekulide mõõtmetest? 4. Mida te teate vee molekulide koostisest?

Harjutus 1.

1. On teada, et õlitilk valgub mööda veepinda laiali, moodustades õhukese kile. Kas võib selle kile paksus muutuda kui tahes väikeseks?

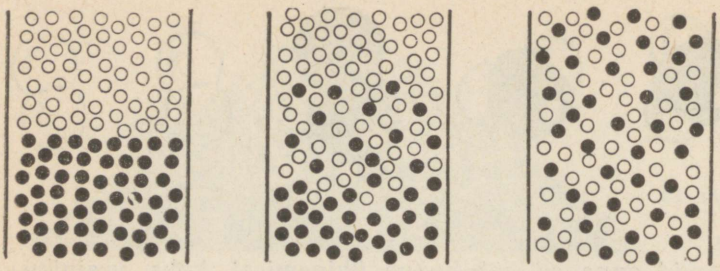
10. Difusioon gaasides, vedelikes ja tahketes kehades.

Arvukad katsed kinnitavad, et molekulid kõikides kehades pidevalt liiguvad. Vaatleme katset, mida võib seletada ainult sellega, et keha koosneb molekulidest ning et molekulid on pidevas liikumises.

Klaasanumasse valatakse vaskvitrioli vesilahust. See lahus on tumerohekassinise värvusega ning veest raskem. Lahuse peale kallatakse väga ettevaatlikult (et vedelikke 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. Järelikult on vedelikud segunenud.

Ühe aine molekulide tungimist teise ainesse nimetatakse difusiooniks.



Joon. 16.

Kirjeldatud nähtust selgitatakse järgmiselt (joon. 16). 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.

Gaasides toimub difusioon kiiremini kui vedelikes. 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, kuid väga aeglaselt. 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. Saadi õhuke kulla ja plii sulami kiht.

Difusioonil on suur tähtsus inimese ja loomade elus. Nii näiteks tungib hapnik läbi naha inimese organismi just tänu difusioonile. Toitainete imbumine loomade soolestikust verre — siin on jälle tegemist difusiooniga.

Küsimused.

1. Mis on difusioon? Kirjeldage katset, mis võimaldab vaadelda difusiooni vedelikes. 2. Kuidas selgitatakse difusiooninähtust, lähtudes aine molekulaarsest ehitusest? 3. Milline osatähtsus on difusioonil inimeste ja loomade hingamisprotsessis?

Harjutus 2.

1. Millisel nähtusel põhineb kurkide, kapsaste, kalade ja teiste toiduainete soolamine?
2. Jõgede, järvede ja teiste veekogude vees on alati õhu koosseisu kuuluvate gaaside molekule. Kuidas selgitada gaaside sattumist vette? Miks tungivad gaasid kuni veekogu põhjani? Selgitage, kuidas toimub seejuures õhu segunemine veega.

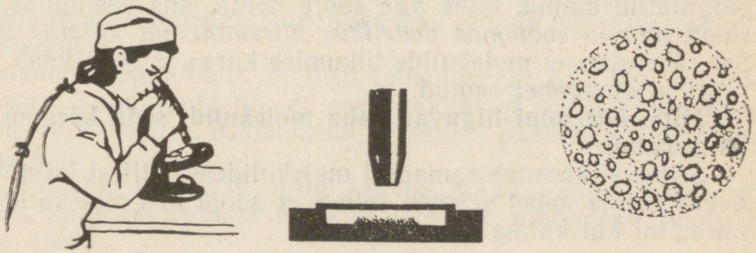
11. Browni liikumine.

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. 17).

Sellise katse läbiviimisel võib näha, et värviosakesed vahetpidamata liiguvad. Kõige väiksemad värviosakesed paiknevad ühest kohast teise, liikudes korrapäratult. Suuremad osakesed ainult võnguvad. Vaadeldavat värviterakeste liikumist nimetatakse Browni liikumiseks.

Vaatlused näitavad, et Browni liikumine ei lakka kunagi. 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.



Joon. 17.

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.*

12. Molekulide liikumise kiirus ja keha temperatuur.

Meie ümber toimub mitmesuguseid füüsikalisi nähtusi, mis on seotud kehade soojenemise 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 termomeetriga. Temperatuuri mõõtühikuks on kraad.

Kui vaadelda vedelike difusiooni kahes anumas, millest üks on paigutatud külma, teine aga sooja kohta, siis veendume, et *difusioon toimub soojemas vedelikus kiiremini kui külmas vedelikus.* See tähendab, et molekulide liikumise kiirus ja selle keha temperatuur on omavahel seotud.

Mida kiiremini liiguvad keha molekulid, seda kõrgem on keha temperatuur.

Soe vesi koosneb samadest molekulidest, millest külm vesi. Erinevus nende vahel seisneb selles, et sooja vee molekulid liiguvad kiiremini kui külma vee molekulid.

Küsimused.

1. Milliseid soojusnähtusi te tunnete? 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 molekulide liikumised?

Harjutus 3.

1. Miks lahustuvad suhkur ja sool soojas vees paremini kui külmas?
2. Kummas soolvees, kas soojas või külmas, hapenduvad kurgid kiiremini? Miks?

13. Molekulide vastastikune külgetõmme.

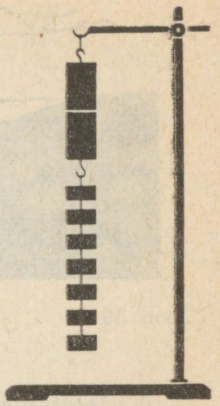
Näeme, et tahked kehad ja vedelikud ei jagune molekulideks, kuigi molekulide vahel on vaba ruumi ning molekulid ise on pidevas liikumises. See tähendab, et on olemas põhjused, mis hoiavad molekule üksteise kõrval ning ei lase neil laiali lennata.

Kehad ei lagune üksikuteks molekulideks ning tahkete kehade venitamine või purustamine on koguni raske. Kuidas siis seletada

asjaolu, et molekulid hoiduvad kehas üksteise lähedale ning mõnikord on nendevahelisi kaugusi raske suurendada?

Asi on selles, et **molekulide vahel eksisteerib vastastikune külgetõmme.** Iga molekul tõmbab enda poole naabermolekule ning viimased omakorda ka neid.

Murrame kriiditüki pooleks ning sobitame siis mõlemad tükid uuesti kokku. Nad ei jää aga enam teineteise külge. Miks?



Joon. 18.

Molekulidevaheline külgetõmme on märgatav ainult siis, kui molekulid asuvad üksteisele väga lähedal. Kaugustel, mis on veidi suuremad molekulide mõõtmetest, väheneb külgetõmme tunduvalt. Tühiselt väikesed vahemikud kriidiosakeste vahel (väiksemad kui 0,000001 cm) on küllaldased selleks, et molekulidevahelised tõmbejõud tunduvalt nõrgeneksid. Pehme materjali, näiteks kiti tükid liituvad aga 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. Kirjeldatud moodusel põhineb ka jootmine metallidega.

Kaks pliitükki ühinevad ning võivad taluda suurt koormust (joon. 18), kui nad asetada värskelt lõigatud pindadega tihedalt teineteise vastu.

Küsimused.

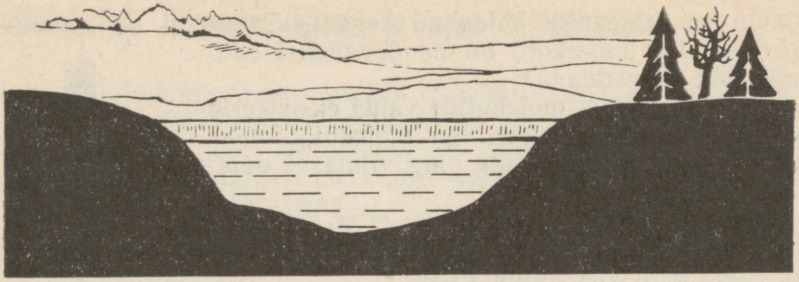
1. Miks ei jagune tahked kehad ja vedelikud üksikuteks molekulideks? 2. Millistel tingimustel on märgatav molekulidevaheline külgetõmme? 3. Miks kaks kokkusobitatud kriiditükki ei ühine, kititükid või pliitükid aga ühinevad?

Ülesanne.

Lõigake kartul või õun pooleks. Suruge nüüd saadud pooled teineteise vastu. Selgitage, miks need ei tule teineteise küljest lahti.

14. Aine kolm olekut.

Talvel kattub järvede ja jõgede pind jääga, vesi muutub tahkeks aineks — jääks. Jää all olev vesi jääb aga vedelasse olekusse (joon. 19). Siin näeme üheaegselt vee erinevaid olekuid — tahket (jää) ja vedelat (vesi). Eksisteerib veel kolmas vee olek, nimelt gaasiline: meile silmaga nähtamatu veeaur asub meid ümbritsevas õhus.



Joon. 19.

Vedelat elavhõbedat võime näha termomeetri reservuaaris (ja kapillaartorus). Elavhõbeda peal asuvad selle aurud, mis kujutavad endast elavhõbeda gaasilist olekut. Temperatuuril —39 °C elavhõbe külmub, s. o. läheb üle tahkesse olekusse (tahkestub).

Vee ja elavhõbeda näite põhjal selgub, et

aine esineb looduses kolmes olekus — tahkes, vedelas ja gaasilises.

Tingimustes, milles me elame, ei saa enamikku aineid üheaegselt vaadelda erinevates olekutes.

Aineid, mis on tahkes olekus, nimetatakse tahketeks kehadeks.

Näiteks hangunud klaas, jää ja tahke hapnik on tahked kehad.

Tahket keha on väga raske kokku suruda, sest selline kuju säilitab oma ruumala. Tahke keha kuju muutmiseks, näiteks painutamiseks, kokkumuljumiseks või lõhkumiseks on vaja rakendada jõudu (joon. 20).

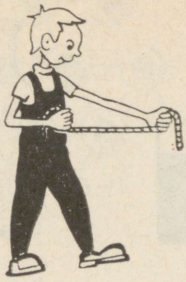
Tahke keha omaduseks on säilitada oma kuju ja ruumala.

Vedelas olekus olevaid aineid nimetatakse vedelikeks.

Vedelik muudab kergesti oma kuju, ta 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 (joon. 21).

Selleks et jaotada vedelikku osadeks, ei ole vaja suurt jõupingutust. Pannes käe vette, me surume hõlpsasti vee laiali, pritsime tema osakesi eemale.

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 vähene-



Joon. 20.



Joon. 21.

nud, vaid vesi imbus kerast välja läbi pragude, mis tekkisid löömisel.

Kõik vedelikud muudavad kergesti oma kuju, kuid säilitavad seejuures muutmatu ruumala. Seda vedelike omadust kasutatakse vedelast klaasist nõude valmistamisel (joon. 22).

Gaasilises olekus esinevaid aineid nimetatakse g a a s i d e k s.

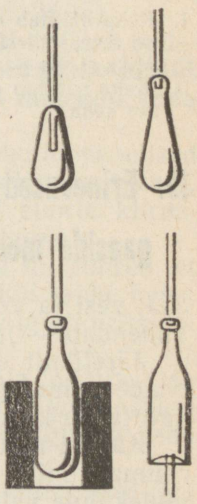
Paljud gaasid on läbipaistvad ja värvitud ning seepärast meile nähtamatud. Nii näiteks ei näe me õhku. Me võime aga veenduda, et ta meid ümbritseb. Kiirel sõitmisel autoga või rongiga, samuti tugeva tuule korral tunneme me õhu olemasolu enda ümber.

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. 23), siis väljub õhk lehtrist vooliku ja toru kaudu. Mõlemad katsed näitavad, et *gaasil on oma 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.

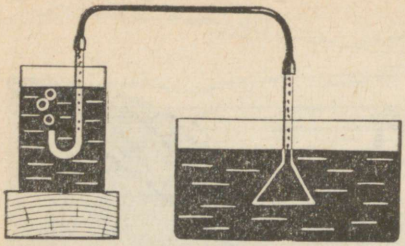
Gaasi kuju on samuti kerge muuta. Gaas võtab selle ruumi või anuma kuju, kus ta asetseb, näiteks toa, ballooni või pudeli kuju.

Pöörame tähelepanu veel ühele gaasi omadusele, mis eraldab teda vedelikest ja tahketest kehadest. Nimelt täidab gaas tervenisti anuma, millesse ta paigutatakse. Kui ühendada teineteisega ülalt kaks ballooni, millest üks on täidetud gaasiga, teine aga tühi, siis läheb osa gaasi otsekohe tühja ballooni. Kui esimene balloon oleks täidetud gaasi asemel vedelikuga või oleks sinna paigutatud mingi tahke keha, siis ei läheks tühja ballooni üle ei vedelikku ega muidugi ka tahket keha.

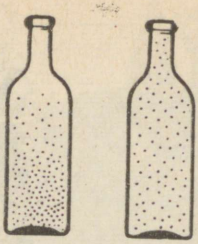
Gaase iseloomustavad seega järgmised omadused:



Joon. 22.



Joon. 23.



Joon. 24.

gaasid ei avalda vastupanu kuju muutmisele, on vedelikest tuhandeid kordi paremini kokkusurutavad ning ei oma kindlat ruumala, vaid täidavad üleni neile antud ruumala.

Kuna kõik kehad võivad minna ühest olekust teise, siis ei saa öelda, et ühed kehad on ainult tahked, teised vedelad või gaasilised. Kui teilt küsitakse, missuguste ainete hulka kuulub näiteks tina, siis ärge tõtake vastama, et ta on alati tahke keha. Oleneb ju ümbritsevatest tingimustest, kas aine on tahkes, vedelas või gaasilises olekus.

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, tina tahke keha ja hapnik gaas?

Harjutus 4.

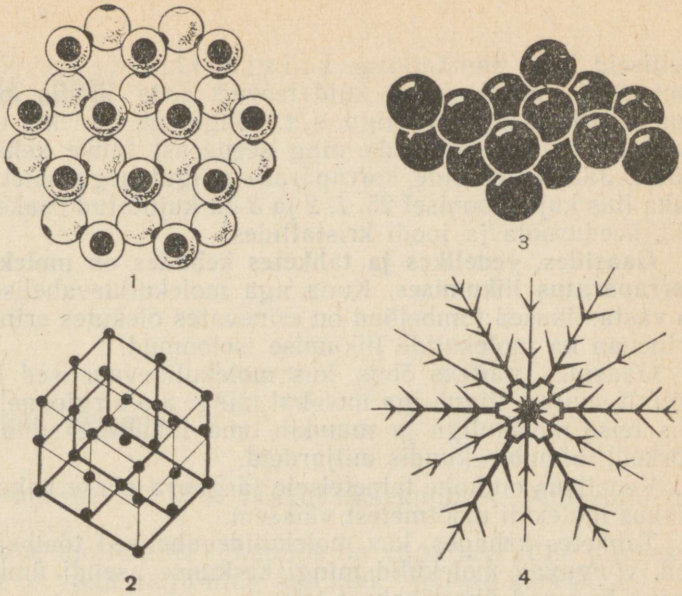
1. Keha säilitab oma ruumala, kuid muudab kergesti oma kuju. Millises olekus on aine, millest koosneb kirjeldatud keha?
2. Miks ei saa gaasiga täita poolt anumat?
3. Keha säilitab oma kuju ja ruumala. Millises olekus on aine, millest koosneb see keha?

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

Jää, vesi ja veeaur on ühe ja sama aine, nimelt vee kolm olekut. Tähendab — *jää, vee ja veeauru molekulid ei erine üksteisest.*

Järelikult ei erine aine kolm olekut mitte molekulide, vaid nende paigutuse poolest. Kuidas on paigutatud ning kuidas liiguvad tahke keha, vedeliku ja gaasi molekulid?

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.** Keskmiselt on kaugused gaasi molekulide vahel sellised, et



Joon. 25. Mõnede ainete kristallide mudelid: *1* — jääkristall; *2* — keedusoola kristall; *3* — joodikristall; *4* — lumeräitsakas.

iga kahe molekuli vahele võiks paigutada kümme molekuli. 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 (joon. 24, *a*), sest molekulid, liikudes igas suunas ning praktiliselt üksteist mitte külge tõmmates, täidavad kiiresti kogu anuma (joon. 24, *b*).

Vedelike kokkusurumatus seletub sellega, et vahemikud vedeliku molekulide vahel on väikesed — **vedelikus paiknevad molekulid nii tihedalt, et vahemaa iga kahe molekuli vahel on molekuli enda mõõtmetest väiksem.**

Sellistel kaugustel aga esinevad juba molekulidevahelised tõmbejõud. Tänu nendele jõududele ei eemaldu vedeliku molekulid üksteisest suurtele kaugustele, kuigi nad liiguvad suurte kiirustega. Vedelik ei täida kogu tema käsutusse antud ruumala.

Tõmbejõud vedeliku molekulide vahel ei ole aga nii suured, et vedelik säilitaks oma kuju ja oleks niisama tugev kui tahke keha. Seepärast võtabki vedelik anuma kuju, teda on kerge laiali pritsida, ümber valada, üht osa teisest eraldada.

Tahke keha on vastupidav, ta säilitab oma ruumala ja kuju. Osa neist omavad loodusliku, väga keerulise, ilusa ning korrapärase kuju, näiteks lumeräitsakas (joon. 25, *4*). Kuidas selgitada seda tahkete kehade omadust?

Enamiku tahkete kehade (näiteks jää, sool, naftaliin, metallid) **osakesed (molekulid või aatomid) on paigutatud kindla korra järgi.**

Selliseid kehi nimetatakse kristallilisteks. Nende kehade molekulid küll liiguvad, kuid teevad seda kindla punkti ümber analoogiliselt kellapendliga, s. t. võnguvad. Molekul ei saa sellest punktist kaugele nihkuda ning seepärast tahke keha ei valgugi laiali. Jää molekulide korrapärase paigutusega seletub lumeräitsaka ilus kuju. Joonisel 25, *1*, *2* ja *3* on kujutatud osakeste paigutus jää, keedusoola ja joodi kristallides.

Gaasides, vedelikes ja tahketes kehades on molekulid pidevas korrapäratus liikumises. Kuna aga molekulidevahelised kaugused ja vastastikused tõmbejõud on erinevates olekutes erinevad, siis on erinevad ka molekulide liikumise iseloomud.

Gaasides, näiteks õhus, kus molekulidevahelised kaugused on küllalt suured, liigub iga molekul mingi aja sirgjooneliselt, põrkub siis teise molekuliga ja muudab oma liikumise suunda. Selliseid põrkeid toimub sekundis miljardeid.

Vedelikus on kahe teineteisele järgneva põrke vahel läbitud tee pikkus molekuli mõõtmetest väiksem.

Tahketes kehades, kus molekulidevahelised tõmbejõud on suured, võnguvad molekulid mingi keskmise asendi ümber ja ainult harva liiguvad ühest kohast teise.

Küsimused.

1. Kas jää, vee ja veeauru molekulid erinevad üksteisest? 2. Kuidas on paigutatud üksteise suhtes gaaside molekulid? 3. Miks täidavad gaasid kogu ruumi, kuhu nad paigutatakse? 4. Millega seletub vedelike väga väikene kokkusurutavus? Miks ei säilita vedelikud oma kuju? 5. Miks kristallilised tahked kehad säilitavad hästi oma kuju ja ruumala?

16. M. V. Lomonossov aine ehitusest.

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 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 tänapäeva seisukohtadele.

LIIKUMINE JA JÕUD.

17. Mehhaaniline liikumine.

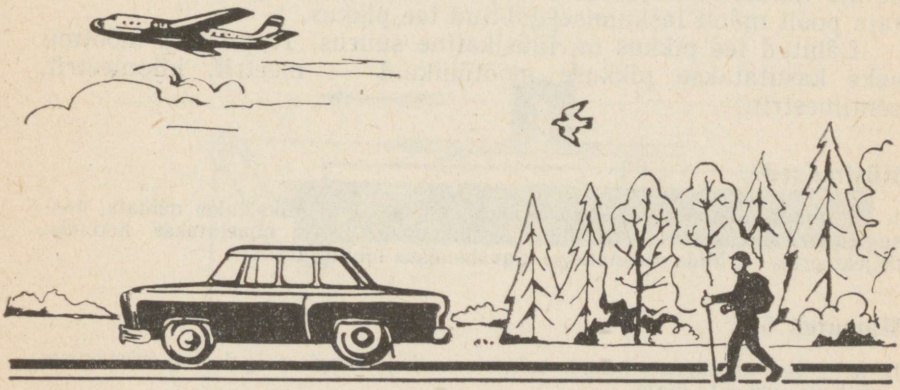
Nagu teame, koosnevad kõik kehad molekulidest. Molekulid on pidevas liikumises.

Keha kõikide molekulide liikumine on väga keeruline protsess, sest molekule on väga palju ning nad kõik liiguvad kaootiliselt.

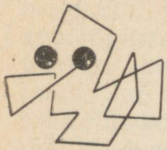
Selleks et uurida nii keerulist liikumist, nagu seda on molekulide liikumine, on algul vaja vaadelda palju lihtsamaid liikumise liike.

Selleks et otsustada, kas keha liigub või mitte, on tarvis vaadelda, kas keha muudab aja jooksul oma asendit teda ümbritsevate kehade suhtes. Kui näiteks auto asend majade või puude suhtes muutub, siis öeldakse, et auto liigub nende kehade suhtes. Vesi jões liigub kallaste suhtes, rong raudteetammi suhtes.

Keha asukoha muutumist teiste kehade suhtes nimetatakse mehhaaniliseks liikumiseks.



Joon. 26.







Joon. 27. Joon. 28. Joon. 29.

Rongis istuv inimene liigub raudteetammi suhtes, kuid vaguni suhtes on ta paigal. Seepärast on liikumisest rääkides vaja tingimata näidata, missuguste kehade suhtes liikumine toimub.

Inimese, auto, lennuki (joon. 26), raketi, paadi liikumine Maa suhtes, lindude lendamine, vee voolamine ja tuule puhumine samuti Maa suhtes on kõik mehhaanilise liikumise näited. Üksiku molekuli liikumine on samuti mehhaaniline.

Asudes ühest punktist teise, liigub keha mingit joont mööda.

Joont, mida mööda keha liigub, nimetatakse liikumise trajektooriks ehk teeks.

Gaasi molekuli liikumise trajektoor on murdjoon (joon. 27). Nähtava trajektoori, nimelt helendava jälje jätab õisesse taevasse langev meteoor (joon. 28).

Trajektoori pikkust, mille keha mingi ajavahemiku jooksul läbib, nimetatakse selle ajavahemiku jooksul läbitud tee pikkuseks.

Joonisel 29 on näha mäelt laskuva suusataja jälg. *OA* on suusataja liikumise trajektoor. Trajektoori lõigu *OA* pikkus on suusataja poolt mäelt laskumisel läbitud tee pikkus.

Läbitud tee pikkus on füüsikaline suurus. Teepikkuse mõõtmiseks kasutatakse pikkuse mõõtühikuid — meetrit, kilomeetrit, sentimeetrit.

Küsimused.

1. Missugust liikumist nimetatakse mehhaaniliseks? 2. Miks tuleb näidata, missuguste kehade suhtes keha liikumine toimub? 3. Mida nimetatakse liikumise trajektooriks? 4. Mida nimetatakse ajavahemikus läbitud teeks?

Harjutus 5.

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 ja mitteühtlane liikumine.

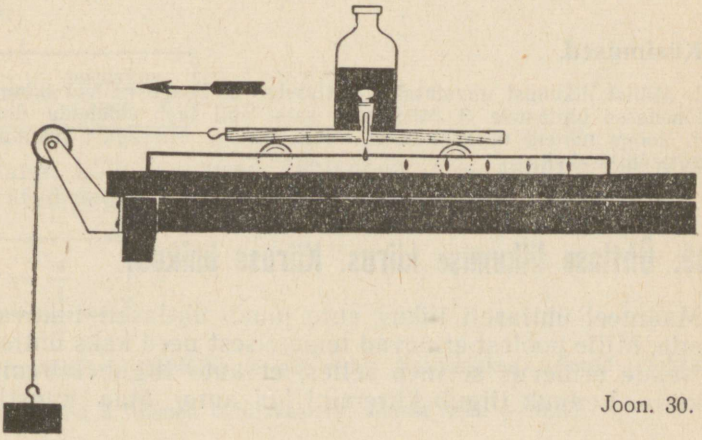
Ühtlaseks nimetatakse sellist liikumist, mille juures keha mistahes võrdsetes ajavahemikes läbib võrdsed teepikkused.

Kui auto mistahes võrdsetes ajavahemikes läbib võrdsed teepikkused, näiteks iga tunniga 60 km, iga poole tunniga 30 km, iga veerand tunniga 15 km jne., kaasa arvatud iga minutiga, sekundiga, sekundi murdosaga läbitud teepikkused, siis on auto liikumine ühtlane.

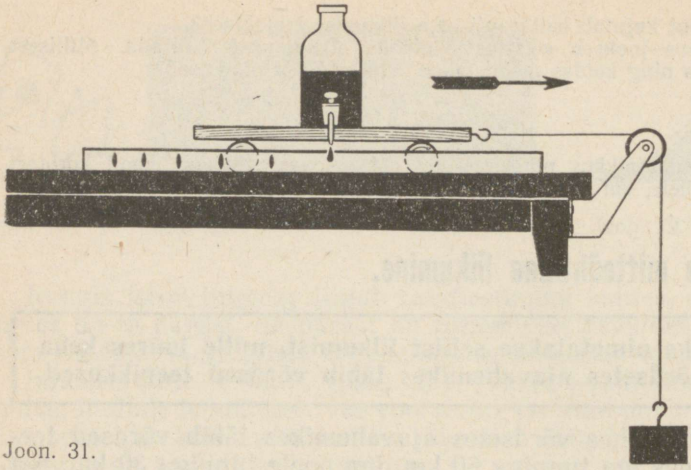
Joonisel 30 on kujutatud vankrike, millele on paigutatud tilgutaja. Tilgutajast tilguvad võrdsete ajavahemike tagant tilgad. Paberile jäänud tilkade jälgede vahemaad on ühepikkused. Järelikult läbib vankrike võrdsetes ajavahemikes võrdsed teepikkused.

Kui tilgutaja kraan rohkem lahti keerata, kukuvad tilgad sagedamini, s. o. ajavahemikud nende langemise vahel on nüüd väiksemad. Kuid ka sel juhul on tilgajäljed üksteisest võrdsel kaugusel. Järelikult ka väiksemates võrdsetes ajavahemikes läbib vankrike võrdsed teepikkused ning tema liikumine osutub ühtlaseks.

Ühtlast liikumist esineb looduses väga harva. Küllalt lähedane ühtlasele liikumisele on Maa liikumine ümber oma telje, täpsete kellade osutite liikumine. Gaasi molekuli liikumine ühest põrkest teiseni on samuti ühtlane.



Joon. 30.



Joon. 31.

Enamik liikumisi ei ole ühtlased. Näiteks jaamast väljuv rong läbib võrdsetes ajavahemikes ikka pikemad ja pikemad teed. Jaama saabudes läbib rong vastupidiselt eelmisele võrdsetes ajavahemikes ikka lühemad ja lühemad teepikkused. Kiiruisutaja kulutab võistlustel võrdsete ringide läbimiseks erinevad ajad. Rongi ja kiiruisutaja liikumised on mitteühtlase liikumise näideteks.

Mitteühtlaselt liikuv keha läbib võrdsetes ajavahemikes mittevõrdsed teepikkused.

Vankrikese mitteühtlast liikumist võib vaadelda katseliselt (joon. 31). Võrdsete ajavahemike tagant langevate tilkade jälgede järgi on näha, et vankrikese liikumine on mitteühtlane. Langevad ju tilgad võrdsete ajavahemike järel, kaugused tilkade vahel on aga erinevad.

Küsimused.

1. Millist liikumist nimetatakse ühtlaseks? 2. Tooge näiteid liikumistest, mis on lähedased ühtlastele. 3. Missuguse katse abil saab vaadelda ühtlast liikumist? 4. Tooge näiteid mitteühtlasest liikumisest. 5. Missugust liikumist nimetatakse mitteühtlaseks?

19. Ühtlase liikumise 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 *kiiruse* 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.

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.

Need kiirused kirjutatakse järgmiselt:

$$1\,\frac{\text{cm}}{\text{s}};\quad 1\,\frac{\text{m}}{\text{s}};\quad 1\,\frac{\text{km}}{\text{s}};\quad 1\,\frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

§ 18 kirjeldatud katses läbis vankrike 3 sekundiga 45 cm. Võib leida tee, mis läbiti 1 sekundiga, s. o. leida vankrikese kiiruse. Vankrikese kiirus on:

$$\frac{45\text{ cm}}{3\text{ s}} = 15\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}.$$

Selleks et leida keha ühtlase liikumise kiirus, tuleb keha poolt mingis ajavahemikus läbitud tee pikkus jagada selle ajavahemiku pikkusega:

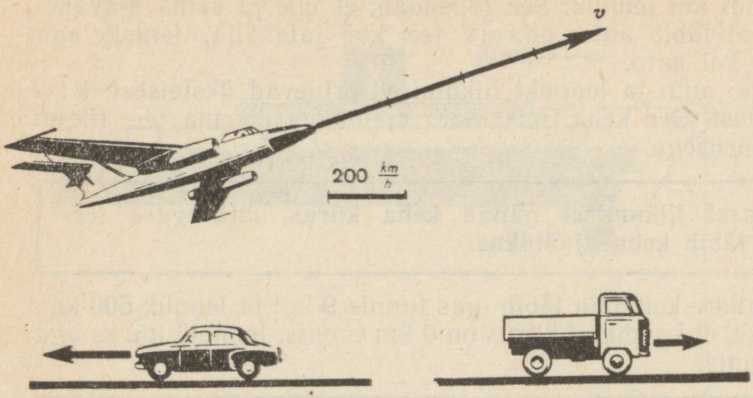
$$\text{kiirus} = \frac{\text{teepikkus}}{\text{aeg}}.$$

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

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

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

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



Joon. 32.

N ä i d e. Lennuk TУ-104 lendab 2736 km pikkuse vahemaa Moskvast Taškenti 3,8 tunniga. Leida lennuki kiirus, oletades, et see on ühtlane.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2736\ \text{km}}{3{,}8\ \text{h}} = 720\,\frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Seda kiirust võib väljendada ka teistes ühikutes, näiteks meetrites sekundis. Selleks teisendame kilomeetrid meetriteks, tunnid aga sekunditeks:

720 km = 720 000 m; 1 ha = 3600 s.

Siis

$$v = 720\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{720\,000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 200\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

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

Keha kiirust iseloomustab mitte ainult arvuline väärtus, vaid ka s u u n d. Näiteks on selleks, et teada, kus asub 2 tunni pärast Moskvast startinud lennuk, vaja peale kiiruse arvulise väärtuse teada veel kiiruse suunda.

Toome võrdluseks füüsikalisi suurusi, millel ei ole suunda: aeg, keha ruumala, molekulide arv kuupsentimeetris õhus.

Joonistel kujutatakse keha kiirust noolega (joon. 32).

Looduses ja tehnikas esinevaid kiirusi.

Tigu	$0{,}0015\ \frac{m}{s}\left(0{,}15\ \frac{cm}{s}\right)$
Jalakäija	$1{,}2-1{,}8\ \frac{m}{s}$
Kirjatuvi	$17-19\ \frac{m}{s}$
Uisutaja	kuni $12{,}5\ \frac{m}{s}$
Rong (keskmiselt)	$20\ \frac{m}{s}\left(72\ \frac{km}{h}\right)$
Sõiduauto (keskmiselt)	$30\ \frac{m}{s}\left(\approx 110\ \frac{km}{h}\right)$
Turbopropellerlennuk (keskmiselt)	$200\ \frac{m}{s}\left(720\ \frac{km}{h}\right)$
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 tehiskaaslane	$\approx 8000\ \frac{m}{s}\left(8\ \frac{km}{s}\right)$
Maa ümber Päikese	$\approx 30\,000\ \frac{m}{s}\left(30\ \frac{km}{s}\right)$
Valgus ja raadiolained	$\approx 300\,000\,000\ \frac{m}{s}\left(300\,000\ \frac{km}{s}\right)$

Küsimused.

1. Mille poolest erinevad üksteisest jalakäija, auto ja lennuki liikumine? 2. Mida näitab ühtlase liikumise kiirus? 3. Milliseid kiiruse ühikuid te teate? 4. Kuidas määrata keha liikumise kiirust, kui on teada tee pikkus ja aeg? 5. Kuidas väljendada $\frac{km}{h}$-des antud kiirust $\frac{m}{s}$-tes?

Harjutus 6.

1. Mööda jõge ujuv parv läbis 20 minutiga 900 m. Arvutada parve kiirus $\frac{m}{s}$-tes.
2. Jalgrattur sõitis 30 minutiga 9 km. Arvutada jalgratturi kiirus $\frac{m}{s}$-tes.
3. Elektriveduri ВЛ-23 kiirus on $90\ \frac{km}{h}$. Väljendage see kiirus $\frac{m}{s}$-tes.

20. Mitteühtlase liikumise keskmine kiirus.

Mitteühtlase liikumise korral läbib keha võrdsetes ajavahemikes mittevõrdsed teepikkused. Sellise liikumise kiirus ei ole konstantne.

Ometi räägitakse rongide ja autode puhul mingist kindlast kiirusest, kuigi teatakse, et peatustes on nende kiirus null, siis hakkab kasvama, enne järgmist peatust aga vähenema. Millist kiirust mõeldakse, öeldes näiteks, et rongi kiirus on $60\frac{\text{km}}{\text{h}}$?

Rääkides mitteühtlase liikumise kiirusest, peetakse silmas keskmist kiirust antud teelõigul või liikumise antud ajavahemikus. Selle kiiruse väljaarvutamiseks jagatakse läbitud tee pikkus liikumiseks kulunud ajaga, s. o. toimitakse samuti, nagu ühtlase liikumise kiiruse arvutamisel.

Vaatleme näidet. 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.

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

Küsimused.

1. Millist kiirust peetakse silmas, kui räägitakse rongi või auto liikumise kiirusest?
2. Kuidas määratakse kindlaks mitteühtlase liikumise keskmine kiirus?

Harjutus 7.

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.

21. Liikumise teepikkuse ja aja arvutamine.

Teades ühtlaselt liikuva keha kiirust, võib arvutada keha poolt antud ajavahemikus läbitud tee pikkuse. Olgu näiteks rongi kiirus $20\frac{\text{m}}{\text{s}}$. See tähendab, et igas sekundis läbib rong 20 m. Kuna aga rongi liikumine on ühtlane, siis läbib ta ka igas järgmises sekundis 20 m. 5 sekundiga läbib rong 5 korda pikema tee, seega $20\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5\ \text{s} = 100\ \text{m}$, 10 sekundiga sõidab rong $20\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10\ \text{s} = 200\ \text{m}$ jne.

Ühtlasel liikumisel läbitud tee pikkuse arvutamiseks tuleb keha kiirus korrutada liikumise ajaga:

$$s = vt .$$

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, s. o. 3000 m. 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: $\frac{3000}{1{,}5} = 2000$.

Märgitud teepikkuse läbimiseks kulus 2000 sekundit $\approx$ $\approx$ 33 minutit.

Mitteühtlase liikumise keskmine kiirus arvutatakse oletades, et liikumine on ühtlane. Kui on keskmise kiiruse kaudu tarvis arvutada tee pikkust, võib seepärast kasutada ühtlase liikumise teepikkuse arvutamise eeskirja. Seega **keha poolt mitteühtlasel liikumisel läbitud tee pikkus on võrdne keskmise kiiruse ja aja korrutisega.**

Aeg, mis kulutatakse mitteühtlasel liikumisel mingi tee läbimiseks, on võrdne selle tee pikkuse ja keskmise kiiruse jagatisega.

Küsimused.

1. Kuidas arvutada keha poolt ühtlasel liikumisel läbitud tee pikkust, kui liikumise kiirus ja aeg on teada. Kuidas saab ühtlase liikumise teepikkuse ja kiiruse abil leida selle liikumise aega? 2. Vastake samadele küsimustele mitteühtlase liikumise kohta.

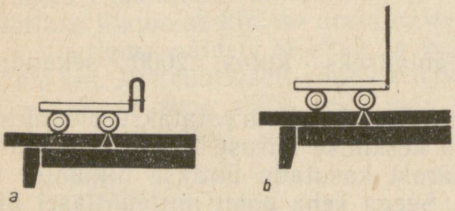
Harjutus 8.

1. Leidke lk. 31 toodud tabelist jalakäija, kiiruisutaja ja rongi kiirus ning määrake suuliselt nende kehade poolt 10 sekundiga läbitud teede pikkused.
2. Püssikuul liigub kiirusega $800\ \frac{m}{s}$. Kui pika tee läbib see kuul 0,3 sekundiga?
3. Lennuk lendab keskmise kiirusega $750\ \frac{km}{h}$. Kui pika tee läbib lennuk 6 lennutunniga?
4. Kui palju aega kulub rongil ja kui palju lennukil 4000 m pikkuse tee läbimiseks? (Nende kehade kiirused on toodud tabelis lk. 31).
5. Jalgrattur võib sõita kiirusega $3\ \frac{m}{s}$. Kas ta jõuab poole tunniga jaama, mis asub 5 km kaugusel?

22. 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.

Joonisel 33, *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. 33, *b*).



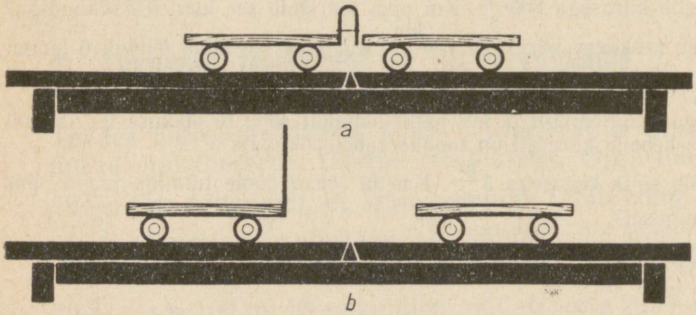
Joon. 33.

Nüüd asetame painutatud plaadi kõrvale veel teise vankrikese (joon. 34, *a*). Pärast niidi läbipõletamist ning plaadi sirgenemist hakkavad mõlemad vankrikesed laua suhtes vastassuundades liikuma (joon. 34, *b*).

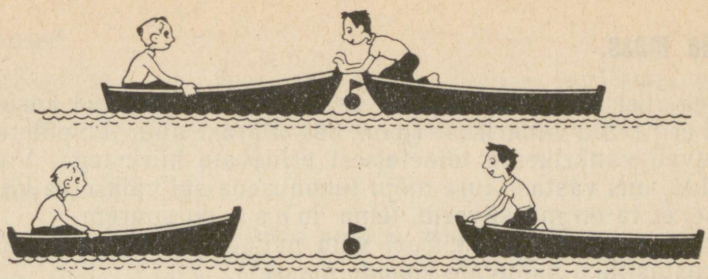
Selleks, et muuta vankrikese kiirust, oli vaja teist keha. Katsest järeldub, et *keha kiirus muutub ainult siis, kui temale mõjub teine keha.*

Nägime aga, et liikuma hakkas ka teine vankrike; mõlemad vankrikesed hakkasid laua suhtes liikuma. Mõlemad vankrikesed mõjusid teineteisele. Järelikult ei saa ühe keha mõju teisele olla ühepoolne. *Mõlemad kehad mõjuvad teineteisele — nad mõjutavad teineteist vastastikku.*

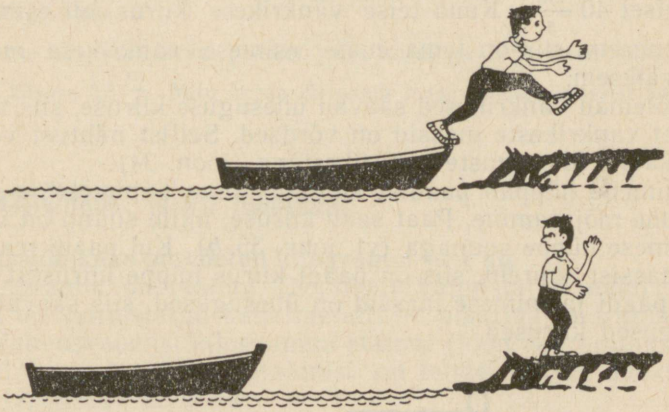
Me vaatlesime kehade vastastikuse mõju kõige lihtsamat juhtu: kehad (vankrikesed) olid enne vastastikust mõju laua ja teineteise suhtes paigal.



Joon. 34.



Joon. 35, *a*



Joon. 35, *b*

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 (joon. 35, *a*). Kui inimene hüppab paadist kaldale, siis hakkab paat liikuma vastupidises suunas (joon. 35, *b*).

Toodud näited kinnitavad, et **kehade kiiruse muutumine toimub ainult kehade vastastikuse mõju tõttu.**

Kiirused, millega kehad vastastikuse mõju tulemusena liikuma hakkavad, on 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.

23. Keha mass.

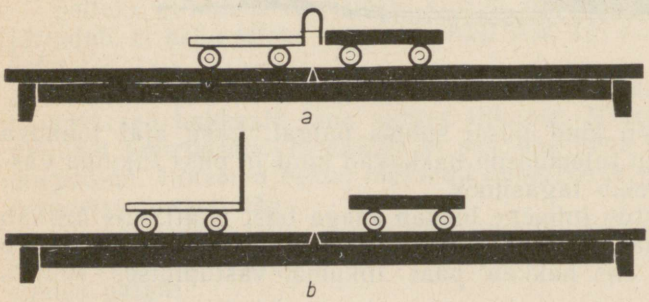
Vaatleme veel kord vankrikeste vastastikust mõju, kuid kasutame seekord erinevaid vankrikesi (joon. 36). Pärast niidi läbipõletamist eemalduvad vankrikesed teineteisest erinevate kiirustega. Vankrikese kohta, mis vastastikuse mõju tulemusena sai väiksema kiiruse, öeldakse, et ta on massiivsem, tema m a s s on suurem.

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

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 mõlemad vankrikesed saavad ühesuguse kiiruse, siis tähendab see, et vankrikeste massid on võrdsed. Sellist nähtust vaatlesime me katsel ühesuguste vankrikestega (joon. 34).

Kui inimene hüppab paadist kaldale, toimub inimese ja paadi vastastikune mõjutamine. Paat saab kiiruse, mille suund on vastupidine inimese hüppe suunaga (vt. joon. 35, *b*). Kui paadi mass on inimese massist suurem, siis on paadi kiirus hüppe kiirusest väiksem. Kui paadi ja inimese massid on ühesugused, siis saavad nad ka ühesugused kiirused.



Joon. 36.

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

Seni aga tuleb meeles pidada, et igal kehal — inimesel, laual, Maal, veetilgal — on oma mass ning et kehade masse saab võrrelda nende kiiruste kaudu, mida nad omandavad vastastikuse mõju käigus.

Küsimused.

1. Kirjeldage katset kahe erineva vankrikese vastastikuse mõju kohta. 2. Kumb katses kasutatud vankrikesest on massiivsem? 3. Tooge näide, millest selgub, kuidas võrreldakse kehade masse nende poolt omandatud kiiruste abil.

Harjutus 9.

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 $0{,}5\frac{m}{s}$. Mitu korda on paadi mass inimese massist suurem?

24. Massiühikud. Massi mõõtmine.

Massiühikuks on võetud kilogramm — 1 kg

Kilogramm on etaloni (hoolikalt valmistatud näidise) mass. Etalon on valmistatud kahe metalli — plaatina ja iriidiumi sulamist. Rahvusvahelist kilogrammi etaloni (joon. 37) hoitakse Pariisi lähedal Sèvres'is. Massi etalonist on teiste maade jaoks tehtud suure täpsusega koopiad.

Praktikas kasutatakse veel kilogrammist suuremaid ja väiksemaid ühikuid:

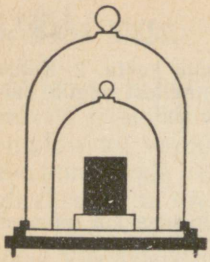
1 tonn (t) = 1000 kg;
1 tsentner (ts) = 100 kg;
1 gramm (g) ≈ 0,001 kg;
1 milligramm (mg) = 0,000001 kg.

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

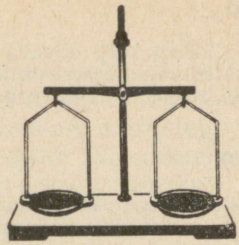
Samal viisil võib mõõta kehade masse, see tähendab võrrelda neid massiga, mis on võetud ühikuks, s. o. 1 kilogrammiga.

Pöördume uuesti vankrikestega korraldatava katse (§ 23) 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

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



Joon. 37.



Joon. 38.

Kui aga teise vankrikese poolt omandatud kiirus ei ole mitte suurem, vaid väiksem esimese vankrikese kiirusest? Kui näiteks teise vankrikese kiirus on 4 korda väiksem esimese vankrikese kiirusest, siis on teise vankrikese mass

$$1 \text{ kg} \cdot 4 = 4 \text{ kg}.$$

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. Milliseid massiühikuid te veel teate? 3. Kirjeldage katset, mille abil saab määrata keha massi.

Harjutus 10.

1. 100 kg massiga paigalseisvast paadist hüppas kaldale poiss. Poisi mass on 40 kg ja tema hüppe kiirus $2\frac{m}{s}$. Kui suure kiiruse sai paat?
2. Kuul lendab püssist välja kiirusega $600\frac{m}{s}$. Selle tulemusena sai püss kiiruse $2\frac{m}{s}$. Kui suur on kuuli mass, kui püssi mass on 3 kg?

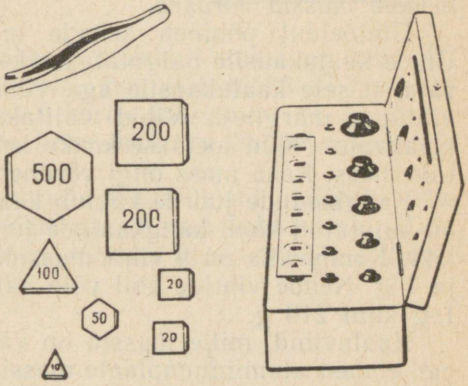
25. Keha massi määramine kaalumisega.

Me teame nüüd, et vastastikuse mõju tulemusena saadud kiiruste võrdlemise teel on võimalik määrata kindlaks, mitu korda on ühe keha mass teisest suurem. Sel meetodil on võimalik määrata keha massi, kui teise vastastikku mõjuva keha mass on teada. Sellisel viisil määratakse teaduses taevakehade masse. Sama meetodit

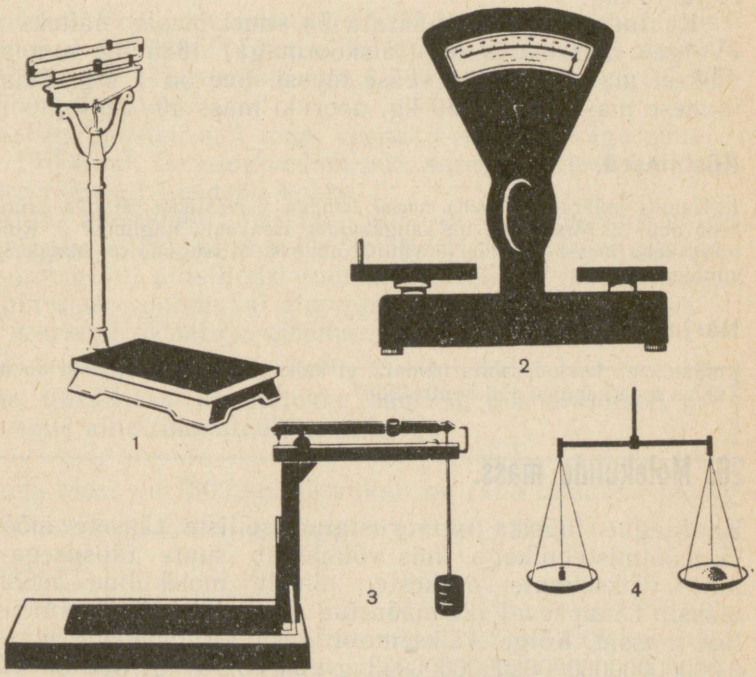
kasutatakse ka aine osakeste — aatomite ja nende koostisse kuuluvate osakeste massi määramisel.

On aga olemas teine, palju lihtsam viis keha massi määramiseks, nimelt kangkaalude abil.

Lihtsaimad kangkaalud (joon. 38) koosnevad kaalukangist, mis võib vabalt pöörelda tema keskkohal asuva punkti (toe) ümber. Kaalukangi otste külge on riputatud kaalukausid.



Joon. 39.



Kaalude tüübid: *1* — meditsiinilised kaalud; *2* — letikaalud; *3* — detsimaalkaalud, *4* — koolikaalud

Asetame kaalukaussidele need kaks vankrikest, mida me kasutasime kehade vastastikuse mõju katses (vt. joon. 34). Tookord tegime kindlaks, et nende vankrikeste massid on võrdsed, sest nad omandasid ju vastastikuse mõju tulemusena ühesugused kiirused. Katse näitab, et kui paigutada need ühesuguste massidega vankrikesed kaalukaussidele, jäävad kaalud tasakaalu.

Tähendab, *kaalude tasakaalu korral on kaalukaussidel olevate kehade massid võrdsed.*

Ülalöeldul põhineb kehade massi määramine kaalude abil. Ühele kaalukausile paigutatakse keha, mille massi on tarvis määrata, teisele kaalukausile aga vihid, mille massid on teada ning vihtidele märgitud. Vihid valitakse selliselt, et kaalud jääksid tasakaalu. Nüüd loetakse kokku keha massi tasakaalustavate vihtide mass. Keha mass ongi võrdne nende vihtide kogumassiga.

Kangkaalude juurde kuulub kaaluvihtide komplekt. Joonisel 39 on kujutatud kooli kangkaalude juurde kuuluv kaaluvihtide komplekt. Komplektis on 9 vihti massidega 100; 50; 20; 20; 10; 5; 2; 2 ja 1 g. Nende vihtide abil võib valida mistahes massi vahemikus 1 g kuni 210 g.

Kaaluvihid, mille massid on väiksemad kui 1 gramm, kujutavad endast alumiiniumplaate massidega 500; 200; 200; 100; 50; 20; 20 ja 10 mg.

Kaalude abil võib määrata ka suuri masse, näiteks sõiduauto «Volga» massi, mis on (täiskoormaga) 1885 kg, aga samuti ka väikesi masse, näiteks sääse massi. See on 1 mg. Täiskasvanud inimese mass on 60—80 kg, nooruki mass 40—50 kg.

Küsimused.

1. Kuidas määratakse keha massi temaga vastastikku mõjuva tuntud massiga keha abil? 2. Missugune on kangkaalude tasakaalu tingimus? 3. Kuidas määratakse keha massi kaalude ja vihtide abil? 4. Missugune on kangkaalude kaaluvihtide komplekt?

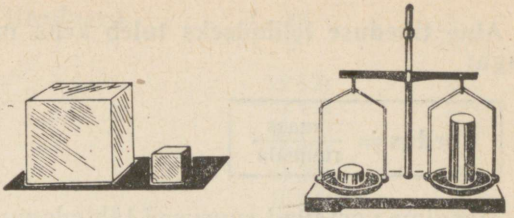
Harjutus 11.

Kuidas saab kaalude abita näidata, et kahe piljardikuuli massid on ühesugused? Kuidas seda kaalude abil kontrollida?

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. Kõige väiksem on vesiniku molekuli mass. See on 0,000000000000000000000033 g ehk $33/10^{25}$ g. See on väga väike suurus. Kui hästi teritatud pliiatsi otsaga teha paberile punktike, siis on paberile jääva grafiidi mass ligikaudu miljon korda suurem

Joon. 40.



selle molekuli massist. Elavhõbeda molekuli mass on vesiniku molekuli massist 100 korda suurem, hapniku molekuli mass 16 korda suurem, vee molekuli mass 9 korda suurem.

Keha massi moodustab selle keha määratu hulga molekulide masside summa.

Kaasaegsed tundlikumad kaalud võimaldavad määrata ühe sajamiljondiku grammi (0,00000001 g) suuruse keha massi. Kuid isegi sellise massiga aineosakeses, näiteks vees, on 330 triljonit (330 000 000 000 000) veemolekuli!

27. Aine tihedus.

Mitmesugustest ainetest valmistatud kehadel on ühesuguse massi korral erinevad ruumalad. Ühetonnise massiga rauatüki ruumala on 0,13 m^3, 1 tonni jää ruumala aga 1,1 m^3, s. o. peaaegu 9 korda suurem (joon. 40, *a*).

Normaaltingimustel on 1 tonni vesiniku ruumala väga suur — ligikaudu 10 000 m^3. Gaaside vedamiseks surutakse need ballooni-desse suure rõhu all tihedasti kokku.

Kui võtta ühesuguse massiga plii- ja alumiiniumsilindrid (joon. 40,*b*), siis selgub, et alumiiniumsilindri ruumala on peaaegu 4 korda suurem kui pliisilindri ruumala. Järelikult on ühe ruum-alaühiku plii mass suurem kui alumiiniumi ruumalaühiku mass.

Ained erinevad üksteisest tiheduse poolest.

Aine tiheduseks nimetatakse suurust, mis arvuliselt on võrdne selle aine ruumalaühiku massiga.

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 jää 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:

$$\frac{1800\ kg}{2\ m^3} = 900 \frac{kg}{m^3}.$$

Aine tiheduse leidmiseks tuleb keha mass jagada keha ruumalaga:

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

Märgime vastavad suurused tähtedega: ϱ[1] — aine tihedus; m — keha mass; V — keha ruumala. Siis võib aine tiheduse arvutamise eeskirja kirjutada valemina:

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

Aine tihedust väljendatakse ka grammides kuupsentimeetrite kohta $\frac{g}{cm^3}$ (joon. 41).

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:

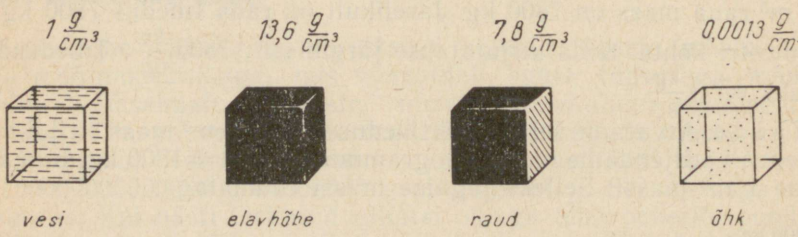
$$\varrho = \frac{7\,800\,000\ g}{1\,000\,000\ cm^3} = 7{,}8\ \frac{g}{cm^3}.$$

Ühe ja sama aine tihedus tahkes, vedelas ja gaasilises olekus on erinev.

Näiteks jää tihedus on $900\frac{kg}{m^3}$, vee tihedus $1000\frac{kg}{m^3}$ ja veeauru tihedus $0{,}598\frac{kg}{m^3}$.

---

[1] ϱ — kreeka täht roo.



Joon. 41.

Mõnede tahkete ainete tihedused

	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$
Osmium	22 500	22,5
Iriidium	22 400	22,4
Plaatina	21 500	21,5
Kuld	19 300	19,3
Plii	11 300	11,3
Hõbe	10 500	10,5
Vask	8 900	8,9
Messing	8 500	8,5
Teras, raud	7 800	7,8
Tina	7 300	7,3
Tsink	7 100	7,1
Malm	7 000	7,0
Alumiinium	2 700	2,7
Marmor	2 700	2,7
Graniit	2 600	2,6
Klaas	2 500	2,5
Portselan	2 300	2,3
Betoon	2 200	2,2
Orgaaniline klaas	1 200	1,2
Kapron	1 140	1,14
Polüetüleen	940	0,94
Parafiin	900	0,9
Jää	900	0,9
Tammepuit (kuiv)	800	0,8
Männipuit (kuiv)	440	0,44
Kork	240	0,24
Poroloon	200—600	0,2—0,6

Mõnede vedelike tihedused

	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$
Elavhõbe	13 600	13,6
Väävelhape	1 800	1,80
Merevesi	1 030	1,03
Vesi	1 000	1,00
Masinaõli	900	0,90
Bensool	880	0,88
Petrooleum	800	0,80
Piiritus	800	0,80
Nafta	800	0,80
Atsetoon	790	0,79
Eeter	710	0,71
Bensiin	710	0,71
Vedel tina (t=409 °C)	6 830	6,83
Vedel õhk (t=—194 °C)	860	0,86

Mõnede gaaside tihedused

	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$
Kloor	3,210	0,00321
Süsihappegaas	1,980	0,00198
Hapnik	1,430	0,00143
Õhk (0 °C)	1,290	0,00129
Lämmastik	1,250	0,00125
Vingugaas (süsinikoksiid)	1,250	0,00125
Veeaur (100 °C)	0,600	0,00060
Vesinik	0,090	0,00009

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 12.

1. Haruldase metalli osmiumi tihedus on $22\,500\,\frac{kg}{m^3}$. Mida see arv tähendab?
2. Marmorist, jääst 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. Kõige kergem puu on balsapuu. Selle puu 100 cm^3 mass on 20 g. Arvutage balsapuu tihedus $\frac{g}{cm^3}$-tes ja $\frac{kg}{m^3}$-tes.
5. 1 l petrooleumi mass on 0,8 kg. Arvutage petrooleumi tihedus.
6. Kaaluvihi mass on 200 g, ruumala aga ligikaudu 28 cm^3. Arvutage malmi tihedus. Millisest ainest on see viht?

Ülesanne.

Võtke risttahukakujuline seebitükk, millele on märgitud tema mass. Arvutage seebi 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. $710\ kg \cdot 50 = 35\,500\ kg = 35{,}5\ t$.

Selliselt võib massi määrata ilma kaalumiseta — tsisterni ruumala võib mõõta, tiheduse saab aga vastavast tabelist.

Keha massi arvutamiseks on vaja keha tihedus korrutada tema ruumalaga:

$$\text{mass} = \text{tihedus} \times \text{ruumala} \quad \text{ehk} \quad m = \varrho V$$

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, ning tema ruumala ei saa määrata joonlaua abil. 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.

Küsimused.

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

Harjutus 13.

1. Määrake 10 l vee, piima ja elavhõbeda mass.
2. Kui suur on 100 cm^3 plii mass? Kas on niisama suur ka 100 cm^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.

29. Aine tiheduse väljendamine molekulide massi ja ruumalaühikus 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.

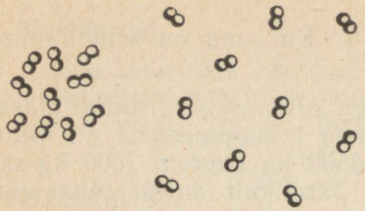
Kui kõik herneterad oleksid ühesugused, siis võiks herneste kogumassi leida ühe hernetera massi korrutamisel herneste arvuga.

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

Aine tihedus näitab, kui suur on selle aine 1 m^3 mass. Ka aine 1 m^3 massi moodustab selles ruumalas olevate molekulide kogumass. Hapniku tihedus on näiteks 1,43 $\frac{kg}{m^3}$. Selle tulemuse võime saada, kui korrutada hapniku molekuli mass molekulide arvuga 1 kuupmeetris hapnikus.

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



Joon. 42.

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.

Aine tihedus oleneb sellest, kas ta on tahkes, vedelas või gaasilises olekus. Leheküljel 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; joon. 42). Seepärast on molekulide arv 1 m^3 gaasis väiksem kui 1 m^3 vedelikus.

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 kunagi 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 14.

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. Gaasilise vesiniku tihedus on $0{,}09 \frac{kg}{m^3}$, tahke vesiniku tihedus aga $80 \frac{kg}{m^3}$. Selgitage selle erinevuse põhjus.
4. Miks on kokkusurutud gaaside tihedus suurem kui normaaltingimustel oleva gaasi tihedus?

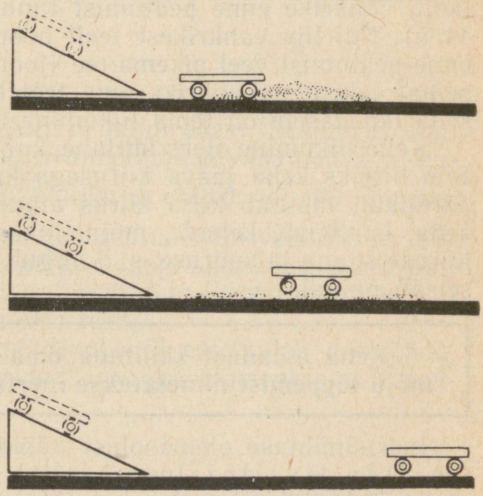
30. Inerts.

Paragrahvist 22 selgus, et keha kiirus võib muutuda ainult vastastikuse mõju tulemusena (tuletage meelde katset kahe vankrikesega). Igapäevased kogemused kinnitavad tehtud järeldusi. Maapinnal lebav pall hakkab liikuma ainult sel juhul, kui temale mõjub mingi teine keha: vastu teda lendub 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.

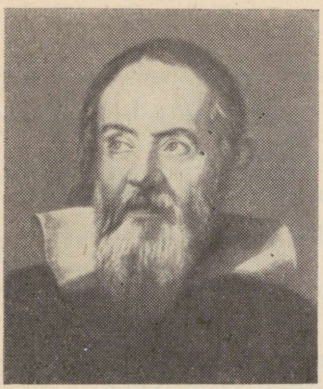
Vaatleme nüüd sellist olukorda, kus keha ei ole paigal, vaid liigub. Liikumiskiiruse vähenemine ning keha peatumine ei toimu samuti iseenesest, vaid selle kutsuvad esile liikuvale kehale mõjuvad kehad. Laua läbimisel kuuli kiirus väheneb nende vastastikuse mõju tõttu. Veereva palli peatab palli ja maapinna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



Joon. 43.



Joon. 44.



Galileo Galilei (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.

Kiiruse suuna muutumine ei toimu samuti iseenesest, vaid alati mingi keha mõjul. Visatud pall muudab liikumise suunda löögist vastu seina või vastu kätt. Kui kiiresti jooksev inimene tahab pöörata ümber tulba (joon. 43), siis haarab ta sellest kinni. Gaasi molekulide liikumise suund muutub kas vastu teist molekuli või anuma seina vastu põrkamisel. Ühest põrkest teiseni liigub molekul sirgjooneliselt.

Vaatleme järgmist katset. Lauale paigutatakse kaldpind ja sellest veidi kaugemale valatakse kuhjake liiva (joon. 44). Kaldpinnale asetatakse vankrike ning lastakse sellel mööda kaldpinda alla veereda. Vankrike, mis veereb lauale ning satub liiva, peatub kiiresti (joon. 44, *a*). Tasandame laual oleva liivakuhjakese ning laseme vankrikesel samalt kõrguselt uuesti alla veereda. Nüüd läbib vankrike enne peatumist tunduvalt pikema vahemaa (joon. 44, *b*). Kui liiv vankrikese teelt hoopis kõrvaldada, läbib vankrike enne peatumist veel pikema tee (joon. 44, *c*). Järelikult, mida väiksemat takistust vankrike oma teel kohtab, seda kauem ta liigub, seda lähedasem on tema liikumine ühtlasele liikumisele.

Keha liikumine oleks ühtlane, kui temale ei mõjuks teised kehad. Siis liiguks keha jääva kiirusega kuitahes kaua ning ei peatuks. 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 või seisab paigal.

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

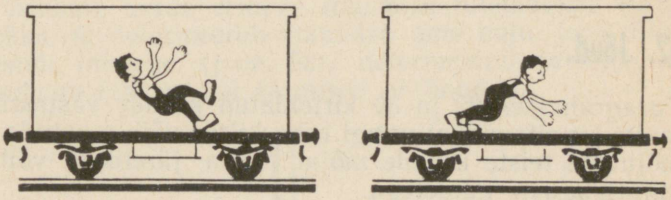
Inertsinähtuse olemasolust rääkis esimesena itaalia õpetlane Galileo Galilei. Inertsi mõjul liikumise näiteks on ka gaasi molekulide liikumine. Iga gaasi molekul liigub ühest põrkest teiseni inertsi mõjul.

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 ei esineks liikumise takistusi? 4. Mis põhjustab keha liikumissuuna muutumist? 5. Mida nimetatakse inertsiks?

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, siis hakkavad liikuma ka sõidukis oleva reisija jalad, sest jalgade ja põranda vahel on hõõrdumine. Reisija keha aga jääb inertsi mõjul paigale. Seepärast kaldubki reisija liikumise suunale vastassuunas (joon. 45, *a*). Vastupidine olukord tekib järsul pidurdamisel — reisija keha jätkab liikumist ning kaldub ettepoole (joon. 45, *b*).



Joon. 45.

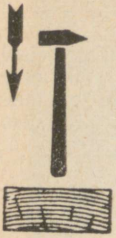
a *b*

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 vabajooksu pikkuseks. Kui asfaltteel kiirusega $50\frac{km}{h}$ liikuva «Moskvitš-408» mootor välja lülitada, läbib auto kuni täieliku peatumiseni veel 355 m. See ongi «Moskvitš-408» vabajooksu pikkus. Isegi siis, kui pidurite abil katkestada autorataste pöörlemine, liigub auto inertsi mõjul teatud aja edasi, libisedes ratastega mööda teed.

Ületades teed liikuva transpordivahendi ees, tuleb arvestada, et mitte ühtegi sõidukit ei saa pidurdamisega momentaanselt peatada.

Küsimused.

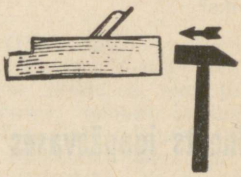
1. Tooge inertsi kohta näiteid igapäevasest elust ja tehnikast. 2. Miks ei saa momentaanselt peatada liikuvat rongi, autot või mootorratast?



Joon. 46.



Joon. 47.

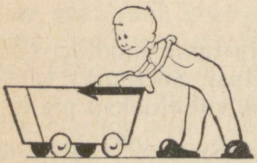


Harjutus 15.

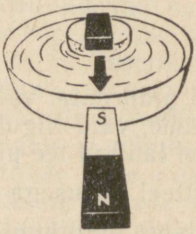
1. Joonisel 46 on toodud haamri varre otsa kinnitamise viis. Selgitage seda.
2. Miks komistav inimene mõnikord kukub? Millises suunas ta kukub?
3. Millel põhineb riiete puhastamine kloppimise või raputamise teel?
4. Joonisel 47 näidatakse, kuidas viia höövliraud vajalikku asendisse. Miks rauale löömisel see väljub höövlipakust, höövlipaku otsale löömisel aga liigub raud höövlipaku sisse?
5. Millises suunas kalduvad reisijad bussis selle pöördumisel paremale? pöördumisel vasakule?

32. Jõud.

Paragrahvides 22 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.



Joon. 48.



Joon. 49.

Tõugates vagonetti võib panna selle liikuma, s. o. muuta vagoneti kiirust (joon. 48). Kirjeldatud juhul muutis vagonett oma kiirust inimese mõjul. Vette paigutatud korgitükil asuv rauatükk hakkab magneti mõjul liikuma (joon. 49). Antud juhul on magnet selleks kehaks, mis muutis korgi- ja rauatüki kiirust.

Käega kuulile mõjudes surume vedru kokku (joon. 50, *a*), s. o. vedru ots hakkab liikuma. Sirgenemisel paneb kokkusurutud vedru liikuma kuulikese (joon. 50, *b*). Algul oli mõjuvaks kehaks inimese käsi, mis pani liikuma vedru otsa. Siis hakkas liikuma kuulike, s. t. kuulike muutis oma kiirust kokkusurutud vedru mõjul.



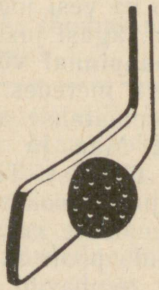
a b

Joon. 50.

Käega või reketiga võib peatada lendava palli või siis muuta selle liikumise suunda. 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. Tavaliselt ei näidata, missugune keha ning kuidas see mõjub antud kehale, vaid öeldakse lihtsalt, et kehale mõjub jõud ehk kehale on rakendatud jõud.

Jõud on keha liikumise kiiruse muutumise põhjus.

Jõu mõjul võib muutuda mitte terve keha kiirus, vaid tema üksikute osade kiirus. Nii juhtub näiteks kummilitri löömisel hokikepiga. Litri üksikute osade erineva liikumise tulemusena surutakse litter kokku, ta deformeerub (muudab oma kuju, joon. 51). Laud, millel istub inimene (joon. 52), deformeerub seetõttu, et laua keskosa nihkub rohkem kui äärmised piirkonnad.



Joon. 51.



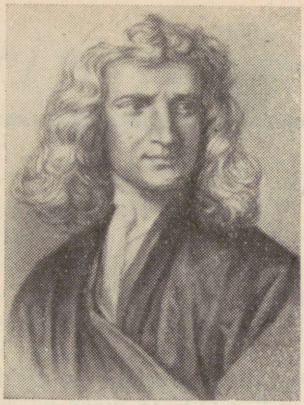
Joon. 52.

Mitmesuguste kehade liikumiskiiruste ühesuguseks muutmiseks on vaja rakendada erinevaid jõude. Atra on kohalt raskem nihutada kui kerget vankrit. See tähendab, et adra vedamiseks läheb vaja suuremat jõudu kui vankri vedamiseks. Järelikult, **jõul võib olla kas suurem või väiksem arvuline väärtus.**

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?

TRÜ Raamatukogu

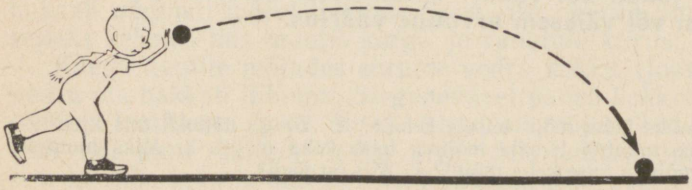


Isaac Newton (1643—1727) — geniaalne inglise füüsik ja matemaatik. Tema avastas mehhaanika põhiseadused, õppis tundma paljusid valguse omadusi ning töötas läbi kõrgema matemaatika kõige tähtsamad osad.

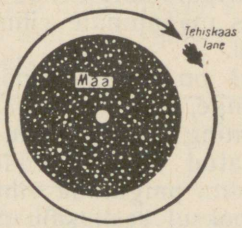
33. Gravitatsioon. Raskusjõud.

Vaatleme visatud kivi liikumist (joon. 53). Kivi ei lenda sirgjooneliselt ja ühtlaselt, tema trajektoor on kõverjoon. Maalt üleslennutatud tehiskaaslane ei lenda mööda sirgjoont, vaid tiirleb ümber Maa (joon. 54, *a*). Järelikult mõjub kivile jõud. See on Maa külgetõmme. Tänu Maa külgetõmbele langevad maapinnalt üles tõstetud (joon. 54, *b*) 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.

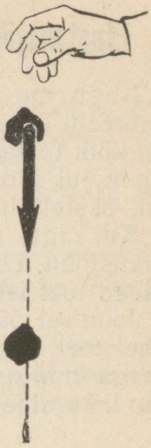
Kõiki kehi, mis asuvad maapinnal või selle lähedal, tõmmatakse Maa poole: inimesi, vett meredes, ookeanides ja jõgedes, maju jne. Maad omakorda tõmmatakse aga nende kehade poole. Külgetõmme ei esine ainult Maa ja sellel asuvate esemete vahel. Kõik kehad tõmbavad üksteist. Tõmbavad teineteist Maa ja Kuu. Kuu külgetõmme põhjustab ookeanis tõusude ja mõõnade tekkimise, tõstes määratuid veemasse kaks korda ööpäevas mitme meetri võrra. Päike tõmbab enda poole Maad ja teisi tema ümber tiirlevaid planeete. Planeedid tõmbavad ka üksteist. Tõmbavad üksteist ka kõik maapinnal olevad kehad.



Joon. 53.



Joon. 54, *a*



Joon. 54 *b*

Maailmaruumi kõikide kehade vastastikust tõmbumist nimetatakse ülemaailmseks gravitatsiooniks.

Inglise õpetlane Isaac Newton avastas seaduse, mis märgib, et *mida suuremad on kehade massid, seda suurem on nendevaheline tõmbejõud.* Kehadevaheline tõmbejõud väheneb kehadevahelise kauguse suurenedes.

Meie, Maa elanike jaoks on väga tähtis Maa külgetõmme.

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

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

Keha raskusjõud on võrdeline keha massiga. Kui ühe keha mass ületab teise keha massi mingi arv korda, siis on ka esimese keha raskusjõud teise omast suurem sama arv korda. Kui kehade massid on võrdsed, siis on võrdsed ka neile mõjuvad raskusjõud.

Küsimused.

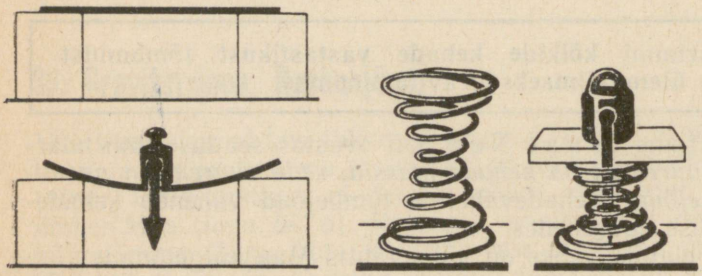
1. Miks ei lenda sirgjooneliselt kivi, mis visatakse horisontaalselt? 2. Missugune jõud hoiab keha maapinnal? 3. Mis on raskusjõud? 4. Miks on raskusjõud poolustel veidi suurem kui ekvaatoril ja teistel laiustel? 5. Kuidas oleneb raskusjõud keha massist?

34. Elastsusjõud.

Nagu me paragrahvis 33 selgitasime, mõjub kõikidele Maal asuvatele kehadele raskusjõud (joon. 55). Raskusjõu mõjul langevad kõik toetamata või ülesriputamata kehad maapinnale. Raskusjõu mõjul langevad näiteks maapinnale vihmapiisad, lumeräitsakad, okstelt langevad lehed.

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

Joonisel 55, *a* on kujutatud laud, mis lebab horisontaalselt kahel toel. Kui laua keskkohta paigutada viht, siis liigub ta koos lauaga mingisuguse aja jooksul raskusjõu mõjul allapoole. Siis aga liikumine lakkab.



Joon. 55.

Mis põhjustas liikumise lakkamise? Vihi peatumist võib seletada ainult sellega, et peale allapoole suunatud raskusjõu mõjub vihile 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, joon. 55, *b*) 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 e l a s t s u s j õ u k s.

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

Küsimused.

1. Milles avaldub raskusjõu mõju? 2. Missugust jõudu nimetatakse elastsusjõuks?

35. Keha kaal.

Kui keha paigutatakse toele, siis deformeerub mitte ainult tugi, vaid ka keha, mida Maa enda poole tõmbab. Deformeerunud keha rõhub toele jõuga, mida nimetatakse k e h a k a a l u k s.

Kui keha on niidi abil üles riputatud, siis venitab ta niiti. See-juures tekib samuti elastsusjõud.

Keha kaal on jõud, millega keha Maa külgetõmbe mõjul rõhub toele või pingutab niiti.

Ei tohi segi ajada kehale mõjuvat raskusjõudu keha kaaluga. Raskusjõud mõjub kehale endale, selle keha kaal mõjub aga toele või niidile.

Küsimused.

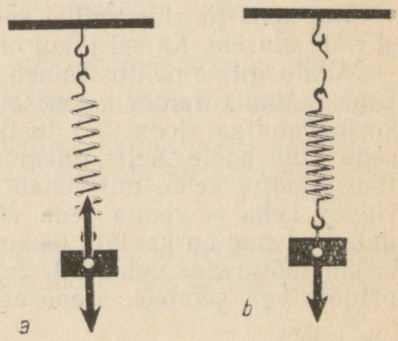
1. Mida nimetatakse keha kaaluks? 2. Mille poolest erineb kaal kehale mõjuvast raskusjõust?

36. Kaalutuse mõiste.

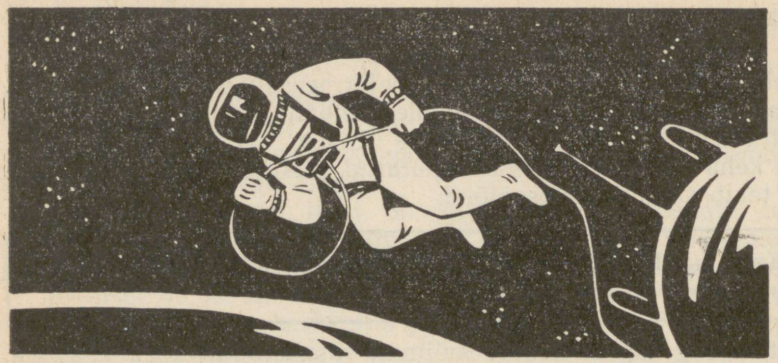
Täiendavaks lugemiseks.

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? Kaaluta olek on keeruline füüsikaline nähtus. Selle täielikuks mõistmiseks on vaja sügavaid teadmisi füüsikast. 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, mil-



Joon. 56.



Joon. 57.

lega 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?

Vaatleme katset. Võtame väikese keha ning riputame selle vedru külge (joon. 56, *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. 56, *b*). Senikaua kuni vedru koos kehaga langeb, ei ole ta välja venitatud. Järelikult ei mõju langev keha temaga koos langevale vedrule. Sel juhul on keha kaal võrdne nulliga, raskusjõud aga ei ole null, ta mõjub kehale endiselt ning põhjustab tema langemist.

Täpselt samuti ei rõhu keha vabal langemisel alusele, millel ta asub. Ka sel juhul on keha kaal null.

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 (joon. 57) 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 korpuse 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 põrka kokku teiste kehadega.

Nõukogude kosmonaut G. S. Titov jutustas, et teda lõi valusalt kinokaamera, mis kaaluta olekus vabalt kosmoselaeva kabiinis ringi liikus.

37. Jõuühikud.

Jõud on füüsikaline suurus. Teda võib mõõta, s. o. võrrelda jõuga, mis on võetud ühikuks.

Teame, et mitmesuguste suuruste mõõtühikud valitakse. Ka jõu mõõtühikuks võib valida mistahes jõu, näiteks elastsusjõu, mis venitab vedru teatud kindla pikkuseni.

Jõu mõõtühikuks võib valida ka mingile kehale mõjuva raskusjõu.

Rahvusvahelise kokkuleppe alusel on jõu mõõtühikuks valitud jõud, mida nimetatakse njuutoniks. 1 njuuton on võrdne raskusjõuga, mis mõjub kehale massiga 0,1 kg, täpsemalt massiga $\frac{1}{9{,}8}$ *kg.*

Nimi njuuton anti jõuühikule suure inglise füüsiku Isaac Newtoni auks.

Tuleb arvestada, et kehale mõjuv raskusjõud oleneb selle koha geograafilisest laiusest, kus keha asub. Seepärast on $\frac{1}{9{,}8}$ kg massiga kehale mõjuv raskusjõud 1 njuuton ainult kindlal geograafilisel laiusel ja nimelt sellel geograafilisel laiusel, millel asub prantsuse linn Sèvres. Teatavasti hoitakse seal massi etaloni.

Arvu 9,8 tähendus selgub füüsika õppimisel keskkooli vanemates klassides.

Lühidalt kirjutatakse jõuühik njuuton — 1 N.

Njuutonites mõõdetakse mitte ainult raskusjõudu, vaid ka teisi jõude, näiteks elastsusjõudu.

Kuidas mõõta njuutonites mistahes massiga kehale mõjuvat raskusjõudu?

Kuna 1 njuuton on raskusjõud, mis mõjub kehale massiga $\frac{1}{9{,}8}$ kg, siis järelikult mõjub 1 kg massiga kehale 9,8 njuutoni suurune raskusjõud. 9,8 N suurune raskusjõud mõjub igale massikilogrammile (Sèvres'i laiusel). Lühidalt võib seda kirjutada järgmiselt: $9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Raskusjõud on seda suurem, mida suurem on keha mass. Kui kehale massiga 1 kg mõjub raskusjõud 9,8 N, siis kehale massiga

2 kg mõjub järelikult kaks korda suurem raskusjõud, s. o. 19,6 N; kehale massiga 3 kg vastavalt kolm korda suurem jõud, s. o. 29,4 N jne.

Selleks et väljendada kehale mõjuvat raskusjõudu njuutonites, tuleb keha massikilogrammide arv korrutada $9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}}$-ga:

$$F = 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot m$$

Siin F on njuutonites väljendatud raskusjõud, m — keha mass kilogrammides.

Me teame, et jõudu, millega Maa poole tõmmatav keha mõjub toele, nimetatakse selle keha kaaluks.

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 võib ka keha kaalu P njuutonites arvutada valemi

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

abil. Valemis mass m võetakse kilogrammides.

Mõnikord võib arvutustes arve ümardada ning lugeda 1 njuutoni raskusjõuks, mis mõjub kehale massiga 0,1 kg, s. o. 100 g. Siis on kehale massiga 1 kg mõjuv raskusjõud ligikaudu 10 N. Kehale massiga 500 g mõjub siis raskusjõud 5 N, kehale massiga 200 g 2 N jne.

Tehnikas ja igapäevases elus kasutatakse jõuühikuna veel jõukilogrammi (kgf). See jõuühik on njuutonist 9,8 korda suurem, s. o. 1 kgf = 9,8 N (ehk ligikaudu 1 kgf ≈ 10 N).

Küsimused.

1. Mis tähendab mõõta mingit jõudu? 2. Milline jõud on võetud jõuühikuks? 3. Missugust jõudu nimetatakse njuutoniks? 4. Kui suur raskusjõud mõjub kehale massiga 1 kg? 5. Kuidas arvestada mistahes massiga kehale mõjuvat raskusjõudu? 6. Millisel juhul võib keha kaalu arvestamiseks kasutada raskusjõu arvutamise valemit?

Harjutus 16.

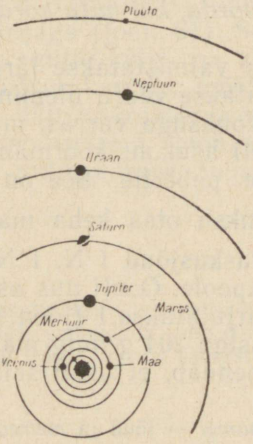
1. Mitu njuutonit kaalub keha massiga 10 kg? 200 g?
2. Kui suur on raskusjõud, mis mõjub kehale massiga 2,5 kg? 800 g? 1,2 t? 50 g?
3. Leidke veoauto kaal, kui ta mass on 3 t.
4. Inimene kaalub 800 N. Kui suur on selle inimese mass?

38. Raskusjõud teistel planeetidel.

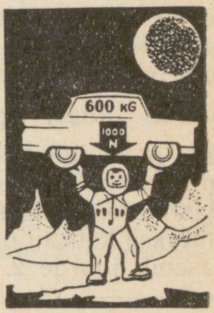
Täiendavaks lugemiseks.

Päikese ümber tiirleb 9 planeeti (joon. 58). 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.

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.



Joon. 58. Päikesesüsteemi planeedid.



Joon. 59.

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. 59). 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 $11\frac{\text{km}}{\text{s}}$ nagu Maast eemaldumiseks, vaid piisab kiirusest $2\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

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.

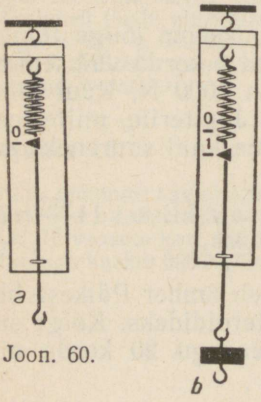
K. E. Tsiolkovski kirjeldab inimese saabumist sellele asteroidile oma raamatus «Tee tähtede juurde» järgmiselt: «Maal võin ma vabalt kanda veel inimest, kes on minuga üheraskune. Vestal võin ma sama pingutusega kanda 30 korda rohkem, s. o. 60 inimest. Maal suudan ma hüpata 50 cm kõrgusele. Vestal võimaldab 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.»

39. Dünamomeeter.

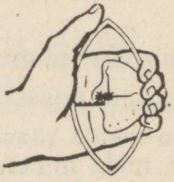
Riistu, millega mõõdetakse jõu suurust, nimetatakse dünamomeetriteks[1]. Dünamomeetri ehitus põhineb asjaolul, et *vedru elastsusjõud kasvab nii mitu korda, kui mitu korda suureneb vedru deformatsioon.*

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. 60, *a*). Osuti asukoht koormamata vedru korral märgitakse lauakesel olevale paberile. See on mõõteriista nulljaotus. Edasi riputatakse konksu otsa keha massiga $\frac{1}{9{,}8}$ kg, s. o. 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. 60, *b*). Nüüd riputatakse konksu otsa keha massiga 204 g ning märgitakse osuti uue asendi juurde 2. Viimane tähendab, et osuti sellise asendi juures

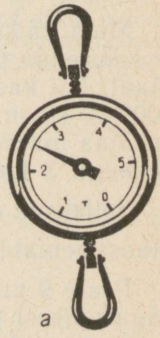
[1] Kreekakeelsetest sõnadest *dynamis* — jõud ja *metreō* — mõõdan.



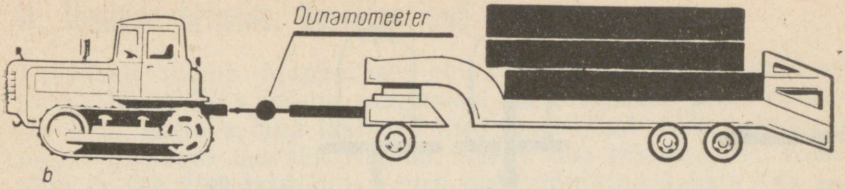
Joon. 60.



Joon. 61.



Joon. 62, a.



Joon. 62, b.

on vedru elastsusjõud 2 N. 306 g massiga koormuse abil saadakse jaotus 3 jne.

Skaalale võib kanda 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.

Lihaste jõudu käe rusikasse surumisel saab mõõta käsidünamomeetriga — jõumõõtjaga (joon. 61). 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. 62, *a*). Selliste dünamomeetritega võib mõõta mitmekümne tuhande njuutoni suurusi jõude (joon. 62, *b*).

Küsimused.

1. Missugust riista kasutatakse jõu mõõtmiseks? Millel põhineb sellise mõõteriista ehitus? 2. Kuidas valmistada lihtsat dünamomeetrit? 3. Kuidas kanda dünamomeetrit skaalale 0,1 N suurust jaotust? 4. Milleks kasutatakse jõumõõtjat?

40. Jõud kui vektor.

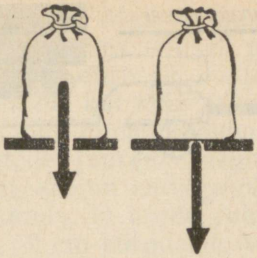
Nagu juba teame, on jõud füüsikaline suurus ning tema mõju kehale oleneb jõu suurusest. Mida tugevamalt venitatakse vedrut, seda pikemaks see venib. Mida tihedamalt on uks suletud, seda suurema jõuga tuleb seda avamisel tõugata.

Jõu mõju oleneb ka tema mõjumise suunast. Olenevalt jõu mõjumise suunast vedru kas venitatakse välja või surutakse kokku, uks avatakse või suletakse veel tihedamini.

Suurusi, millel peale arvulise väärtuse on veel ka suund, nimetatakse vektoriaalseteks suurusteks. **Jõud on vektoriaalne suurus.**



Joon. 63.



Joon. 64.

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.*

Joonisel kujutatakse jõudu sirglõiguna, mille otsas on nooleke (joon. 63). Lõigu alguspunkt *A* on jõu rakenduspunkt. 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.

Näide. Põrandal seisab viljakott massiga 50 kg. Arvutada kotile mõjuv raskusjõud ning koti kaal ja kujutada need graafiliselt.

Lahendus:

$$F = P = 9{,}8\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 50\ \text{kg} \approx 500\ \text{N}.$$

Valime mastaabi ning kujutame arvutatud jõud graafiliselt nii, nagu on toodud joonisel 64.

Küsimused.

1. Tooge näiteid, millest selgub, et jõu mõju oleneb tema arvulisest suurusest, suunast ja rakenduspunktist. 2. Miks on jõud vektoriaalne suurus? 3. Kuidas kujutatakse jõudu graafiliselt? 4. Mille poolest erinevad teineteisest graafiliselt kujutatud kehale mõjuv raskusjõud ja selle keha kaal?

Harjutus 17.

1. Kujutage joonisel teie poolt valitud mastaabis järgmised jõud: a) keha kaal 400 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. Liikumatul platvormil asetseva tellistega täidetud kasti mass on 3 t. Kujutage teie poolt valitud mastaabis kasti kaal ja kastile mõjuv raskusjõud.

41. 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. 56, *a*) mõjub kaks jõudu: raskusjõud ja vedru elastsusjõud.

Igal kirjeldatud juhul võib kehale mõjuvad mitu jõudu asendada ühe jõuga, mille mõju kehale on samasugune eespool märgitud mitme jõu kogumõjuga.

Jõudu, mille mõju kehale on samasugune kui sellele kehale üheaegselt rakendatud mitme jõu kogumõju, nimetatakse nende jõudude resultandiks.

Mitme jõu resultandi leidmist nimetatakse *jõudude liitmiseks.*

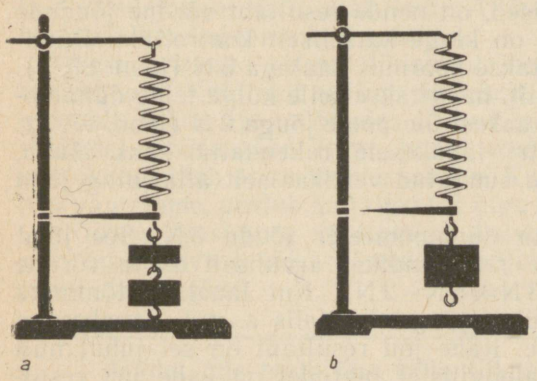
Küsimused.

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

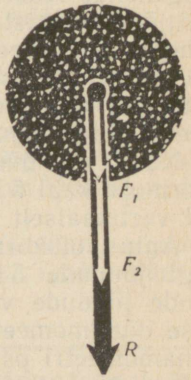
42. Kahe ühte sirget mööda mõjuva jõu liitmine.

Vaatleme, kuidas leida kahe sellise jõu resultantjõudu, mis mõjuvad kehale mööda ühte sirget ühes ja samas suunas või vastupidistes suundades.

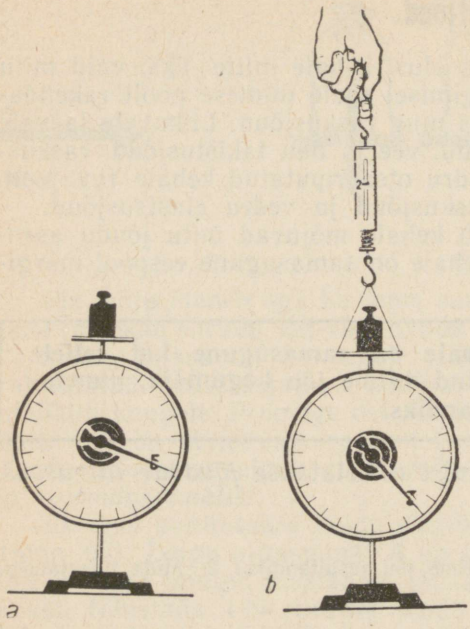
Teeme katse. Riputame vedru otsa teineteise alla kaks koormust, mille kaalud on vastavalt 1 N ja 2 N (joon. 65, *a*), ning märgime vedru pikenemise. Nüüd võtame need koormused ära ning



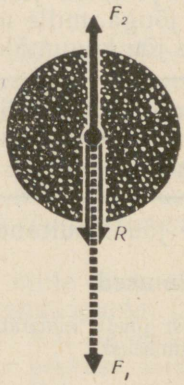
Joon. 65.



Joon. 66.



Joon. 67.



Joon. 68.

asendame ühe koormusega, mis venitab vedru niisama pikaks (joon. 65, *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 66 on kehale mõjuvad jõud märgitud tähtedega F_1 ja F_2 ning nende resultantjõud tähega R. 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. 67, *a*). Lauakese külge seotakse niit, haagitakse selle külge teine dünamomeeter ning tõmmatakse lauakest ülespoole jõuga 2 N (joon. 67, *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 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 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.

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

Joonisel 68 on kujutatud vastassuunalised liidetavad jõud F_1 ja F_2 ning nende resultant R.

Kui kehale on rakendatud kaks võrdset ja vastassuunalist jõudu, siis on nende resultant võrdne nulliga. **Kahe võrdse ja vastassuunaliselt mõjuva jõu mõjul jääb keha paigale või liigub inertsi mõjul ühtlaselt ja sirgjooneliselt.**

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? 4. Kuidas liigub keha kahe võrdse vastassuunalise jõu mõjul?

Harjutus 18.

1. 70 kg massiga inimene hoiab õlgadel 20 kg massiga kasti. Missuguse jõuga rõhub see inimene maapinnale?
2. Kõieveost võtab osa neli inimest. Kaks neist veavad köit ühes suunas jõududega 330 N ja 380 N, kaks aga vastupidises suunas jõududega 300 N ja 400 N. Millises suunas hakkab köis liikuma ning kui suure jõu mõjul?
3. Langevarjuga laskuv inimene liigub ühtlaselt. Langevarjurile ja langevarjule mõjuv raskusjõud on 700 N. Kui suur on õhu takistus? Kujutage need kaks jõudu valitud mastaabis, rakendades need jõudude mõjusirgel asuvale punktile.

43. Hõõrdejõud.

Eelmistes paragrahvides me tutvusime kahe jõuga — raskusjõu ja elastsusjõuga. Eriti laialt levinud jõuks on ka *hõõrdejõud,* mida me praktikas kohtame igal sammul.

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 ka jalgratas õige pea.

Kiiruse igasuguse muutumise, antud juhul vähenemise põhjuseks on teatavasti jõud. Järelikult mõjus kehale ka igal vaadeldud juhul mingi jõud.

Jõudu, mis tekib ühe keha liikumisel mööda teise keha pinda, nimetatakse hõõrdejõuks (joon. 69).

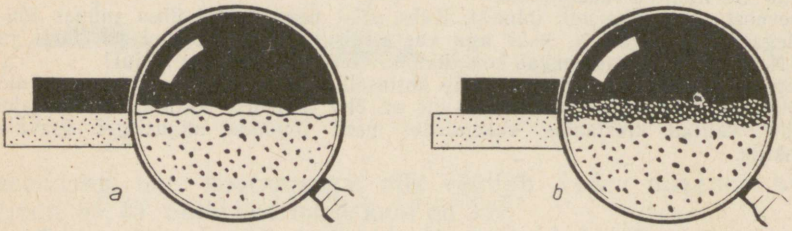


Joon. 69.

Hõõrdumise üheks põhjuseks on kokkupuutuvate pindade krobelisus. Isegi siledana näivatel pindadel on olemas ebatasasused, konarused ja kriimustused. Joonisel 70, *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.



Joon. 70.

Hõõrdumist võib mitu korda vähendada, kui paigutada hõõrduvate pindade vahele määrdekiht. Määrdekiht (joon. 70, *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.

Olenevalt hõõrduvate kehade vastastikust mõjust, räägitakse mitmest hõõrdumise liigist. Ühe keha libisemisel mööda teist räägitakse liugehõõrdumisest. Selline hõõrdumine tekib näiteks kelgu ja suuskade liikumisel mööda lund, jalataldade liikumisel mööda maapinda.

Kui aga üks keha ei libise, vaid veereb teist keha mööda, siis nimetatakse selle juures esinevat hõõrdumist **veerehõõrdumiseks**. Veerehõõrdumisega on tegemist vaguniratastе ja autorataste veeremisel, ümmarguste palkide või vaatide veeretamisel jne.

Küsimused.

1. Missugused teile tuttavad vaatlused ja katsed näitavad hõõrdumise olemasolu? 2. Missugust jõudu nimetatakse hõõrdejõuks? 3. Mis on hõõrdumise põhjuseks? 4. Kumb hõõrdumise põhjustest on enamiku praktikas esinevate hõõrdumisnähtuste juures peamine? 5. Kuidas mõjub hõõrdumisele määrimine? Selgitage seda. 6. Milliseid hõõrdumise liike te teate? 7. Millal räägitakse liughõõrdumisest? 8. Millist hõõrdumist nimetatakse veerehõõrdumiseks?

44. Millest oleneb hõõrdejõud?

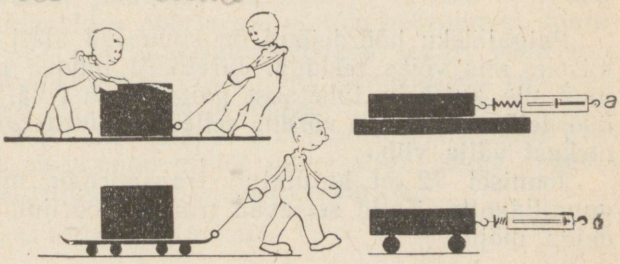
Hõõrdejõudu võib mõõta. Selleks et mõõta näiteks hõõrdejõudu, mis tekib puitklotsi libisemisel mööda lauda, on tarvis kinnitada klotsi külge dünamomeeter (joon. 71, *a*) ning vedada seda klotsi ühtlaselt mööda lauda. Mida näitab seejuures dünamomeeter? Klotsile mõjub kaks jõudu — dünamomeetri vedru elastsusjõud, 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.

Mõõtes jõudu, millega dünamomeeter mõjub ühtlaselt liikuvale kehale, saame me teada hõõrdejõu suuruse.

Mõõtmised lubavad kindlaks teha, millest oleneb hõõrdejõu suurus.

Kui asetada klotsile mingi koormus, näiteks kaaluviht, või vajutada klotsile käega ja mõõta ülalkirjeldatud viisil uuesti hõõrdejõu suurus, siis selgub, et see on suurem. *Mida suurem on jõud, mis surub keha vastu pinda, seda suurem on seejuures tekkiv hõõrdejõud.*

Kui panna klotsi alla kaks ümmargust pulgakest, siis võib mõõta hõõrdejõudu, mis tekib veeremisel (joon. 71, *b*). See osutub



Joon. 71.

väiksemaks hõõrdejõust libisemisel. Öeldut võib kinnitada lihtsa katsega. 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.

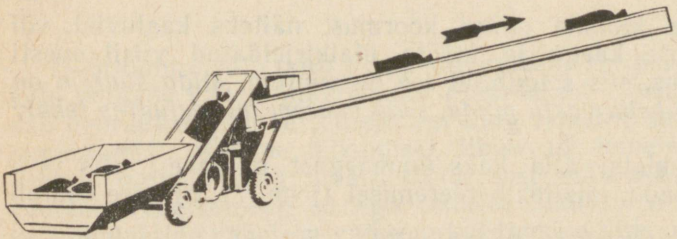
1. Kuidas saab hõõrdejõudu mõõta? 2. Kuidas näidata, et liikumisel mööda horisontaalset pinda oleneb hõõrdejõud keha kaalust? 3. Kuidas näidata katseliselt, et võrdsete raskuste korral on hõõrdejõud veeremisel väiksem kui libisemisel?

45. 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. Uurime küsimust juhul, kui keha asub paigal horisontaalsel pinnal. Seisku näiteks põrandal tool. Proovime seda edasi nihutada. 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 p a i g a l o l e k u h õ õ r d e j õ u k s.



Joon. 72.

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 72 on kujutatud transportöör, mille abil tõstetakse puuvillakotte. Kotid seisavad transportöörlindil paigaloleku hõõrdejõu mõjul.

46. Hõõrdumine looduses ja tehnikas.

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.

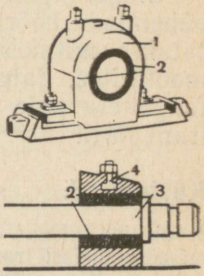
Ilma hõõrdumiseta ei suudaks ei inimesed ega loomad liikuda. Tõepoolest, käimisel me tõukame ennast jalgade abil maapinnast eemale. Kui aga hõõrdumine saapataldade ja maapinna vahel on väike, näiteks kiilasjää korral, siis on maapinnalt äratõukamine väga raske, jalad libisevad. Selleks et jalakäijad 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 (joon. 73). Talvel, kui tee on eriti libe, paigutatakse autoratastele spetsiaalsed ketid.



Joon. 73.

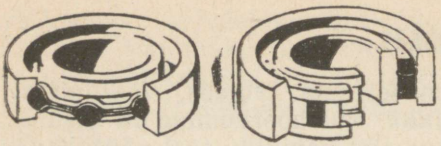


Joon. 74. Liugelaager: *1* — laagri kere; *2* — laagriliud; *3* — laagris libisev võll; *4* — määrimisava.

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.

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



Joon. 75.

Joonisel 74 on kujutatud laager, kus võll *3* pöörlemisel 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 joonisel 75. 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, vagunitelgedel ja mujal. Ilma nende laagriteta pole võimalik ette kujutada kaasaegset tööstust ega transporti.

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?

47. Molekulidevahelised jõud.

Teame, et looduses eksisteerivad sellised jõud, nagu gravitatsioonijõud, elastsusjõud ja hõõrdejõud.

Esineb veel üks eriline jõud — molekulidevaheline mõjujõud. Meenutame, et molekulid tõmbavad üksteist. Me ületame molekulidevahelist tõmbejõudu, kui rebime katki niiti, murrame katki keppi, lõhume jääd või pihustame vett. Selleks et näiteks katki rebida 1 mm² ristlõike pindalaga siidnööri, tuleb rakendada umbes 250 N suurust jõudu (riputada nööri otsa 25 kg massiga viht). Seda jõudu on vaja katkemiskohas olevate määratu suure arvu molekulide tõmbejõu ületamiseks.

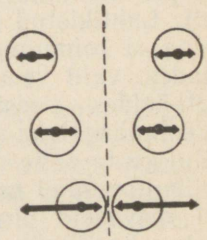
Kui molekulide vahel esinevad tõmbejõud, miks siis kõikide kehade molekulid ei lähene «tihedalt» üksteisele? Miks on vede-

likku raske kokku suruda, vaatamata sellele, et vedeliku molekulide vahel esineb külgetõmme?

See seletub asjaoluga, et **molekulide vahel eksisteerivad mitte ainult tõmbejõud, vaid ka tõukejõud.** Tõukejõud muutuvad küllalt suurteks kaugustel, mis on väiksemad kui need, mille juures mõjuvad tõmbejõud.

Vaatleme kahte molekuli, mis asuvad teineteisest kaugusel, mis on molekulide mõõtmetest mitu korda suuremad (joon. 76, ülal). Sellisel kaugusel on nendevahelised tõmbejõud väga väikesed, tõukejõud aga veel väiksemad. Molekulide lähenemisel mõlemad jõud suurenevad, kusjuures tõukejõud kasvavad kiiremini. Molekulide jõudmisel teatud kaugusele teineteisest saavad tõmbe- ja tõukejõud võrdseteks (joon. 76, keskel).

Kui molekulide lähenemine jätkub, kasvavad tõmbe- ja tõukejõud veelgi. Kuna tõukejõud kasvavad kiiremini kui tõmbejõud, siis ületavad tõukejõud tõmbejõu (joon. 76, all) ning molekulid tõukuvad teineteisest eemale.



Joon. 76.

Kumminööri venitamisel nihutatakse nööri molekulid üksteisest suurtele kaugustele. Molekulidevahelised tõmbejõud saavad suuremateks molekulidevahelistest tõukejõududest ning kui lõpetada nööri venitamine, hakkavad molekulid üksteisele lähenema ning nöör lüheneb. Nööri kokkusurumisel molekulid lähenevad üksteisele, molekulidevahelised tõukejõud saavad tõmbejõududest suuremaks ning surumise lõpetamise järel hakkavad molekulid nende jõudude mõjul uuesti eemalduma. Nöör võtab tagasi esialgse pikkuse. Seega on kumminööris tekkivate elastsusjõudude põhjuseks molekulidevahelised tõmbe- ja tõukejõud.

Küsimused.

1. Milliseid jõude te tunnete? 2. Tooge näide molekulidevaheliste tõmbejõudude ületamise kohta. 3. Miks molekulid ei lähene tihedalt üksteisele? 4. Kuidas muutuvad molekulidevahelised tõmbe- ja tõukejõud molekulide pideval lähenemisel teineteisele? 5. Miks kumminöör pärast venitamise lõppemist uuesti lüheneb ning pärast kokkusurumise lõppemist uuesti pikeneb esialgse pikkuseni?

48. Märgamine.

Täiendavaks lugemiseks.

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

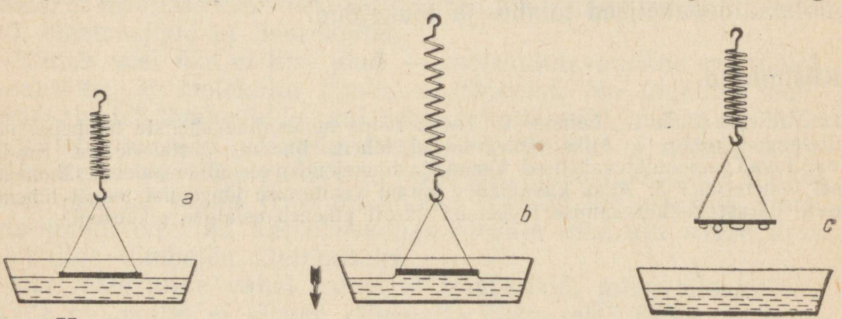
Tutvume selle nähtusega katseliselt.

Nõrga vedru otsa riputatakse horisontaalselt klaasplaat. Klaasplaadi raskuse mõjul venib vedru välja. Klaasplaadi alla asetatakse anum veega selliselt, et klaasplaat puutuks veepinda (joon. 77, *a*). Pärast seda hakatakse plaati aeglaselt ülespoole tõmbama. Seejuures ei tule klaasplaat veepinnast lahti, vaid kleepub selle külge ning vedru venib rohkem välja (joon. 77, *b*). Vedru väljavenitatuse järgi võib hinnata molekulidevahelist tõmbejõudu, mis hoiab plaati veepinnal kinni.

Kui vedru elastsusjõud saab küllalt suureks molekulaarse tõmbejõu ületamiseks, kisub vedru plaadi veepinnalt lahti (joon. 77, *c*). Lahtikistud klaasplaadi pind on seejuures märg. Lahtikiskumine ei toimunud mitte vee- ja klaasimolekulide kokkupuutekohtades, vaid veemolekulide omavahelistes kokkupuutekohtades. Teisiti öeldes — vesi märgab klaasplaati.

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), kuid märgab kulda, tsinki ja teisi aineid. Kui tilk mittemärgavat vedelikku asetada tahke keha siledale pinnale, siis võtab vedelik kera kuju (joon. 78, *b*). Märgava vedeliku tilk aga valgub mööda pinda laiali (joon 78, *a*). Seega saab märgavaid ja mittemärgavaid vedelikke üksteisest eristada tahke keha pinnale paigutatud tilkade kuju järgi. Kui anumas asub vedelik, mis anuma seinu märgab, näiteks vesi klaasnõus, siis näeme, et vedeliku pind sellise anuma seina ääres tõuseb veidi ülespoole (joon. 79, *a*). Kui vedelik aga anuma seinu ei märga, siis on vedeliku pind seina ääres natuke allapoole lange-



Joon. 77.

nud (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.

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.

49. Kapillaarsus.

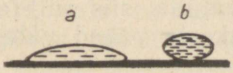
Täiendavaks lugemiseks.

Nagu teame, võib tahke keha pinnal lebava tilga kuju järgi kindlaks teha, kas vedelik keha märgab või mitte (joon. 78). Sama võib teada saada, kui vaadelda anumasse valatud pinna kuju (joon. 79.).

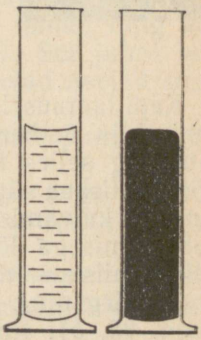
Vaatleme veel ühte nähtust, mis võimaldab teineteisest eraldada anuma seina märgavat ja mittemärgavat vedelikku. Selleks nähtuseks on k a p i l l a a r s u s.

Peenike klaastoru asetatakse märgavasse vedelikku, nimelt vette. Vesi tõuseb toru mööda üles (joon. 80). Mida kõrgemale tõuseb vedelik torus, seda raskemaks muutub vedelikusammas ning mingil kõrgusel *h* vedeliku tõusmine torus lakkab.

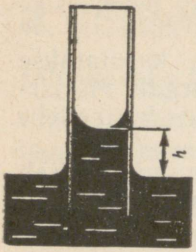
Kui asetada vette erinevate diameetritega torud, siis selgub, et mida peenem on toru, seda kõrgemale tõuseb temas vesi. (joon. 81, *a*).



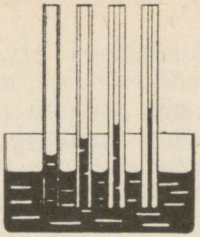
Joon. 78.



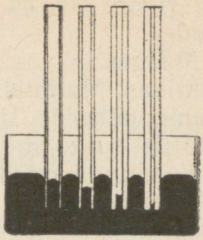
Joon. 79.



Joon. 80.



a



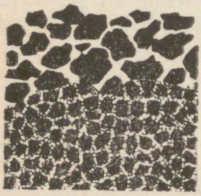
b

Joon. 81.

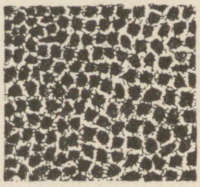
Peeni torusid, milles märgav vedelik tõuseb tunduvalt kõrgemale laias anumas olevast vedelikunivoost, nimetatakse juus- ehk kapillaartorudeks (ladinakeelsest sõnast *capillaris,* mis tähendab juus või jõhv).

Kui kapillaartoru asetada mittemärgavasse vedelikku, siis näiteks klaastoru elavhõbeda nivoo torus on madalamal vedeliku nivoost anumas (joon. 81, *b*).

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.



a



b

Joon. 82.

Kapillaarsusel (joon. 82) on väga suur tähtsus niiskuse säilitamisel ja ümberpaigutamisel pinnases. Kuival ajal pinnas kuivab ning selles 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 (joon. 82, *a*). Kui aga pinnas on väga märg ning seda on tarvis kuivatada, siis rullitakse see üle (joon. 82, *b*). 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 juurest ladvani.

50. Rõhk.

Teame, et jõu mõju oleneb jõu suurusest. Mõnikord oleneb jõu mõju aga ka selle pinna suurusest, millele jõud mõjub.

Pehmes lumes liigub inimene suure vaevaga, vajudes igal sammul sügavale lumme. Kasutades aga suuski, võib ta lumel liikuda ilma sisse vajumata (joon. 83). 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. 83.

Õpilane, kes kinnitab rõhknaeltega tahvlile ajalehte, mõjub igale rõhknaelale ühesuguse jõuga. Seejuures läheb teravama otsaga rõhknael kergemini puusse.

Selgub, et **jõu mõju suurus oleneb mitte ainult jõu suurusest, vaid ka selle pinna suurusest, millega risti ta mõjub.**

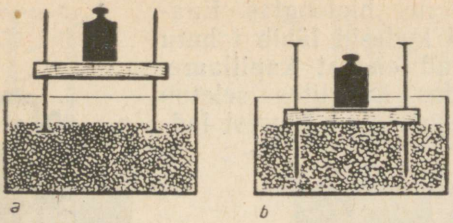
Toodud järeldust kinnitavad katsed.

Väikese lauakese nurkadesse lüüakse naelad. Nüüd asetatakse klots liivale selliselt, et naelte pead jääksid allapoole ning koormatakse mingi vihiga (joon. 84, *a*). Lauake vajub oma «jalgadega» veidi liiva sisse. Pöörame nüüd lauakese ümber ning asetame liivale naelte teravad otsad (joon. 84, *b*). Sel juhul laua toetuspindala väheneb ning sama jõu mõjul vajuvad naelad sügavale liiva sisse.

Sellest, missugune jõud mõjub toetuspinna igale pinnaühikule, oleneb jõu mõju toetuspinnale.

Vaadeldud juhtudel mõjus jõud risti keha pinnaga. Inimese kaal oli risti lume pinnaga, rõhknaelale mõjuv jõud risti rõhknaela pea pinnaga.

Suurust, mis on arvuliselt võrdne pinnaühikule risti mõjuva jõuga, nimetatakse rõhuks.



Joon. 84.

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

Kuna rõhk on jõud, mis mõjub ühele pindalaühikule, siis tuleb rõhu arvutamiseks jõu suurus jagada pinna suurusega, millele jõud mõjub:

$$\boxed{\text{rõhk} = \frac{\text{jõud}}{\text{pindala}} \quad \text{ehk} \quad p = \frac{F}{S}},$$

kus p on rõhk, F — pinnale mõjuv jõud ja S — pinna suurus.

N ä i d e. Arvutame rõhu, mida avaldab põrandale poiss massiga 45 kg, kui tema saapataldade pindala on 300 $cm^2 = 0{,}0300\ m^2$. Poisi kaal $P = 45\ kg \cdot 9{,}8\frac{N}{kg} \approx 450$ N. Rõhk, mida poiss avaldab põrandale, on

$$\frac{450\ N}{0{,}0300\ m^2} = 15\,000\frac{N}{m^2}.$$

Teades rõhku võib arvutada pinnale mõjuva jõu. Seda jõudu nimetatakse r õ h u m i s j õ u k s. Rõhk näitab, missugune jõud mõjub pinnaühikule. Järelikult on rõhumisjõud pinnale (toetuspinnale) võrdne rõhu ja pinna suuruse korrutisega.

Küsimused.

1. Tooge näiteid, millest selgub, et jõu mõju oleneb selle pinna suurusest, millele ta mõjub. 2. Miks suuskadel seisev inimene ei vaju lumme? 3. Miks läheb terav rõhknael kergemini puusse kui nüri? 4. Missuguse katsega saab näidata, et jõu mõju oleneb toetuspinna suurusest? 5. Mida nimetatakse rõhuks? 6. Kuidas arvutatakse rõhku? 7. Kuidas saab rõhu kaudu teada toetuspinnale mõjuva jõu suuruse?

51. 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 jõud.

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.

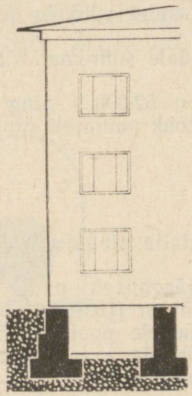
Selleks et maapind suudaks taluda ehitatava maja rõhku, suurendatakse vundamendi alumise osa pindala (joon. 85).

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

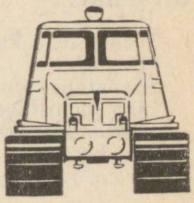
Raske traktor, mille roomikute toetuspindala on suur (joon. 86), võib sõita isegi sellises soises kohas, kus ratsanik läbi ei pääse.

Hiiglaslik mullatöömasin — sammuv ekskavaator ЭШ90/14, mille mass on 1150 t — toetub metallbaasile (plaadile), mille diameeter on 14 m. Tänu sellisele suurele toetuspinnale avaldab ekskavaator maapinnale ainult 2 korda suuremat rõhku kui inimene.

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



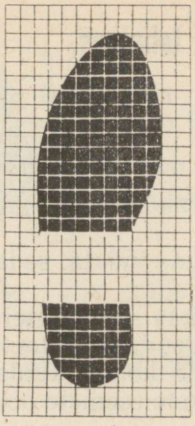
Joon. 85.



Joon. 86.



Joon. 87.



Joon. 88.

Rõhknaela 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.

Küsimused.

1. Kuidas kasutatakse tehnikas suurt pindala rõhu vähendamiseks? 2. Miks tehakse põllumajandusmasinate põiad hästi laiad? 3. Miks avaldavad lõikavad ja torkavad esemed kehale suurt rõhku?

Harjutus 19.

1. Vaadelge näpits- ja naelatangide ehitust (joon. 87). Kumma tööriistaga saab sama jõu juures avaldada tangide vahele võetud esemele suuremat rõhku?
2. Miks kinnitatakse kõvaks kuivanud põldude äestamisel äkete külge raskeid esemeid?
3. Millal avaldab inimene põrandale suuremat rõhku, kas seismisel või käimisel?
4. Roomiktraktori ДТ-54 kaal on 52 000 N ning mõlema roomiku toetuspind 1,24 m². Leidke selle traktori rõhk pinnasele ning võrrelge seda rõhuga, mida te avaldate käimisel.

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. 88). Lugege kontuuri sisse jäävate täisruutude arv ning lisage sellele pool poolikute ruutude arvust. Saadud arv korrutage ühe ruudu pindalaga (ruudulise vihiku ruudu pindala on 1/4 cm²). Nii saate talla pindala.

2. Mõõtke tellise pikkus, laius ja kõrgus. Määrake tellise ruumala. Leidke tabelist tellise tihedus ja arvutage tellise mass ja seejärel kaal. Arvutage tellise külgede pindalad.
Määrake rõhk, mida avaldab tellis, kui ta seisab kõige suuremal tahul. Milline on rõhk, kui tellis asetada keskmisele tahule? kõige väiksemale tahule?

52. Gaasi rõhk.

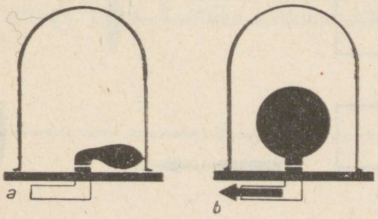
Me teame, et erinevalt tahketest kehadest ja vedelikest täidab gaas alati terve anuma. Nii on ühtlaselt gaasiga täidetud terasest gaasiballoon, auto õhukumm või võrkpalli sisekumm. Seejuures avaldab gaas ballooni, kummi või mistahes teise anuma seintele rõhku.

Vaatleme järgmist katset. Õhuhõrenduspumba kupli alla paigutatakse kinnine võrkpallikumm, milles on vähe õhku (joon. 89, *a*). Kummil on ebakorrapärane kuju. Nüüd hakatakse õhku kupli alt välja pumpama. Seejuures paisub pallikumm pidevalt ning võtab kera kuju (joon. 89, *b*).

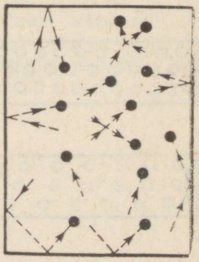
Kuidas seletada seda katset? On teada, et gaasi molekulid liiguvad korrapäratult kiirustega, mis on lähedased püssikuuli kiirusele. Oma teel põrkuvad molekulid teiste molekulide, aga samuti ka selle anuma seinte vastu, kus gaas asub.

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. 90). 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. Tavalises kokkusurumata õhus väljendub ühes sekundis anuma seina igale ruutsentimeetrile tulevate molekulide põrgete arv 23-kohalise arvuga. See on määratu 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. Kõikide molekulide sellise hulga löökide resultant on küllalt suur. Need vahetpidamatult järgnevad löögid põhjustavadki rõhu anuma seintele.



Joon. 89.



Joon. 90.

Pöördume katse juurde tagasi ning uurime seda üksikasjaliselt. Selle katse juures pommitavad õhu molekulid vahetpidamatult õhukummi seinu nii seest- kui ka väljastpoolt. 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 seni, kuni kummist kesta elastsusjõud pole saanud võrdseks gaasi rõhumisjõuga. Õhukummi ümar 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.

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?

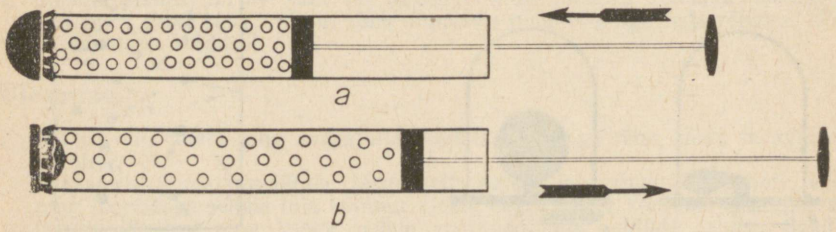
53. Millest oleneb gaasi rõhk?

On silmanähtav, et mida sagedamini löövad molekulid vastu anuma seina, seda suuremat rõhku nad seinale avaldavad.

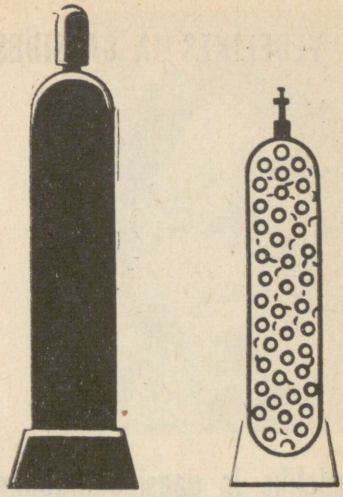
Kui gaasi ruumala vähendada nii, et tema mass jääb muutmatuks, siis on gaasi igas kuupsentimeetris rohkem molekule. Gaasi tihedus suureneb. Molekulide löögid anuma seina vastu tihenevad, seega tõuseb gaasi rõhk.

Joonisel 91 on kujutatud klaastoru, mille üks ots on suletud õhukese kummikilega. Torusse on paigutatud kolb. Kolvi surumisel torusse õhu ruumala torus väheneb, s. o. gaas surutakse kokku (joon. 91, *a*). Kummikile paindub seejuures väljapoole, näidates sellega, et õhu rõhk torus suurenes.

Vastupidiselt, antud gaasimassi ruumala suurendamisel väheneb molekulide arv gaasi ühes kuupsentimeetris ning väheneb ka löökide arv vastu seina — gaasi rõhk väheneb. Tõepoolest, kolvi väljatõmbamisel silindrist (joon. 91, *b*) õhu ruumala torus suureneb ning kummikelme väljapoole paindumine väheneb. Täpselt



Joon. 91.



Joon. 92.

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.**

Kuidas aga muutub gaasi rõhk, kui soojendada seda konstantse ruumala juures? Teame, et molekulide liikumise kiirus gaasi temperatuuri tõusmisel suureneb. Liikudes kiiremini põrkavad molekulid anuma seinte vastu tihedamini. Seejuures on iga molekuli löök vastu seina tugevam. Järelikult, **ühe ja sama gaasimassi rõhk on seda suurem, mida kõrgem on selle gaasimassi temperatuur.**

Gaaside hoidmiseks ja transportimiseks surutakse nad tugevasti kokku ning suletakse spetsiaalsetesse terasballoonidesse (joon. 92). Sellistes balloonides hoitakse suruõhku allveelaevades, hapnikku, mida kasutatakse keevitamisel, süsihappegaasi, mida kasutatakse gaseeritud vee valmistamisel, ja paljusid teisi gaase.

Küsimused.

1. Miks gaasi rõhk kokkusurumisel suureneb ja paisumisel väheneb? 2. Millal on gaasi rõhk suurem, kas madalama või kõrgema temperatuuri juures? Selgitage, miks. 3. Miks hoitakse kokkusurutud gaase vastupidavates balloonides?

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

54. 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, näiteks voolab mööda torujuhet «Sõprus» nõukogude nafta Volga äärest sotsialismimaadesse — Poolasse, Tšehhoslovakkiasse, Ungarisse ja Saksa Demokraatlikku Vabariiki. Torujuhtmeid mööda liigub gaas Saraatovi oblastist Moskvasse ja teistesse linnadesse.

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.

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?

---

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



Blaise Pascal (1623—1662) — nimekas prantsuse teadlane. Ta avastas ja uuris gaaside ja vedelike tähtsamaid omadusi. Tegi katseid atmosfääri olemasolu tõestamiseks.

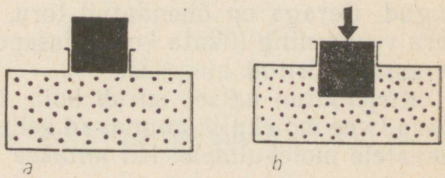
55. Rõhu edasiandmine vedelikes ja gaasides. Pascali seadus.

Erinevalt tahketest kehadest võivad vedelike ja gaaside üksikud kihid ja osakesed üksteise suhtes vabalt igas suunas nihkuda. On näiteks küllalt nõrgast puhumisest klaasis oleva vee pinnale, et seda vett liikuma panna; jõe- või järvepinnal tekib virvendus juba õige nõrga tuulega.

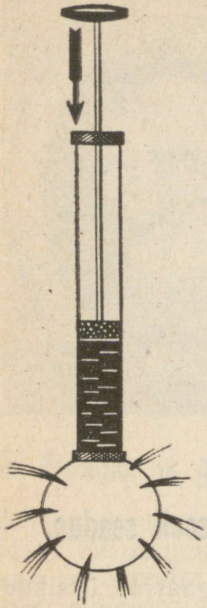
Vedeliku ja gaasi osakeste vaba liikumisega seletub asjaolu, et vedelikule või gaasile avaldatav rõhk antakse edasi mitte ainult jõu mõjumise suunas, vaid kõikides suundades. Uurime seda nähtust lähemalt.

Joonisel 93 on kujutatud anum, milles on vedelik või gaas. Anum on suletud kolviga, mida võib liigutada. Punktikestega on joonisel märgitud vedeliku või gaasi osakesed. Osakesed on ühtlaselt jaotunud kogu anuma ruumalas (joon. 93, *a*).

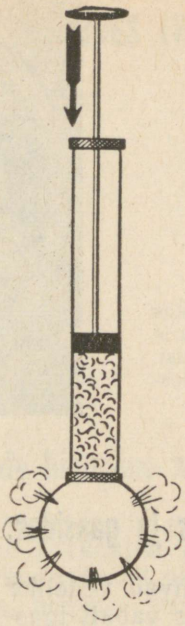
Rakendades mingisugust jõudu, sunnime kolbi liikuma veidi anuma sisse ning avaldama seejuures rõhku vahetult kolvi all olevatele molekulidele. Selle tulemusena paigutuvad molekulid kolvi läheduses veidi tihedamalt kui varem. Tänu osakeste liikuvusele ei saa need ühes kohas asuda tihedamalt kui teises. Seepärast muutub osakeste paigutus uuesti ühtlaseks, kuid tihedamaks, kui enne jõu rakendamist kolvile (joon. 93, *b*).



Joon. 93.



Joon. 94.



Joon. 95.



Joon. 96. Pudeli valmistamine: *1* — toru; *2* — klaas; *3* — vorm.

Siit järgneb, et täiendav rõhk mõjub 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.

Vedelikule või gaasile avaldatav rõhk antakse ilma muutusteta edasi vedeliku või gaasi igasse punkti.

Seda lauset nimetatakse P a s c a l i s e a d u s e k s.

Pascali seadust on kerge kontrollida rea lihtsate katsetega.

Joonisel 94 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 annnavad selle rõhu edasi teistele, sügavamal olevatele molekulidele. Nii antakse rõhk edasi kõigile keras oleva-

tele 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. 95). See kinnitab, et ka gaasid annavad neile avaldatava rõhu edasi igas suunas ühtemoodi.

Küsimused.

1. Kuidas annavad rõhku edasi vedelikud ja gaasid? 2. Millega seletub see, et vedelikud ja gaasid annavad rõhu edasi igas suunas ühteviisi? 3. Sõnastage Pascali seadus. 4. Millise katsega saab 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. 96). Missugust füüsikalist nähtust selle protsessi juures kasutatakse?
4. Valmistage seebivett ning puhuge klaastoru abil sellest seebimulle. Millise kujuga need mullid on? Miks?

56. Hüdrauliline masin.

Pascali seadusel põhineb hüdraulilise[1] masina ehitus.

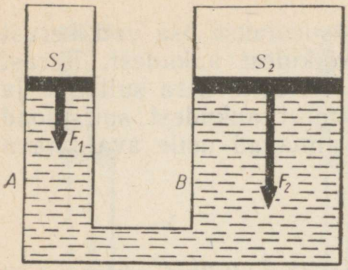
Hüdraulilise masina põhiosaks on kaks erineva diameetriga silindrit, mis on omavahel toru abil ühendatud (joon. 97). Silindrites liiguvad tihedalt kolvid. Kolbidealune ruum täidetakse harilikult õliga (kõige sagedamini kasutatakse selleks mineraalõli.) Tasakaalu korral on vedelikusambad A ja B mõlemas silindris ühekõrgused.

Olgu väiksema kolvi pindala S_1 ja suurema pindala S_2. Mõjume väiksemale kolvile jõuga F_1. Arvutame välja jõu F_2, millega tuleks mõjuda suuremale kolvile, et tasakaalustada F_1 mõju.

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

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

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



Joon. 97.

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:

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

Jagades võrdused (2) ja (1) saame:

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

Suhet $\frac{F_2}{F_1}$, mis näitab, kui mitu korda on jõud F_2 suurem jõust F_1, nimetatakse *võiduks jõus.*

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.

N ä i d e. Väiksema kolvi pindala $S_1 = 10$ cm², suurema kolvi pindala $S_2 = 100$ cm². Väiksemale kolvile mõjub jõud $F_1 = 10$ N. Kui suure jõuga tuleb mõjuda suuremale kolvile, et kolvid jääksid tasakaalu? Hõõrdumist mitte arvestada.

Kirjutame võrduse

$$\frac{F_2}{10\ \text{N}} = \frac{100\ \text{cm}^2}{10\ \text{cm}^2},$$ millest $F_2 = 100$ N.

Küsimused.

1. Millist seadust kasutatakse hüdraulilises masinas? 2. Kui suure võidu jõus annab hüdrauliline masin (hõõrdumise puudumise korral)?

Harjutus 21.

1. Hüdraulilise masinaga me võidame jõus. Milles me aga seejuures kaotame? Mõelge selle küsimuse üle.
2. Kas võib ehitada hüdraulilise masinaga analoogilise seadme, milles aga vedeliku asemel oleks õhk? Põhjendage vastust.

57. Hüdrauliline press.

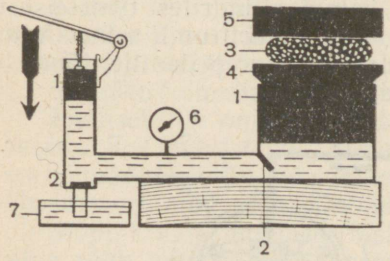
Täiendavaks lugemiseks.

Pressimiseks kohandatud hüdraulilist masinat nimetatakse hüdrauliliseks pressiks (joon. 98).

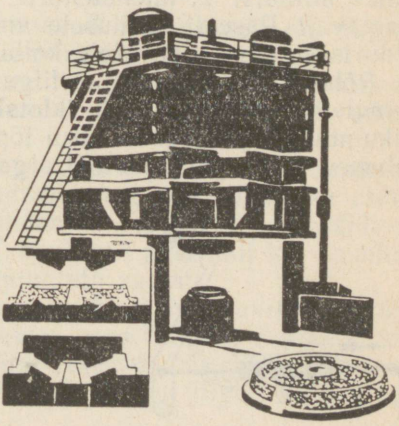
Pressitav keha paigutatakse suure kolvi külge kinnitatud platvormile. Kolvi tõusmisel surutakse keha liikumatu ülemise platvormi ja kolvi küljes oleva platvormi vahele ning surutakse kokku.

Vedeliku ümberpaigutamine väikesest anumast suuremasse ei toimu hüdraulilises pressis mitte korraga nagu hüdraulilises masinas, vaid väiksema kolvi korduva edasi-tagasi liikumisega, s. o. pumpamisega. See toimub järgmiselt. Väikese kolvi ülestõstmisel tungib kolvialusesse ruumi vedelik anumast *7*. Seejuures on klapp *2* avatud, klapp *2'* aga vedeliku surve tõttu suletud. Väikese kolvi allalükkamisel sulgub klapp *2*, avaneb aga klapp *2'* ning vedelik lükatakse suurde anumasse. 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.

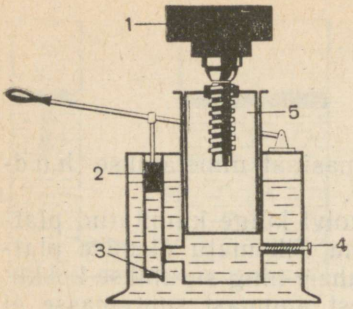
Kaasaegsed hüdraulilised pressid võimaldavad saada kümnete ja sadade miljonite njuutonite suurusi jõude. Suure hüdraulilise pressi välisvaade on kujutatud joonisel 99. Selle pressi suur silinder on paigutatud vertikaalselt ning kolb liigub allapoole. Pressi väike kolb (joonisel ei ole seda näidatud) pannakse liikuma elektrimootoriga.



Joon. 98. Hüdraulilise pressi ehitus: *1* — väike ja suur silinder kolbidega; *2* — klapid; *3* — pressitav keha; *4* — platvorm; *5* — ülemine platvorm; *6* — manomeeter; *7* — vedelikuanum.



Joon. 99.



Joon. 100. Hüdraulilise tungraua skeem: *1* — tõstetav keha; *2* — väike kolb; *3* — klapid; *4* — koormuse allalaskeklapp; *5* — suur kolb.

Harjutus 22.

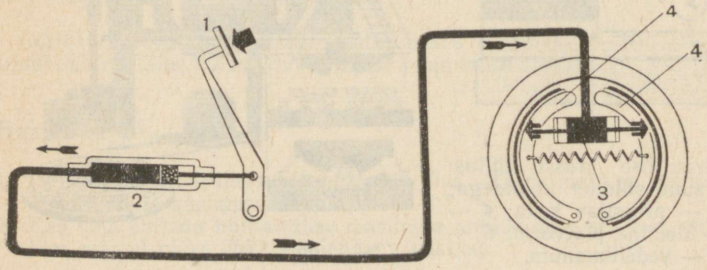
1. Hüdraulilise masina suure kolvi pindala on 240 cm², väikese kolvi pindala aga 12 cm². Kui suure jõuga tuleb hõõrdumise puudumise korral mõjuda väikesele kolvile, et saada suure kolvi abil jõudu 9000 N?
2. Joonisel 100 on toodud hüdraulilise tungraua (tõstuki) lihtsustatud skeem. Kui suurt raskust saab tõsta selle seadmega, kui väikese kolvi pindala on 1,2 cm², suure kolvi pindala aga 1440 cm² ning väikesele kolvile võib mõjuda jõuga kuni 1000 N? Hõõrdumist mitte arvestada.
3. Hüdraulilise pressi väikese kolvi pindala on 5 cm², suure kolvi pindala aga 500 cm². 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?

58. Hüdrauliline pidur.

Täiendavaks lugemiseks.

Auto hüdraulilise piduri ehituse skeem on toodud joonisel 101. Kui juht vajutab pedaalile *1*, siis avaldab silindris *2* olev kolb rõhku silindrit *2*, ühendustoru ja silindrit *3* täitvale vedelikule. Vastavalt Pascali seadusele antakse see rõhk muutmatult edasi pidurisilindris *3* asuvatele kolbidele.

Rõhumisjõudude mõjul liiguvad kolvid silindrites teineteisest eemale ning suruvad piduriklotsid *4* vastu piduritrumli seinu. Auto liikumine on pidurdatud. Kui lõpetada surumine pedaalile, tõmbab lühenev vedru piduriklotsid algasendisse tagasi.



Joon. 101.

59. Pneumaatilised masinad ja instrumendid.

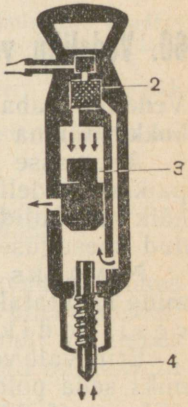
Täiendavaks lugemiseks.

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

Suruõhku kasutatakse näiteks neetimis- ja lahtiraiumisvasarates (joon. 102). Joonisel 103 on toodud suruõhuvasara ehituse skeem. Suruõhku saab vasar vooliku *1* kaudu. Jaotusseade *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 sõesse ja murrab sellest tükke.



Joon. 102.



Joon. 103.

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

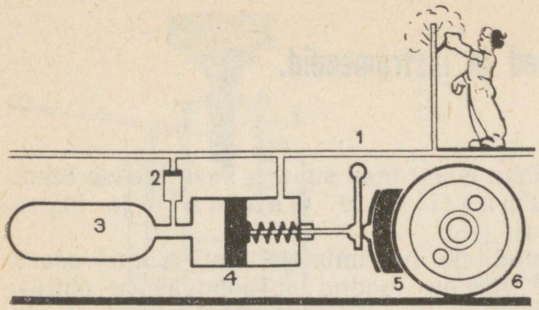
Sageli võib töötamas näha seinte värvimisel kasutatavaid spetsiaalseid suruõhuseadmeid. Nendes seadmetes kannab pihustatud värvi seintele suruõhk.

Suruõhu toimel avanevad metroovagunite ja trollibusside uksed.

Joonisel 104 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 pidurisilindri parempoolses osas langeb. Suruõhk, mis asub silindri vasakpoolses osas ning reservuaaris, väljuda ei saa, sest seda takistab vastav klapp. Suruõhu mõjul liigub kolb silind-

[1] Pneumaatilistes masinates on töötavaks kehaks kokkusurutud gaas.



Joon. 104. Raudteevaguni pidurdussüsteemi skeem: *1* — suruõhumagistraal; *2* — klapp; *3* — reservuaar; *4* — pidurisilinder; *5* — piduriklots; *6* — vaguni ratas.

ris paremale ning surub piduriklotsi vastu ratast, pidurdades sellega vaguni liikumist.

Magistraaltoru täitmisel suruõhuga suruvad vedrud piduriklotsid ratastest eemale.

Stopp-kraan on olemas igas vagunis.

60. Vedeliku vaba pind.

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

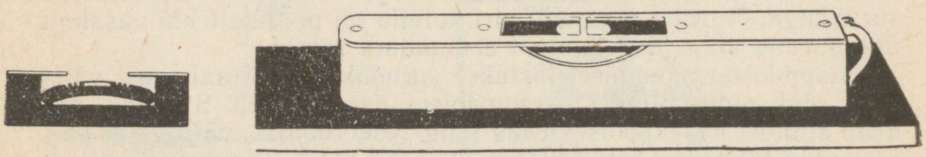
Anumasse kallatud vedelikule mõjub raskusjõud. Selle mõjul paikneb vedelik kõrgematest kohtadest madalamatesse seni, kuni kõik molekulid, mis moodustavad vedeliku vaba pinna, on paiknenud ühesugusele kõrgusele ehk ühele nivoole.

N i v o o k s nimetatakse mistahes horisontaalset pinda. Riista, mida kasutatakse pinna horisontaalsuse määramiseks, nimetatakse v e s i l o o d i k s ehk v a a d e r p a s s i k s (joon. 105).

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

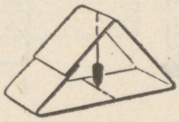
Küsimused.

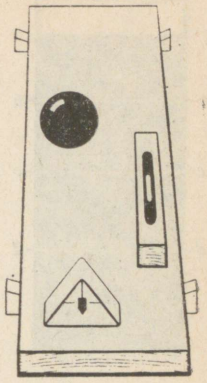
1. Missugust vedeliku pinda nimetatakse vedeliku vabaks pinnaks? 2. Kuidas selgitada, et küllalt laias anumas on vedeliku pind horisontaalne? 3. Kuidas nimetatakse riista, mida kasutatakse pinna horisontaalsuse kontrollimiseks? 4. Millega seletub vaba pinna puudumine gaasidel?



Joon. 105.

Joon. 106.





Joon. 107.

Ülesanne.

1. Kontrollige püstloodi ja täisnurkse kolmnurga abil vedelikupinna horisontaalsust anumas. Tehke joonis.
2. Joonisel 106 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. 107).
   Paigutage vineeri- või lauatükile teraskuul. Kui alus on tõesti horisontaalne, siis kuul veerema ei hakka.

61. Raskusjõu mõjul vedelikus ja gaasides 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.

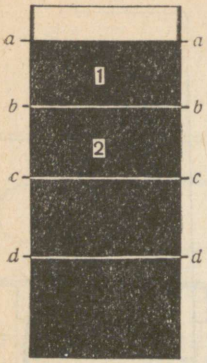
Vaatleme kõigepealt, kuidas jaguneb rõhk vedelikus, millele mõjub raskusjõud.

Joonisel 108 on kujutatud silindriline anum vedelikuga.

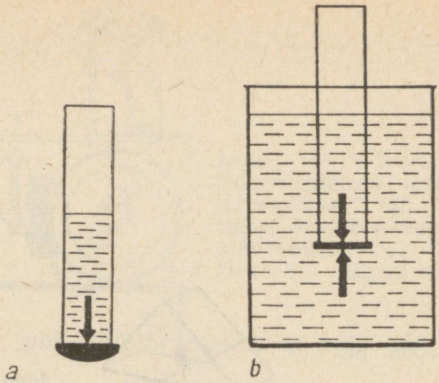
Kujutleme, et kogu see vedelikusammas anumas koosneb õhukestest kihtidest, mis on üksteisest eraldatud pindadega *bb, cc, dd* jne. Horisontaalpind *aa* on vedeliku vaba pind.

Ei ole raske mõista, et vedeliku tasakaalu korral 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.



Joon. 108.



Joon. 109.

Oma kaalu poolt kokkusurutud vedelik avaldab rõhku anuma põhjale ja seintele ning iga vedelikku asetatud keha pinnale. Selles võib veenduda ka katseliselt.

Alt õhukese kummikilega suletud klaastorusse valatakse vett. Kummikilest põhi venib välja (joon. 109, *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 väljavenitamist jääb aga vesi torus tasakaalu (paigale), sest peale raskusjõu mõjub veele elastsusjõud.

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

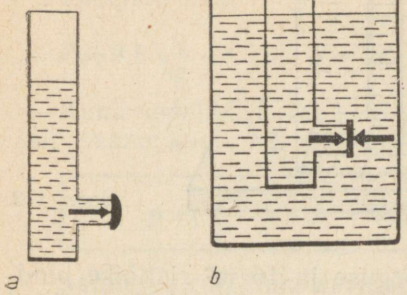
Laseme kummikilest põhjaga vett täis toru laiemasse veega täidetud anumasse (joon. 109, *b*). Mida sügavamale laseme toru, seda väiksemaks muutub kummikile deformatsioon. Kummikile täielik sirgestumine tähendab, et rõhud kilele ülalt ja alt on ühesugused. Järelikult eksisteerib vedelikus rõhk alt üles. Antud sügavuses on see rõhk võrdne rõhuga ülalt alla.

Sama katse võib teha toruga, kus kummikilega on kaetud külgava, nii nagu on näidatud joonisel 110, *a*.

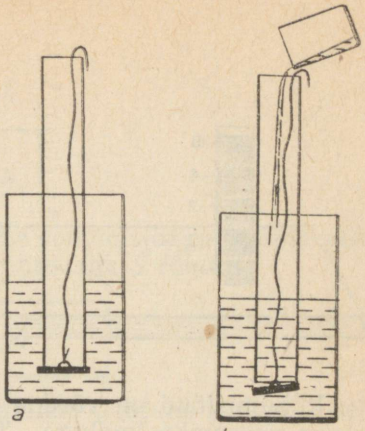
Kui sellisesse torusse valada vett, siis venib kile väljapoole. Väljavenimine on seda suurem, mida kõrgem on vedelikusammas kile kohal.

Kui lasta see toru veega täidetud anumasse nii, nagu see on kujutatud joonisel 110, *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.

Väga näitlik on katse anumaga, mille põhi võib ära langeda. Selline anum paigutatakse veega täidetud purki (joon. 111, *a*). Vee rõhk alt üles surub plaadikese tihedalt vastu silindri otsa. Nüüd valatakse silindrisse ettevaatlikult vett. Põhi eemaldub silindri



Joon. 110.



Joon. 111.

otsast, kui vee tase silindris ühtib vee tasemega anumas (joon. 111, *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.

Ülalkirjeldatud katsed tehti veega. Pole raske veenduda, et samale järeldusele jõuaksime ka siis, kui vee asemel kasutada mõnda teist vedelikku.

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 vedeliku tihedusest sadu kordi väiksem. Anumas oleva gaasi kaal on väike ning raskusest tingitud rõhu võib seepärast paljudel juhtudel jätta arvestamata.

Küsimused.

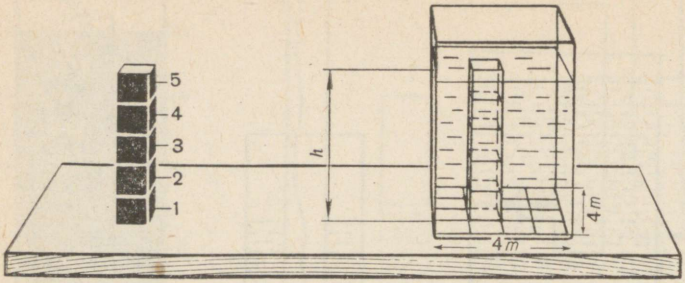
1. Kuidas näidata katseliselt, et rõhk raskes vedelikus on erinevatel kõrgustel erinev, ühel ja samal kõrgusel aga kõigis punktides ühesugune? 2. Miks paljudel juhtudel ei arvestata gaasi kaalust tingitud rõhku gaasis?

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

Vaatleme, kuidas arvestada vedeliku rõhku ja rõhumisjõudu anuma põhjale ja seinale.

Lahendame kõigepealt arvulise näite.

Risttahukakujuline paak on täidetud veega (joon. 112). Põhja pindala on 16 m^2, kõrgus 5 m. Arvutame rõhumisjõu ja rõhu anuma põhjale.



Joon. 112.

Rõhumisjõud on võrdne 5 m kõrguse ja 16 m² ristlõike pindalaga veesamba kaaluga. Teisiti öeldes — rõhumisjõud paagi põhjale on võrdne paagis oleva vee kaaluga.

Vee kaalu leidmiseks arvutame veesamba ruumala ja massi. Vee ruumala paagis saame, kui korrutame paagi põhja pindala kõrgusega:

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

Vee massi arvutamiseks tuleb vee tihedus korrutada ruumalaga. Vee tihedus $\varrho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Antud vee mass

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

Teame, et keha massiga 1 kg kaalub 9,8 N $\left(9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}\right)$. Selleks et leida vee kaal, tuleb vee mass korrutada $9{,}8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Vee kaal paagis on aga võrdne rõhumisjõuga paagi põhjale. Järelikult rõhumisjõud paagi põhjale on

$$9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 80\,000\ \text{kg} \approx 800\,000\ \text{N}.$$

Rõhk on teatavasti arvuliselt võrdne jõuga, mis mõjub pinna ühele ühikule (vt. § 50).

Jagades vee rõhumisjõu paagi põhja pindalaga, saame rõhu p:

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

Rõhu anuma põhjale võib arvutada valemi abil. Viimane on tunduvalt lihtsam. Vajaliku valemi tuletamiseks pöördume ülesande juurde tagasi ning lahendame selle üldisel kujul.

Märgime vedelikusamba kõrguse anumas tähega h, vedeliku tiheduse tähega ϱ ja anuma põhja pindala tähega S.

Vedelikusamba ruumala $V=Sh$.
Vedeliku mass $m=\varrho V$ ehk $m=\varrho Sh$.
Vedeliku kaal

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

Kuna vedelikusamba kaal on võrdne rõhumisjõuga anuma põhjale, saame kaalu P jagamisel põhja pindalaga S rõhu p:

$$p=\frac{P}{S} \text{ ehk } p=9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}\cdot \varrho h.$$

Saime valemi rõhu arvutamiseks anuma põhjale. Valemist selgub, et

vedeliku rõhk anuma põhjale on võrdeline vedeliku tihedusega ja vedelikusamba kõrgusega.

Rõhu valemis ei ole anuma põhja pindala, rõhk ei olene põhja suurusest. Saadud valem võimaldab arvutada ka rõhku anuma seinale. Sel juhul tuleb vedelikusamba kõrguseks võtta vedeliku vaba pinna kaugus sellest nivoost, mille juures olevale seinale mõjuvat rõhku tahetakse arvutada.

Sama valemi abil saab arvutada ka rõhku vedeliku sees, kaasa arvatud rõhk alt üles.

Rõhu arvutamisel valemi

$$p=9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}\cdot \varrho h$$

abil tuleb tihedus ϱ väljendada $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$-tes ja kõrgus h meetrites. Sel juhul saame rõhu $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m^2}}$-tes.

N ä i d e. Arvutada nafta rõhk tsisterni põhjale, kui naftasamba kõrgus tsisternis on 10 m ja nafta tihedus $800\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$.

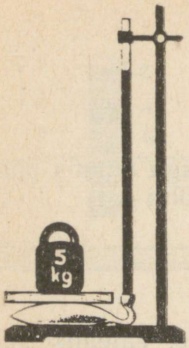
A n t u d:
$h=10$ m
$\varrho=800\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$

L a h e n d u s:
Paigutame valemisse arvulised väärtused. Saame:
$p=9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}\cdot 800\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}\cdot 10\ \mathrm{m}\approx 80\,000\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m^2}}$.

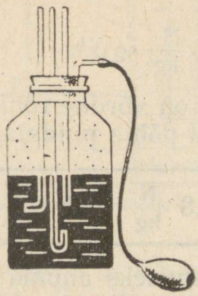
Leida p.

Küsimused.

1. Kuidas oleneb vedeliku rõhk anuma põhjale vedelikusamba kõrgusest? 2. Kuidas oleneb rõhk anuma põhjale vedeliku tihedusest? 3. Milliseid suurusi on tarvis teada, et arvutada rõhku anuma külgseinale? 4. Missuguse valemi järgi arvutatakse rõhku anuma põhjale ja seintele?



Joon. 113.



Joon. 114.

Harjutus 23.

1. Leidke rõhumisjõud ühele ruutmeetrile 0,6 m sügavuses vees, petrooleumis, elavhõbedas.
2. Arvutage vee rõhumisjõud ühele ruutmeetrile maailma ühes suuremas merevagumuses, mille sügavus on 10 900 m. Merevee tihedus on $1030\frac{kg}{m^3}$.
3. Arvutage rõhumisjõud allveelaeva aknale, mis on 200 m sügavuses ning mille pindala on 7,5 dm^2.
4. Joonisel 113 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.

Ülesanne.

1. 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. 115).

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?

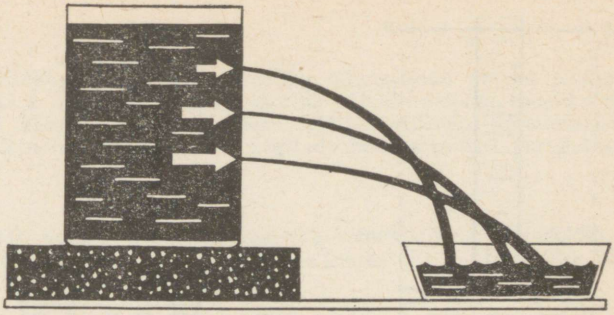
2. Joonisel 114 on kujutatud klaaspurk, mis on osaliselt täidetud veega, ülejäänud osas aga täidetud õhuga. Purk on tihedalt suletud korgiga, millest on läbi pandud neli klaastoru. Kolm neist on paigutatud vette, neljas, mis vette ei ulatu, on ühendatud kummiballooniga. Kaks vette ulatuvat toru on painutatud 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.



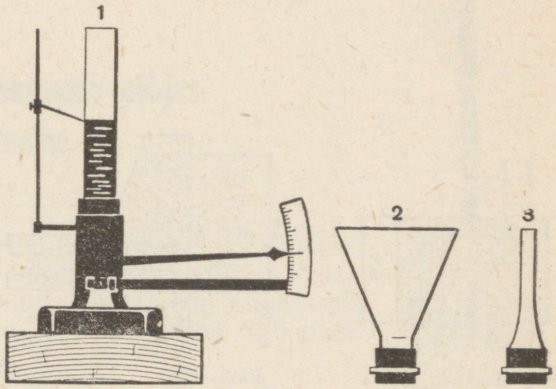
Joon. 115.

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

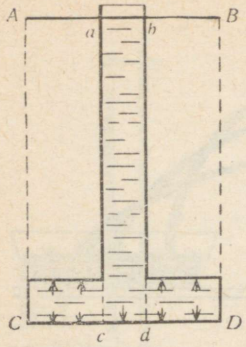
Eelmises paragrahvis räägiti, et vedeliku rõhumisjõud silindrilise anuma põhjale oleneb põhja pindalast, vedelikusamba kõrgusest ja vedeliku tihedusest. Kuid kas oleneb rõhumisjõud ka anuma kujust? Sellele küsimusele vastamiseks teeme katse.

Joonisel 116 on kujutatud katseriist, millel on mitu 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.

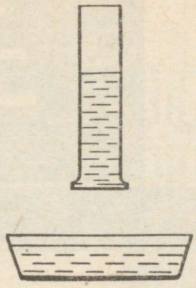
Anumad keeratakse üksteise järel katseriista metallalusele. Kõigisse neisse kallatakse ühesuguse kõrguseni vett. Veehulk anumates on seejuures erinev, erinevad on muidugi ka veehulkade kaalud. Katseriista osuti aga võtab iga anuma korral ühe ja sama asendi. Järelikult on vee rõhumisjõud kõigi kolme anuma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



Joon. 116.



Joon. 117.

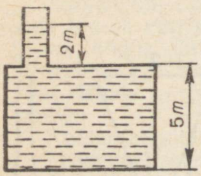


Joon. 118.

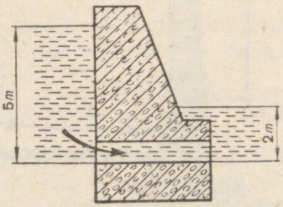
Kuigi see järeldus on saadud katsest, tundub ta esimesel pilgul ebatõenäolisena, paradoksaalsena. Eriti imelikuna tundub see, et vesi kolmandas anumas rõhub põhjale oma kaalust suurema jõuga.

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. 117). 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.

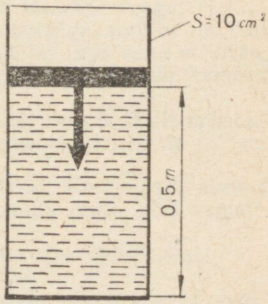
Vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale on mistahes anuma kuju ja mistahes vedeliku hulga juures võrdne sellise vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindala on võrdne anuma põhja pindalaga ning kõrgus vedelikusamba kõrgusega anumas.



Joon. 119.



Joon. 120.



Joon. 121.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata, et vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust? 2. Miks nimetatakse anuma põhjale mõjuva vedeliku rõhumisjõu sõltumatust anuma kujust mõnikord hüdrostaatiliseks paradoksiks? 4. Kuidas saab Pascali seadusele tuginedes selgitada hüdrostaatilist paradoksi?

Ülesanne.

Võrrelge joonisel 116 toodud anumates vedeliku rõhumisjõudu F vedeliku raskusjõuga F_R. Millise anuma juures $F=F_R$, millise juures $F<F_R$ ja millise juures $F>F_R$? Vastused kujutage graafiliselt.

Harjutus 24.

1. Anumatesse (joon. 118) on valatud ühesugused veemassid. Kumma anuma põhjale on rõhk suurem?
2. Arvutage vee rõhk joonisel 119 kujutatud paagi põhjale.
3. Vee nivoo kõrgus tammi ees (joon. 120) on 5 m, tammi taga aga 2 m. Kui suure rõhu all on vesi, mis voolab tammi aluses asuvas torus?
4. Silindrilises anumas on vett 0,5 m kõrguselt. Vesi on kolvi all, millele mõjub jõud 1000 N. Kolvi pindala on 10 cm^2. Arvutage rõhk anuma põhjale (joon. 121).

64. 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 (selleks kulus kruusitäis vett), suurenes rõhk vaadi seintele niivõrd, et vesi pressiti vaadi laudade vahelt välja (joon. 122).



Joon. 122.

65. 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 10 000 $\frac{N}{cm^2}$.



Joon. 123.

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.

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 $100\frac{N}{cm^2}$. Ilma kaitseseadmeteta veelgi suuremasse sügavusse laskumisel võib see rõhk lõmastada inimese rindkere.

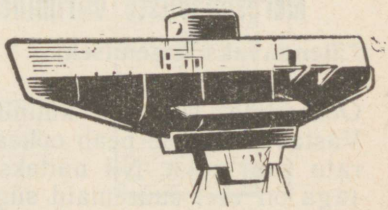
Jõepõhja puhastamisel, laevade veealuste osade remontimisel, uppunud laevade ülestõstmisel jne. tuleb inimestel töötada vee all erinevates sügavustes. Seejuures kasutatakse spetsiaalseid tuukriülikondi (joon. 124). Tuukriülikonnad valmistatakse kummeeritud riidest ning pannakse sooja riietuse peale. Ülikonna ülaosa külge kruvitakse paksude klaasakendega metallkiiver. Tuukri saabastel on pliitallad, samuti asetatakse pliikoormused tuukri seljale ja



Joon. 124.



Joon. 125.



Joon. 126.

rinnale. Kui seda ei tehta, ei püsi tuuker vees. Kiivrisse antakse vooliku kaudu pidevalt hingamiseks vajalikku õhku. Kahjuks segab voolik vee all tuukri liikumist ning piirab kaugust, mille võrra tuuker laskumiskohast võib eemalduda. Kuni 90 m sügavuseni võivad tuukrid laskuda spetsiaalsete kaasavõetavate terasest õhuballoonidega. Sellist tuukrivarustust nimetatakse akvalangiks (joon. 123).

Suurte meresügavuste uurimiseks kasutatakse batüsfääre ja batüskaafe.

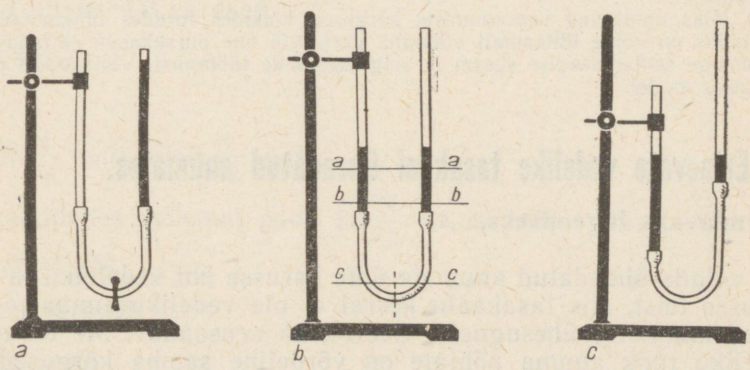
Batüsfäär on väga vastupidav teraskera, mis on varustatud paksust vastupidavast klaasist aknaga (joon. 125). Kera sisemuses asuvad vaatlejad. Vaatlejad peavad laevaga sidet telefoni teel. Batüsfäärid lastakse meresügavusse spetsiaalselt laevalt terastrossi abil.

Batüskaaf (joon. 126) aga ei ole trossi abil laevaga ühendatud. Tal on oma mootor ning seepärast ka võimalus suures sügavuses liikuda mistahes suunas.

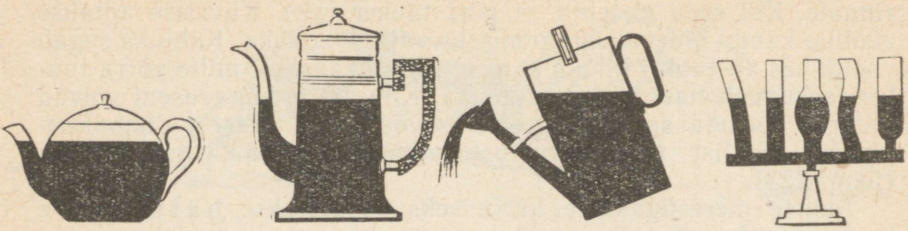
66. Ühendatud anumad.

Joonisel 127 on kujutatud kaks anumat, mis on omavahel ühendatud kummitoruga. Selliseid anumaid nimetatakse ühendatud anumateks. Ühendatud anumate näideteks on kastekann, teekann, kohvikann (joon. 128). 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. 127, *a*). Katse alguses surutakse kummivoolik keskelt näpitsatega kokku ning valatakse ühte torusse vett. Nüüd avatakse kummivoolik ning vesi hakkab voolama teise torusse. Voolamine kestab seni, kuni vee nivood torudes ei ole ühekõrgusel (joon. 127, *b*). Ühe toru võib kin-



Joon. 127.



Joon. 128. Joon. 129.

nitada statiivi külge, teist võib aga tõsta, langetada või kallutada. Ka neil juhtudel on vesi pärast tasakaalustumist mõlemas torus ühekõrgusel (joon. 127, *c*).

Paigaloleva vedeliku vaba pind jääb mistahes kujuga ühendatud anumates (joon. 129) **alati ühele ja samale kõrgusele.**

Samale tulemusele võib jõuda aruteluga (teoreetiliselt) rõhkude jaotusest raskes vedelikus. Vedeliku tasakaalu korral on rõhk ühendatud anumates nivool *aa*, *bb* ja *cc* ühesugune (joon. 127, *b*). Ka vedelikusammaste kõrgused mõlemas anumas on ühesugused.

Küsimused.

1. Milliseid ühendatud anumaid te teate? 2. Millisel kõrgusel asub vedelik ühendatud anumates?

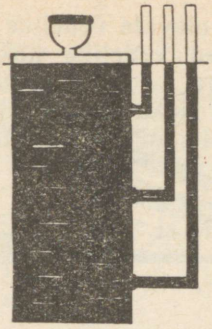
Ülesanne.

1. Joonisel 130 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? Vajutage kergelt lehtrit katvale kummikilele ning jälgige veesamba kõrguse muutumist torudes.
   3) Miks muutuvad veesammaste kõrgused kõikides torudes ühtemoodi?
2. Kuidas on kõige lihtsamalt võimalik parki või õue purskkaevu ehitada? Joonistage sellise seadise skeem ja selgitage selle töötamist. Valmistage purskkaevu mudel.

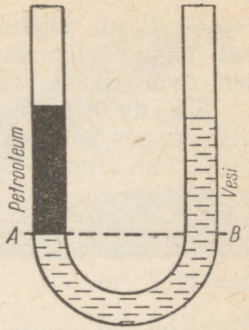
67. Erinevate vedelike tasakaal ühendatud anumates.

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 tihedu-



Joon. 130.



Joon. 131.

sega samba kõrgus väiksem kui väiksema tihedusega samba kõrgus.

Kasutades anuma põhjale mõjuva vedeliku rõhu arvutamise valemit (§ 62) võib tuletada matemaatilise seose erinevate vedelike kõrguste kohta ühendatud anumas. Vaatleme, kuidas seda teha.

Vaatleme joonist 131. Sellel on kujutatud ühendatud anumad kahe erineva ja mitteseguneva vedelikuga. Vedelikusammaste kõrgusi mõõdame nende eraldusnivoolt. Joonisel on see nivoo märgitud joonega *AB*.

Olgu h_1 vedelikusamba kõrgus paremas torus, ϱ_1 selle vedeliku tihedus, h_2 vedelikusamba kõrgus vasakus torus ja ϱ_2 selle vedeliku tihedus.

Märgime tähtedega p_1 ja p_2 vedelikusammaste rõhud paremas ja vasakus torus ning kirjutame nende väärtused:

$$p_1 = 9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \varrho_1 h_1,$$

$$p_2 = 9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \varrho_2 h_2.$$

Kuna vedelikud ühendatud anumates on tasakaalus, siis on rõhud nivool *AB* võrdsed:

$$p_1 = p_2$$

ehk

$$9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \varrho_1 h_1 = 9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \varrho_2 h_2.$$

Taandades mõlemat poolt $9{,}8\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$-ga, saame

$$\varrho_1 h_1 = \varrho_2 h_2,$$

millest järgneb

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

Järelikult, **ühendatud anumates olevate vedelike tasakaalu korral on vedelikusammaste kõrgused vedelike kokkupuutepinnalt pöördvõrdelised vedelike tihedustega.**

Näide. Ühendatud anumates tasakaalustab 20,7 cm kõrgune veesammas 23 cm kõrguse määrdeõlisamba. Leida toodud andmete alusel määrdeõli tihedus ϱ_2.

Antud:

$h_1 = 20{,}7$ cm

$h_2 = 23{,}0$ cm

Lahendus:

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

Leida ϱ_2.

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

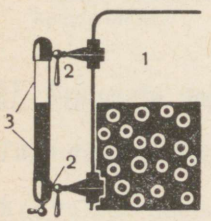
$$\varrho_2 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{20{,}7 \text{ cm}}{23{,}0 \text{ cm}} = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ ehk } 0{,}9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

Ülesanne.

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.

Harjutus 25.

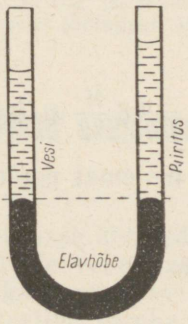
1. Joonisel 132 on kujutatud aurukatla veemõõduklaas. Selgitage selle riista töötamise põhimõtet.
2. Joonisel 133 on kujutatud nivelliir horisontaalsihi määramiseks maastikul. Selgitage selle töötamise põhimõtet. Valmistage selline seade ning määrake selle abil horisontaalsiht.
3. Joonisel 134 on kujutatud ühendatud anumad, millesse on valatud elavhõbe. Selle peale vasakusse harusse on valatud vesi. Kui kõrge peab olema pare-



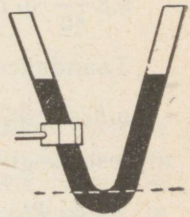
Joon. 132. Aurukatla veemõõduklaas: *1* — aur; *2* — ventiil; *3* — veemõõduklaas.



Joon. 133.



Joon. 134.



Joon. 135.



Joon. 136.

mas harus olev piiritusesammas, et elavhõbe jääks mõlemas harus ühekõrgusele?

4. Kuidas arvutada rõhku, mida avaldab vedelik punktiirjoonega märgitud sügavuses (joon. 135)?
5. Joonisel 136 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.

68. Lüüsid.

Täiendavaks lugemiseks.

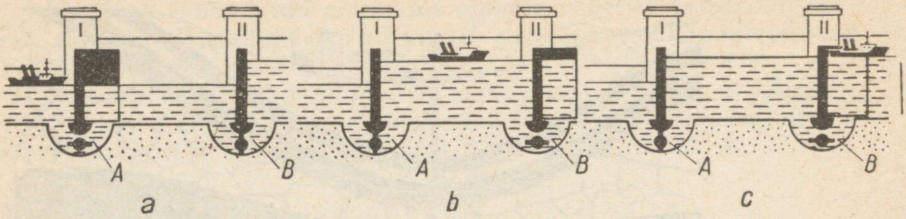
Ühendatud anumate tehnikas kasutamise üheks näiteks on lüüsid.

Lüüse ehitatakse kanalitele ja tammidega suletud laevatatavatele jõgedele. Lüüside ülesandeks on laevade ja parvede läbilaskmine.

Lüüs koosneb lüüsikambrist ning ülemisest ja alumisest väravast. Lüüsikamber on ühendatud jõega laiade torude abil. Viimased on väljatõmmatavate kilpidega suletavad. Joonisel 137 on kujutatud lüüsi kasutamine laeva sõitmisel vastuvoolu.

Laev läheneb lüüsile. Lüüsi väravad on suletud. Avatakse lüüsikambrit jõe alumise osaga ühendav toru. Vesi voolab lüüsikambrist jõkke. Kui vee nivoo lüüsikambris on saanud võrdseks jõe alumise osa vee nivooga, avatakse alumised väravad I ning laev sõidab lüüsikambrisse (joon. 137, *a*). Pärast seda suletakse alumised väravad ja lüüsikambrit jõe alumise osaga ühendav toru ning avatakse lüüsikambrit jõe ülemise osaga ühendav toru. Lüüsikamber täitub järk-järgult veega, kuni vesi on tõusnud vee nivooni jõe ülemises osas. Nüüd avatakse ülemised väravad (joon. 137, *b*) ja laev sõidab lüüsist jõkke (joon. 137, *c*).

Kui vee nivoode vahe jõe ülemises ja alumises osas on suur, kasutatakse mitut järjestikku töötavat lüüsikambrit. Nii näiteks koosneb V. I. Lenini nimelise Dnepri hüdroelektrijaama juures olev lüüs kolmest lüüsikambrist. Igas sellises kambris tõstetakse või langetatakse laeva 12 m.



Joon. 137.

Sageli on maakohad, mida jõgesid ühendav kanal läbib, kõrgemal kui jõed. On arusaadav, et vesi ei saa sellisesse kanalisse ise voolata, vaid teda tuleb sinna pumbata. Laevade läbilaskmiseks tuleb sellistes kanalites kasutada lüüside gruppe, mis moodustavad nn. lüüsitrepi. Näiteks Volga-Doni Volga-poolsel tõusul on 9 lüüsist koosnev trepp kõrgusega 88 m. Doni-poolsel tõusul on 4 lüüsi üldkõrgusega 44 m.

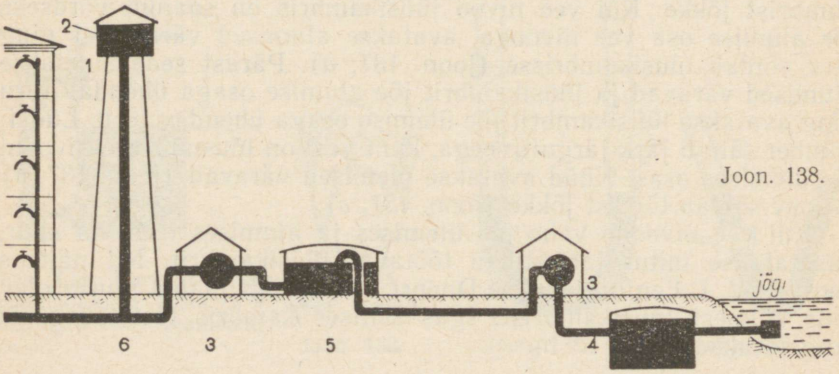
69. Veevärgi ehitus.

Linnades ja paljudes asulates saadakse vett veevärgist. Joonisel 138 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.



Joon. 138.

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.

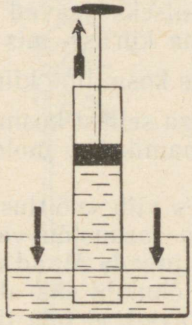
1. Kuidas on ehitatud veevärk? 2. Mis ülesanne on veetornil?

70. Õhurõhk.

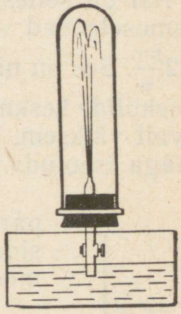
Maad ümbritsevat õhukihti nimetatakse atmosfääriks[1]. Nagu näitavad Maa tehiskaaslastelt saadud uurimisandmed, ulatub atmosfäär mitme tuhande kilomeetri kõrgusele. Meie elame määratu õhuookeani põhjas. Maa pind on selle ookeani põhi.

Analoogiliselt veega ookeanis rõhuvad õhu ülemised kihid oma raskusest tingituna alumistele kihtidele, surudes neid kokku. Vahetult Maaga kokkupuutuv õhukiht on kõige suurema rõhu all ning 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.



Joon. 139.



Joon. 140.

Õhurõhu olemasolu kinnitavad paljud nähtused.

Joonisel 139 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.

Joonisel 140 on kujutatud kõrge silindriline anum. Anum on suletud korgiga, mida läbib ventiiliga toru. Anumast pumbatakse

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

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.

Küsimused.

1. Mida kujutab endast Maa atmosfäär? 2. Millest on tingitud õhurõhk? 3. Kirjeldage katseid, mis kinnitavad õhurõhu olemasolu.

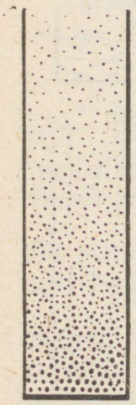
71. Maad ümbritseva õhukihi olemasolu.

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? Mil moel püsib Maad ümbritsev õhukiht, tema atmosfäär? Et seda mõista, tuleb arvestada, et atmosfääri kuuluvad 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».



Joon. 141.

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

Mõõtmised näitavad, et õhu tihedus kõrguse suurenedes kiiresti väheneb. 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 141 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

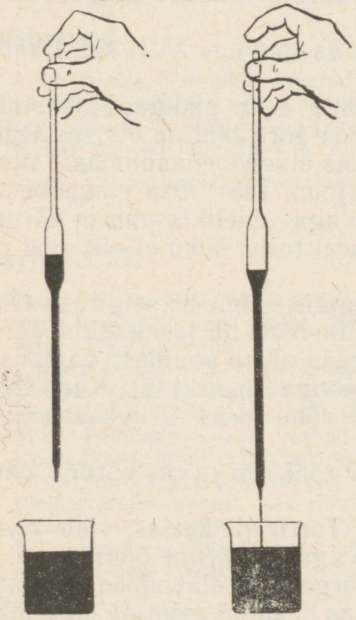
kui ülemises osas, seepärast on ka rõhk anumas erinev — põhjas suurem kui ülemises osas. Need erinevused anumas oleva gaasi tiheduses ja rõhus on aga niivõrd väikesed, et need võib paljudel juhtudel jätta arvestamata.

Küsimused.

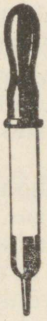
1. Miks ei lange kõigi atmosfääri koosseisu kuuluvate gaaside molekulid raskusjõu mõjul maapinnale? 2. Miks atmosfääri koosseisu kuuluvate gaaside molekulid, mis püüavad laiali lennata, ei eemaldu Maast? 3. Kuidas muutub Maad ümbritseva õhukihi — atmosfääri tihedus kõrguse suurenedes?

Harjutus 26.

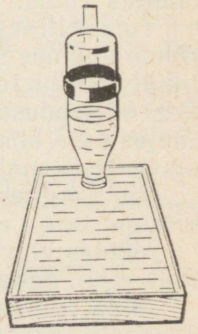
1. Joonisel 142 näeme Mohr'i pipetti, mida kasutatakse vedelikest proovide võtmiseks. Pipett lastakse vedelikku, suletakse siis sõrmega selle ülemine ots ning tõstetakse vedelikust välja. Kui pipeti ülemine ots avada, voolab vedelik pipetist välja. Tehke selline katse ning selgitage seadme töötamise põhimõtet.
2. Joonisel 143 on kujutatud pipett, seade vedelikutilkade saamiseks. Tehke pipetiga katse ning selgitage pipeti töötamise põhimõtet.
3. Missugust füüsikalist nähtust kasutatakse tindi võtmisel täitesulepeasse?
4. Joonisel 144 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.



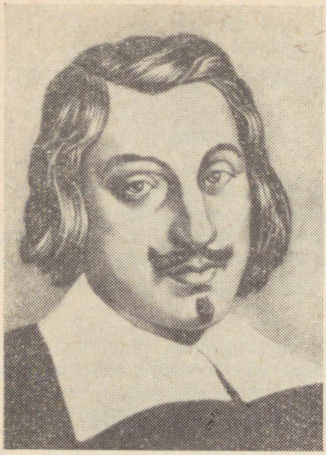
Joon. 142.



Joon. 143.



Joon. 144.



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

72. Õhurõhu mõõtmine. Torricelli katse.

Õhurõhku ei saa arvutada analoogiliselt vedelikusamba rõhu arvutamisega (§ 62). 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. 145). Osa elavhõbedat voolab nüüd torust välja, torusse jääb aga vedelikusammas kõrgusega ligikaudu 760 mm. Elavhõbeda peal torus õhku ei ole, seal on õhutühi ruum.

Torricelli tegi kirjeldatud katse ja andis sellele ka selgituse. Õhk rõhub anumas olevale elavhõbedale. Elavhõbe on tasakaalus. Järelikult on rõhk torus nivool *aa* (elavhõbeda nivoo anumas) vastavalt Pascali seadusele samuti võrdne õhurõhuga (joon. 145). 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.

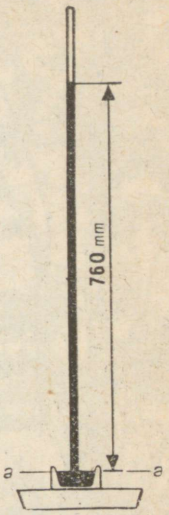
Mida suurem on õhurõhk, seda kõrgem on elavhõbedasammas Torricelli katses. Seepärast on praktikas hakatud mõõtma õhurõhku elavhõbedasamba millimeetrites või sentimeetrites. Kui näiteks õhu-

rõhk 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.

Õhurõhk on 760 mm Hg. Väljendame selle $\frac{N}{m^2}$-tes.



Joon. 145.

Kasutame rõhu arvutamise valemit $p = 9{,}8\frac{N}{kg} \cdot \varrho h$. Elavhõbeda tihedus $\varrho = 13\,600\frac{kg}{m^3}$; kõrgus $h = 0{,}76$ m, siit

$$p = 9{,}8\,\frac{N}{kg} \cdot 13\,600\,\frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}76\,m \approx 103\,000\,\frac{N}{m^2} = 10{,}3\,\frac{N}{cm^2}.$$


Joon. 146.

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 780 mm Hg»? 4. Kuidas väljendada õhurõhku ühikutes $\frac{N}{m^2}$? 5. Kuidas nimetatakse õhurõhu mõõteriista?

Harjutus 27.

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. 146). 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 asetakse 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.

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



Joon. 147.

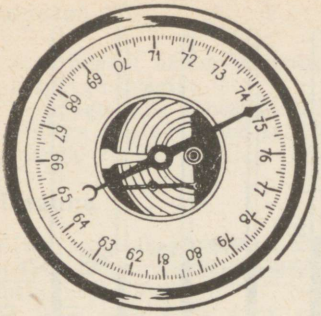
5. Mis juhtub elavhõbedasambaga, kui toru Torricelli katses kallutada? Kuidas sellise kaldu oleva toru korral mõõta õhurõhku? Põhjendage vastust ning illustreerige seda joonisega.
6. Õhurõhu olemasolu tõestamiseks tegi Otto von Guericke Magdeburgis 1654. a. järgmise katse. Ta pumpas kahest tihedalt teineteise vastu asetatud metallpoolkerast õhu välja. Õhurõhk surus nüüd poolkerad nii tugevasti teineteise vastu, et neid ei suutnud lahti tõmmata isegi kaheksa paari hobuseid (joon. 147). Arvutage poolkeradele mõjuv jõud, kui poolkerade pind, millele õhk rõhus, oli 2800 cm^2.

73. Aneroidbaromeeter.

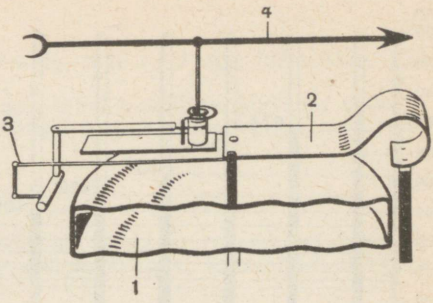
Praktikas kasutatakse õhurõhu mõõtmiseks metallbaromeetrit, mida nimetatakse aneroidbaromeetriks.

Aneroidbaromeetri välisvaade on kujutatud joonisel 148. Baromeetri tähtsamaks osaks on laineliste seintega metallkarbike *1* (joon. 149). 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. Õhurõhu suurenemisel surutakse kaant allapoole ning painutatakse vedrut. Vedru külge on ülekandemehhanismi *3* vahendusel kinnitatud osuti

[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).



Joon. 148.



Joon. 149.

4. Viimane pöördub kas paremale või vasemale, olenevalt õhurõhu muutumisest. Osuti liigub skaalal, millele on kantud elavhõbebaromeetri näitude põhjal õhurõhu väärtused elavhõbedasamba millimeetrites. Arv 746, mille kohal seisab aneroidbaromeetri osuti joonisel 148, 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 mõõteriist meteoroloogilistel vaatlustel.

Küsimused.

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

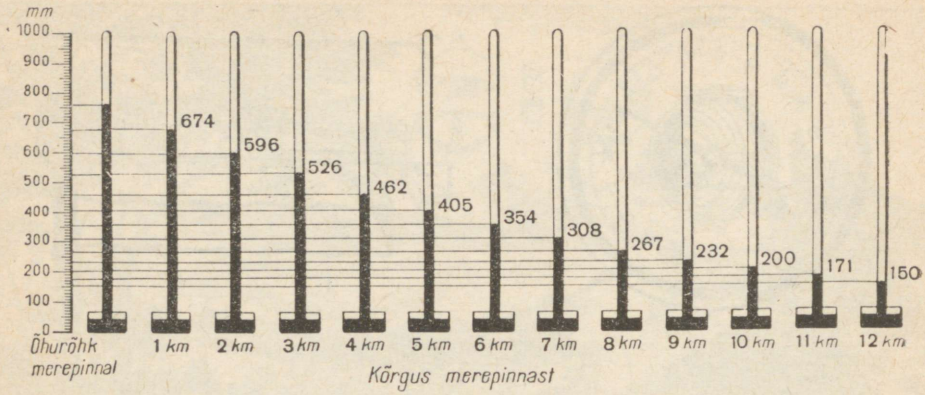
Ülesanne.

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

74. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel.

Kõigis vedelikes on rõhk teatavasti (§ 61) erinevatel nivoodel erinev. Kuna vedelik on vähe kokkusurutav, siis on vedeliku tihedus erinevates sügavustes praktiliselt ühesugune. Seepärast oleneb rõhk vedelikus ainult vedelikusamba kõrgusest. 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.



Joon. 150.

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. Kui näiteks õhupall tõuseb maapinnalt atmosfääri, siis ei vähene õhurõhk õhupallile mitte ainult seepärast, et õhusamba kõrgus õhupalli kohal väheneb, vaid ka seepärast, et õhu tihedus kõrgemal on väiksem kui maapinnal.

Väga tundliku baromeetriga võib kindlaks teha, et õhurõhk on erinev isegi maja erinevatel korrustel.

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

Õhurõhku, mis temperatuuril 0 °C tasakaalustab 760 mm kõrguse elavhõbedasamba, nimetatakse normaalseks õhurõhuks (normaalrõhuks).

Väikestel kõrgustel väheneb õhurõhk iga 12 m kohta 1 mm Hg võrra. Joonisel 150 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. Millega seletub see, et maapinnalt kõrgemale tõustes õhurõhk väheneb. 2. Missugust õhurõhku nimetatakse normaalseks? 3. Kuidas nimetatakse kõrgusemõõtjat, mille töötamine põhineb õhurõhul? Mida see mõõteriist endast kujutab?

Harjutus 28.

1. Mäe jalamil näitab baromeeter 760 mm Hg, mäe tipul aga 722 mm Hg. Kui kõrge on mägi?
2. Selgitage, miks tunnevad reisijad lennuki kiirel laskumisel kõrvades valu.
3. Millega seletada seda, et lennuki tõusmisel hakkab täitesulepeast tinti välja tulema?

Ülesanne.

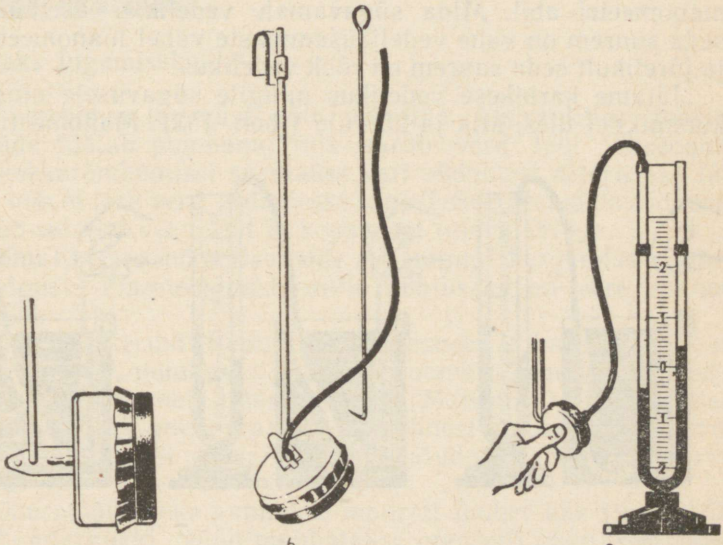
Mõõtke aneroidbaromeetriga õhurõhk koolimaja esimesel ja viimasel korrusel. Leidke saadud andmete alusel korrustevaheline kaugus. Kontrollige tulemust vahetu mõõtmisega.

75. Manomeetrid.

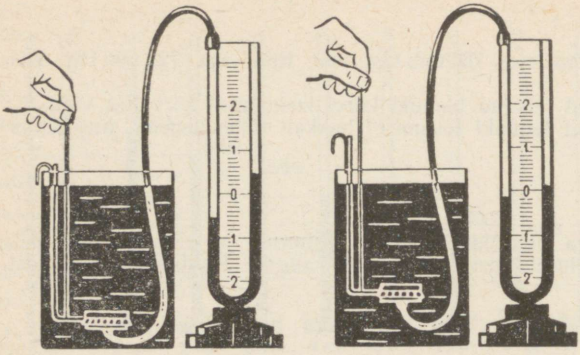
Rõhkude mõõtmiseks kasutatakse mõõteriistu, mida nimetatakse manomeetriteks[1]. On olemas vedelikmanomeetrid ja metallmanomeetrid.

Vaatleme kõigepealt *vedelikmanomeetri* (joon. 151, *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. 151, *a*, *b*). Kui vajutada sõrmega kergelt kilele, siis manomeetri harus, mis on ühendatud karbiga, vedelik langeb, teises aga tõuseb (joon. 151, *c*). Kuidas seda selgitada? Kilele vajutamisel suureneb

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



Joon. 151. *a* *b* *c*

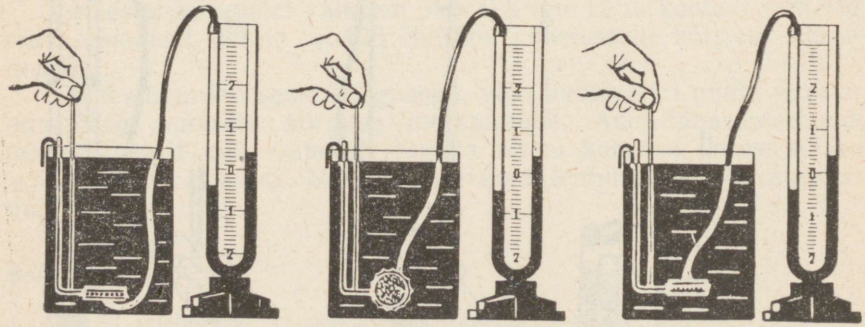


Joon. 152.

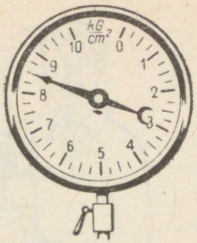
õhu rõhk kile all. Pascali seaduse järgi antakse see rõhu suurenemine edasi vedelikule manomeetri selles harus, mis on ühendatud karbiga. Seepärast mõjub igale pinnale vedeliku sees, näiteks manomeetri kõige madalamas osas (paindekohas) ühelt poolt suurem rõhk kui teiselt poolt. Rõhkude vahe mõjul hakkab vedelik liikuma, kokkusurutud õhuga harus vedelik langeb, teises aga tõuseb. Vedeliku liikumine lõpeb (vedelik jääb tasakaalu), kui kokkusurutud õhu rõhk tasakaalustatakse rõhuga, 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 152 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.

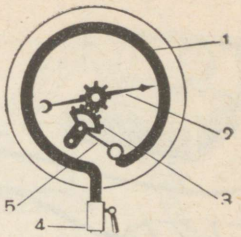
Jätame karbikese vedelikus mingile sügavusele ning pöörame kummikilet üles, alla ja kõrvale (joon. 153). Manomeetri näit see-



Joon. 153.



Joon. 154.



Joon. 155.

juures ei muutu. Nagu võiski arvata, on rõhk ühes ja samas sügavuses igas suunas ühesugune.

Joonisel 154 on kujutatud *metallmanomeeter*. Selle põhiliseks osaks on kaarekujuline metalltoru *1* (joon. 155), 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.

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?

76. Vererõhu mõõtmine.

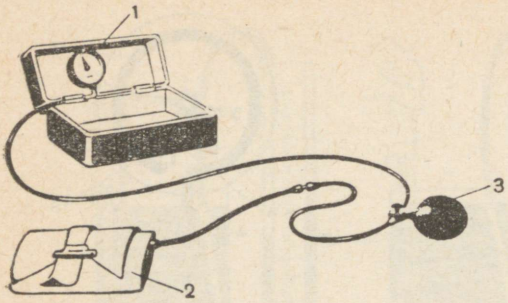
Täiendavaks lugemiseks.

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.

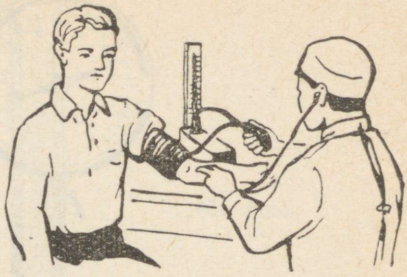
Vererõhu lihtsate mõõtmisviiside avastamine kergendas arstidel nende haiguste diagnoosimist, mille põhjuseks on vere ebanormaalne rõhk.

Vererõhu mõõteriist (joon. 156) koosneb kolmest põhilisest osast: mansetist *2*, pumbast *3* (surveballoonist) 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 (joon. 157) ülalpool küünarnukki. Nüüd pumbatakse mansetti õhku, see suure-



Joon. 156.



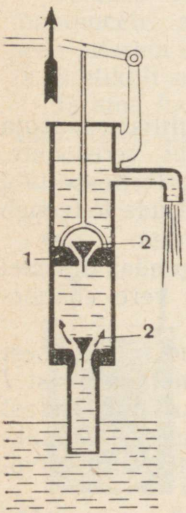
Joon. 157.

neb 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.

77. Vedeliku kolbpump.

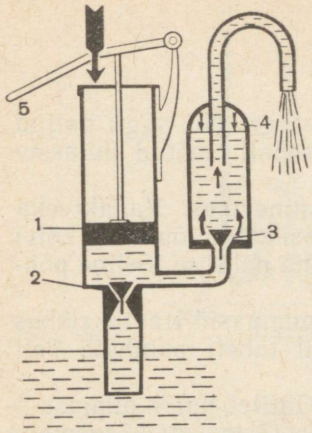


Joon. 158.

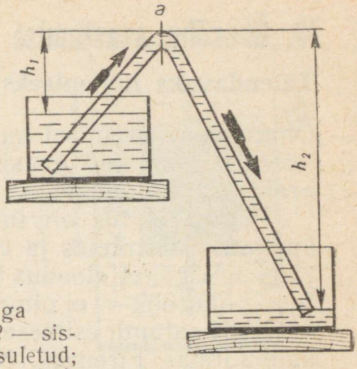
§ 70 kirjeldati, et klaastorus tõuseb vesi kolvi järel õhurõhu mõjul. Seda nähtust kasutatakse kolbpumpade ehitamisel.

Joonisel 158 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 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.



Joon. 159. Õhukambriga kolbpump: *1* — kolb; *2* — sisseimemisklapp on suletud; *3* — surveklapp on avatud; *4* — õhukamber; *5* — pumba käepide.



Joon. 160.

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. 158)? Põhjendage vastust.
2. Kui suurele kõrgusele saab selle pumbaga pumbata piiritust?
3. Kirjeldage õhukambriga kolbpumba tööd (joon. 159). Millist osa etendab selles pumbas õhukamber? Kas saab selle pumbaga tõsta vett rohkem kui 10,3 m sügavuselt?

Ülesanne.

Joonisel 160 on kujutatud sifooni, mida kasutatakse vedeliku valamiseks ühest anumast teise. Seejuures peab vedeliku pind 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 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 $H-h_1>H-h_2$.

78. 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. Vanakreeka 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 inkvisitsioonikohtu ees, kus talt nõuti oma teaduslikest veendumustest loobumist.

Pärast Galilei surma jätkas tema teaduslikke uurimusi tema õpilane, 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 (§ 72) 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.

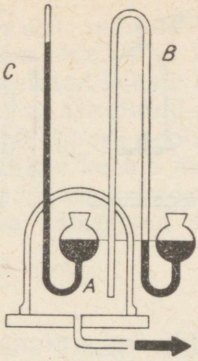
Kui Torricelli tegi teatavaks oma katsed ja järeldused, puhkes teadlaste vahel uuesti äge vaidlus. Torricelli kinnitas, et torus elavhõbeda peal on õhutühi ruum. Aristotelese järglased aga kinnitasid, et see on võimatu, kuna Aristoteles õpetas, et loodus kardab tühjust.

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.

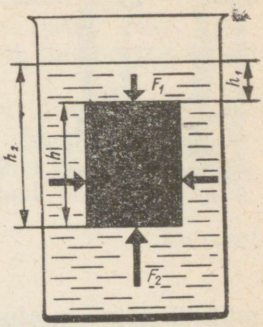
Pascal aga arvas, et õhurõhu olemasolu fakti tõestamiseks on vaja veel ühte otsustavat katset.

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



Joon. 161.



Joon. 162.

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 katsega. Selleks et veel kord tõestada, et elavhõbedasammast hoiab Torricelli katses ülal õhurõhk, tegi Pascal katse, mida ta piltlikult nimetas tühjuse tõestamiseks tühjuses.

Tänapäeval võib selle Pascali katse teha joonisel 161 kujutatud seadme abil. Joonisel on *A* vastupidav klaasnõu, millesse on sisse joodetud kaks toru — baromeeter *B* ja baromeeter *C* (lahtise otsaga toru).

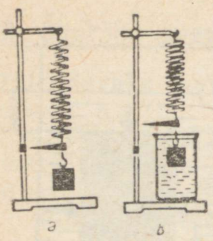
Seade paigutatakse õhuhõrenduspumba taldrikule. Katse algul on rõhk anumas *A* võrdne õhurõhuga. Õhurõhu suurust mõõdab elavhõbedasammaste vahe baromeetris *B*. Baromeetris *C* on elavhõbedanivood ühekõrgused. Nüüd hakatakse anumast *A* õhku välja pumpama. Vastavalt õhu vähenemisele anumas langeb elavhõbedanivoo baromeetris *B*, baromeetri *C* vasemas harus aga tõuseb. Kui õhk anumast *A* täielikult välja pumbatakse, langeb elavhõbedanivoo baromeetri *B* peenikeses harus samale kõrgusele kui laias harus. Baromeetri *C* peenikeses harus tõuseb elavhõbedasammas õhurõhu mõjul aga kõrgusele *h*.

Pascali katsed lükkasid lõplikult ümber Aristotelese teooria «tühjuse kartmisest» ning kinnitasid õhurõhu olemasolu.

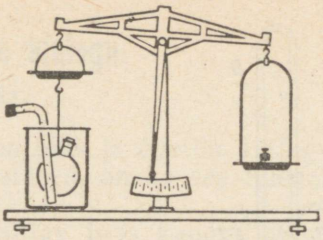
79. Vedeliku ja gaasi mõju temasse asetatud kehale.

Me teame (§ 61, 62), et vedelik rõhub anuma põhjale ja seintele. Kui aga vedelikku asetada mingi tahke keha, siis avaldab vedelik ka sellele rõhku.

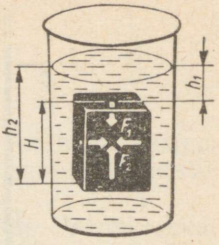
Vaatleme rõhumisjõude, millega vedelik mõjub temasse asetatud kehale. Arutluse kergendamiseks valime risttahukakujulise keha,



Joon. 163.



Joon. 164.



Joon. 165.

mille ülemine ja alumine tahk on vedeliku vaba pinnaga paralleelsed (joon. 162). 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. Keha alumise tahu nivoole avaldab rõhku vedelikusammas kõrgusega h_2. Nagu me varasemast teame (§ 61), antakse see rõhk vedelikus edasi igas suunas. Järelikult rõhub vedelikusammas kõrgusega h_2 keha alumisele tahule alt üles jõuga F_2. h_2 on aga suurem kui h_1, seega on ka F_2 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 163, *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. 163, *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 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 anum selliselt, et kolb mahuks tervenisti selle sisse. Anum täidetakse süsihappegaasiga, mille tihedus

on õhu tihedusest suurem. Kaalukausside tasakaal kaob. Kaalukauss selle alla kinnitatud kolviga tõuseb üles (joon. 164). 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 vaakumis (tühjuses).

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?

80. Üleslükkejõud.

Eelmises paragrahvis räägiti, et vedelikku või gaasi asetatud kehale mõjub üleslükkejõud. Tuginedes teadmistele vedeliku rõhust, arvutame üleslükkejõu suuruse, selle järel aga vaatleme katset, mis kinnitab saadud järeldust.

Kasutame joonist 165 (see erineb veidi joonisest 162). Teame juba, et üleslükkejõu määravad ainult vedeliku rõhumisjõud keha alumisele ja ülemisele tahule.

Märgime tähega H risttahukakujulise keha kõrguse, tähega S aga risttahuka alumise ja ülemise tahu pindala.

Tuletame meelde, et vedeliku rõhku arvutame valemi $p = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho h$ abil. Igal nivool on rõhk kõikides suundades ühesugune. Rõhk vedelikus muutub üleminekul ühelt nivoolt teisele.

Pöördume nüüd vaadeldava keha juurde. Keha ülemisele tahule on vedeliku rõhk

$$p_1 = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \varrho h_1.$$

Valemis tähistab h_1 vedelikusamba kõrgust keha ülemise tahu peal.

Rõhk keha alumise tahu nivool

$$p_2 = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho h_2.$$

Siin on h_2 keha alumise tahu kaugus vedeliku vabast pinnast, s. o. vedelikusamba kõrgus keha alumise tahu peal. Keha alumisele tahule rõhub vedelik alt üles, sest ta annab igas suunas edasi ülemiste vedelikukihtide rõhu.

Leiame nende kahe nivoo rõhkude vahe:

$$p_2 - p_1 = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho h_2 - 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho h_1.$$

Teisendame toodud võrdust, võttes $9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho$ sulgude ette:

$$p_2 - p_1 = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho (h_2 - h_1).$$

Vahe $h_2 - h_1$ on aga meie risttahuka kõrgus H (vt. joon. 165). Paigutame H eespool saadud võrdusesse:

$$p_2 - p_1 = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho H.$$

Korrutame nüüd võrduse paremat ja vasakut poolt risttahuka alumise (ülemise) tahu pindalaga. Saame:

$$p_2 S - p_1 S = 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho HS.$$

Mida kujutavad endist saadud võrduse liikmed?

$p_2 S$ — see on vedeliku rõhumisjõud kehale alt üles. Joonisel 165 on see kujutatud vektorina F_2.

$p_1 S$ on rõhumisjõud, mis mõjub kehale ülalt alla; joonisel on see kujutatud vektorina F_1.

Nende jõudude vahe $F_2 - F_1 = p_2 S - p_1 S$ on üleslükkejõud. Arvuliselt on üleslükkejõud $9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho HS$. See on aga vedeliku kaal vedelikku paigutatud keha ruumala suuruses. Tõepoolest $HS = V$, kus V on meie risttahuka ruumala. $\varrho HS = m$ — see on vedeliku mass keha ruumala suuruses. $9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \varrho HS$ on aga selle vedeliku kaal.

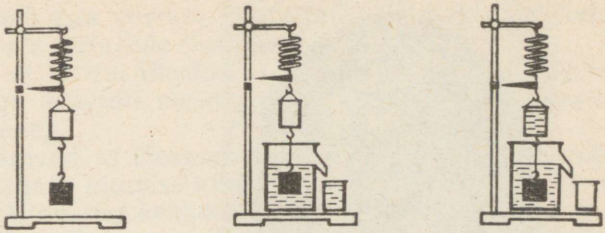
Eeltoodust järgneb, et

vedelikku või gaasi asetatud keha tõugatakse üles jõuga, mis 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. 166, *a*). Nüüd tõstetakse silinder üles, asetatakse selle alla ülevooluanum vedelikuga ning lastakse siis silinder üleni vedelikku (joon. 166, *b*). 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

Joon. 166.



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. 166, *c*). Katse kinnitab, et jõud, mis lükkab keha vedelikus ülespoole, on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumala suuruses.

Kui samasugune katse korraldada kehaga, mis on asetatud mingisugusesse gaasi, siis selguks, et ka gaasi poolt kehale avaldatav üleslükkejõud on võrdne gaasi kaaluga keha ruumala suuruses.

Jõudu, mis tõukab vedelikku või gaasi asetatud keha ülespoole, nimetatakse *üleslükkejõuks* või ka *arhimeedese* jõuks vanakreeka teadlase Archimedese auks, kes näitas, kuidas selle jõu suurust arvutada.

Küsimused.

1. Kuidas arvutada 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. Rauatüki ruumala on 0,1 dm^3. Kui suur üleslükkejõud mõjub sellele kehale vees? petrooleumis?
5. Kas üleslükkejõud muutub, kui keha paigutada sügavamale vette? Põhjendage vastust.
6. Kuidas on võimalik üleslükkejõudu kasutades määrata tahke keha tihedust?



Archimedes (287—212 e. m. a.) — antiikkreeka teadlane. Ta oli esimene mehhaanika aluste rajaja. Archimedesele kuulub palju mitmesuguseid tehnilisi leiutusi (veetõstuk, viskerelvad jne.).

81. 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.

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.

1°. Oletame, et Sürakuusa valitseja kuldkroon kaalus õhus 20 N, vees aga 18,75 N. 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 $\frac{kg}{m^3}$.

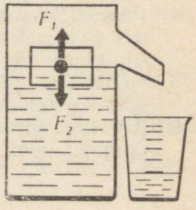
82. Kehade ujumine.

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.



Joon. 167.

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. 167) 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.

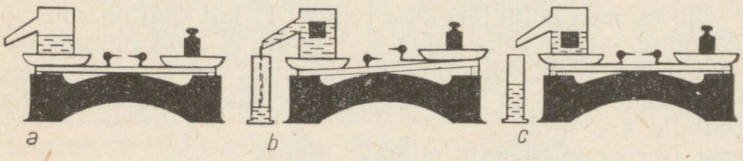
Kui teha samasugused katsed teiste kehadega, mida pannakse ujuma mitmesugustesse vedelikesse — vette, piiritusse, soolalahusesse jne. — siis veendume, et **ujuva keha kaal on alati võrdne selle keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.**

Küsimused.

1. Kuidas näidata katseliselt, et ujuva keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal on alati võrdne keha kaaluga? 2. Millega on võrdne üleslükkejõud, mis mõjub vedeliku pinnal ujuvale kehale? 3. Millal vedelikus olev keha tõuseb vedelikus üles? ujub? upub?

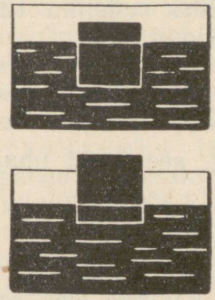
Harjutus 32.

1. Kaalul on tasakaalustatud ülevooluanum veega (joon. 168, *a*). Vette lastakse puitklots. Selle tulemusena kaalu tasakaal kaob (joon. 168, *b*). Kui aga kogu keha poolt väljatõrjutud vesi on anumast välja voolanud, jääb kaal uuesti tasakaalu (joon. 168, *c*). Selgitage seda nähtust.
2. Miks raske laev ujub, vette kukkunud nael aga upub?

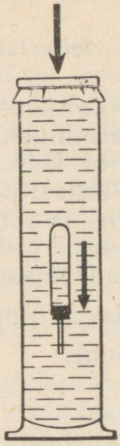


Joon. 168.

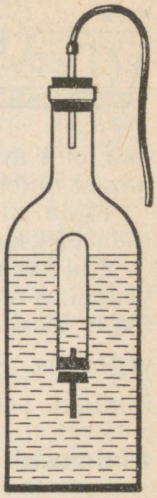
3. Joonisel 169 on kujutatud ühe ja sama keha ujumist erinevates vedelikes. Kumma vedeliku tihedus on suurem? Miks? Mida võib mõlemal juhul öelda keha kaalu ja üleslükkejõu kohta?
4. Puidust õngekork koos selle all oleva pliist koormusega lastakse algul vette, siis aga petrooleumi. Kummaski vedelikus kork ei upu. Kummas vedelikus istub kork sügavamalt?
5. Kanamuna upub tavalises vees, kuid ujub soolvees. Selgitage, miks. Vaadelge seda ise katseliselt.
6. Kujutage graafiliselt jõud, mis mõjuvad vette asetatud kehale, kui see tõuseb pinnale; upub.



Joon. 169.



Joon. 170. *a*



b

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. 170, *a*).

Sellise seadme teine variant on kujutatud joonisel 170, *b*. Õhku puhutakse pudelisse suuga läbi kummivooliku.

Selgitage seadme tegevust.

Näidake, et selle seadmega võib demonstreerida Pascali seadust, üleslükkejõudu ja kehade ujumise seadusi.

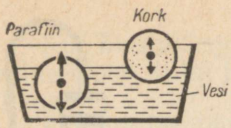
83. Kehade ujumise sõltuvus keha ja vedeliku tihedusest.

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 tähen-



Joon. 171.

dab, 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. 171).

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?

Harjutus 33.

1. Miks vette pandud puutükk tõuseb pinnale, kivi aga vajub põhja?
2. Tehke tiheduse tabeli abil kindlaks, millised metallid ujuvad elavhõbedas ja millised upuvad.
3. Puuanum ja plekkanum on täidetud ääreni veega. Kas need anumad upuvad, kui nad asetada vette?
4. Miks terasest laev ei upu, kuigi terase tihedus on vee tihedusest suurem?
5. Kas jäätükk upub bensiinis? petrooleumis? glütseriinis?
6. Kuidas paiknevad vett, petrooleumi ja elavhõbedat sisaldavas anumas kolm kuuli — korgist, parafiinist ja terasest? Põhjendage vastust. Tehke joonis.
7. Kuidas paigutuvad ühes anumas kolm omavahel mitteseguneva vedelikku — vesi, petrooleum ja elavhõbe? Tehke joonis ja selgitage vastust.
8. Kus on kergem inimest hoida, kas mageda veega järve pinnal või merepinnal? Selgitage.

Ülesanne.

Kirjeldage, kuidas allveelaev sukeldub vette, sõidab vees ning tõuseb veepinnale. Kasutage selleks populaarteaduslikku kirjandust.

84. Laevade ujumine.

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 (§ 82) 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 5 000 000 kN.

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.

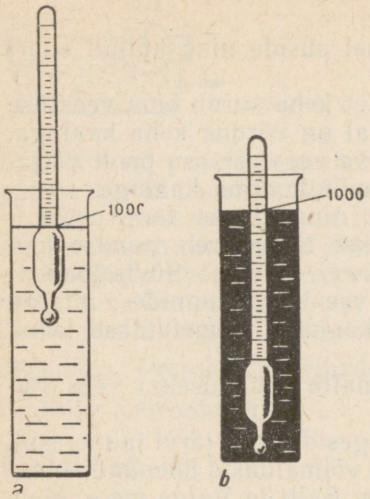
1. Kuidas muutub laeva süvis sõitmisel jõest merre? Põhjendage vastust.
2. Laev kaalub 100 000 kN. Kui palju vett tõrjub välja see laev?

85. Areomeetrid.

Täiendavaks lugemiseks.

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 § 83. Katseklaasile võib kanda jaotused, mis märgivad vedelike tihedusi (gradueerida katseklaasi skaala) ning me saame mõõteriista, mida nimetatakse *areomeetriks*.

Harilikult kujutavad areomeetrid endast peenikest klaastoru, mille alumine osa on tunduvalt jämedam ja lõpeb ballasti reser-



Joon. 172.

vuaariga (ruum koormuse jaoks). Sellise kujuga areomeeter ujub vedelikus vertikaalselt.

Joonisel on kujutatud kaks sellist vees ujuvat areomeetrit. Esimene neist (joon. 172, *a*) on määratud veest väiksema tihedusega vedelike, teine aga (joon. 171, *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 sõltuvalt suurust. Nii on olemas areomeetrid, mis näitavad piirituse kangust (spirtomeeter), suhkru protsenti lahuses (sahharimeeter), piima rasvasisaldust (laktomeeter) jne.

Ülesanne.

Valmistage katseklaasist ja haavlitest või plii tükikestest 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 järgemööda keedusoola lahusesse, petrooleumi (või bensiini) ning märkige skaalal sügavused, milleni mõõteriist vajus.

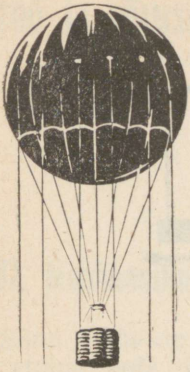
86. Sõitmine õhus.

Täiendavaks lugemiseks.

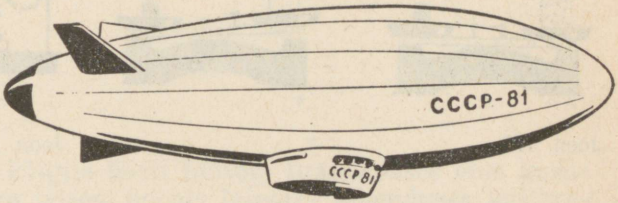
Juba ammu unistasid inimesed pilvede kohal lendamisest, sõitmisest õhuookeanis samuti kui merel. Õhusõidukiteks kasutati kõigepealt õhupalle (joon. 173).

Algul täideti õhupalle sooja õhuga. Praegu täidetakse neid gaasidega — kas vesiniku või heeliumiga. 1 m^3 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 õhupallile, mis on täidetud vesinikuga, mõjub üleslükkejõud 13 N − 0,9 N = 12,1 N.

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.



Joon. 173.



Joon. 174.

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 ülemistes kihtides on õhk hõredam kui maapinnal. Selleks et tõusta kõrgemale, tuleb alla heita spetsiaalselt selleks kaasavõetud ballast (liiv kottides) ning muuta õhupall sel viisil kergemaks. Lõppude lõpuks saavutab õhupall tõusu maksimaalse kõrguse. Laskumiseks tuleb õhupallist spetsiaalse klapi kaudu osa gaasi välja lasta.

Atmosfääri 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 174 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.

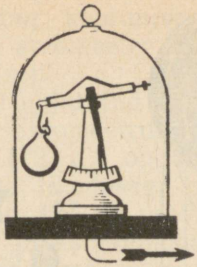
Õhupallid, stratostaadid ja dirižaablid on õhust kergemad lennuaparaadid.

Tänapäeval kasutatakse õhutranspordis põhiliselt lennukeid. Lennuk on õhust raskem, tema startimine ja lendamine ei toimu aerostaatika seaduste, vaid teiste loodusseaduste alusel. Neid seadusi vaadeldakse vanemate klasside füüsikakursuses.





Joon. 175.



Joon. 176.

Ülesanne.

1. Koostage ettekanne õhusõidu ajaloost.
2. Koostage ettekanne dirižaablite ehituse ja kasutamise kohta.
3. Koostage ettekanne nõukogude stratonautide lendude kohta.

Harjutus 35.

1. Kaalul on tasakaalustatud pudel suruõhuga. Läbi pudeli korgi on pandud ventiiliga klaastoru, toru välimise otsa küljes on õhupalli kest (joon. 175, *a*). Kui osa õhku läheb pudelist õhupalli ning paisutab selle kerakujuliseks, siis kaalu tasakaal kaob (joon. 175, *b*). Selgitage seda nähtust.
2. Kaalukangi ühele otsale on kinnitatud kerge klaaskera (joon. 176). 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?

TÖÖ JA VÕIMSUS. ENERGIA.

87. 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 õpetlase kasulikku tegevust.

Töö mõiste füüsikas on piiratum. Füüsikas uuritakse eelkõige *mehhaanilist tööd.*

Mehaanilist tööd tehakse keha nihutamisel temale rakendatud jõu mõjul.

Vaatleme mehhaanilise töö näiteid. Kivi tõstmisel tehakse mehhaanilist tööd temale rakendatud jõu mõjul.

Elektriveduri 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 on olemas jõud, ei ole aga nihet (liikumist), siis ei ole ka tööd. Kõie otsas rippuvale kehale mõjub küll raskusjõud, kuid jõu raskuspunkt 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.

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.

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?

Harjutus 36.

1. 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?
2. Nimetage mõni kasulik tegevus, mida võiks nimetada ka mehhaaniliseks tööks.
3. Kas võib pärdiku jändamist pakuga Krõlovi vastavas valmis nimetada mehhaaniliseks tööks? Põhjendage.
4. Kas poisid jalgpalli mängides teevad mehhaanilist tööd? Kas võib öelda, et poisid seejuures töötavad?
5. Siledat jääd mööda veereb teraskuul. Oletame, et kuuli liikumistakistust (hõõrdumine vastu jääd ja õhutakistus) ei esine. Kas tehakse antud juhul mehhaanilist tööd?

88. Töö. Tööühikud.

Väga tarvilik on osata arvutada mehhaanilise 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, et **mehhaanilise töö hulk on võrdeline jõuga ja läbitud tee pikkusega.** Seepärast mõõdab mehhaanilist tööd jõu ja selle jõu mõjumise suunas läbitud tee pikkuse korrutis:

$$\text{töö} = \text{jõud} \times \text{tee} \quad \text{ehk} \quad A = Fs,$$

kus A on töö, F — jõud ja s — läbitud tee pikkus.

Mehhaaniline töö on füüsikaline suurus, mille mõõtmiseks tuleb kõigepealt valida mõõtühik.

Töö mõõtühikuks 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.

Näide 1. Kündmisel veab traktor atra 10 000 N suuruse jõuga. Kui suure töö teeb traktor 200 meetri pikkusel teel?

Lahendus. Kasutades 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. 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 $A = Fh$, kus F on plaadi raskusjõud, 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 raskusjõud $F = 1250\ \text{kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 12\,250\ \text{N}$.

Töö $A = 12\,250\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} = 245\,000\ \text{J}$.

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.

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 37.

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. Elektrivedur veab 5 km ühtlaselt 3000-tonnise massiga rongi. Leidke veduri poolt sellel teel tehtud töö. Hõõrdejõud moodustab 0,003 kogu rongi kaalust.

89. Võimsus. Võimsusühikud.

Ühe ja sama mehhaanilise töö teevad erinevad jõumasinad erineva ajamiga. 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 v õ i m s u s e k s.

Võimsus näitab, milline töö tehakse ühes ajaühikus.

Selleks et arvutada võimsust, tuleb töö hulk jagada ajaga, mille jooksul see töö tehti. $\text{Võimsus} = \frac{\text{töö}}{\text{aeg}}$.

Kui tähistada võimsust tähega N, tööd tähega A ja aega tähega t, siis saame kirjutada võimsuse arvutamise valemi järgmiselt: $N = \frac{A}{t}$.

$$\text{Võimsus} = \frac{\text{töö}}{\text{aeg}} \qquad N = \frac{A}{t}$$

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 v a t i k s (W).

Tehnikas kasutatakse eeltoodust suuremaid võimsusühikuid — kilovatt (kW), megavatt (MW) ja hobujõudu (hj.).

1 kW = 1000 W; 1 MW = 1 000 000 W; 1 hj. = 736 W.

N ä i d e. Leida tammilt langeva vee võimsus, kui vee langemise kõrgus on 25 m ning veekulu minutis 120 m^3.

L a h e n d u s. Langeva vee mass $m = 120$ t ehk $m = 120\,000$ kg. Selle vee raskusjõud

$$F = 120\,000 \text{ kg} \cdot 9{,}8\frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 1\,200\,000 \text{ N}.$$

Veevoo poolt minutis tehtud töö $A = Fh$;

$A = 1\,200\,000\ \text{N} \cdot 25\ \text{m} = 30\,000\,000\ \text{J}$.

Voo võimsus

$$N = \frac{A}{t};\quad N = \frac{30\,000\,000\ \text{J}}{60\ \text{s}} = 500\,000\ \text{W} = 0{,}50\ \text{MW}.$$

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.

Inimese võimsus normaalsete töötingimuste juures on keskmiselt 70—80 W. Hüpates või trepist üles joostes võib inimene arendada võimsust kuni 730 W, mõnikord aga veelgi rohkem.

Mõned võimsused kilovattides

Sõiduauto «Volga» mootor	72
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

Teades jõumasina võimsust, võib valemi $A = Nt$ abil arvutada masina poolt mingis ajavahemikus tehtud töö.

N ä i d e. Toaventilaatori võimsus on 35 W. Kui palju tööd teeb ventilaator 10 minutiga?

L a h e n d u s.

Kuna $N = \frac{A}{t}$, siis $A = Nt$. $10\ \text{min} = 600\ \text{s}$.

$A = 35\ \text{W} \cdot 600\ \text{s} = 21\,000\ \text{Ws} = 21\,000\ \text{J}$.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse võimsuseks? 2. Kuidas väljendada võimsuse valemit töö ja aja kaudu? 3. Kuidas defineeritakse võimsusühik vatt? 4. Milliseid võimsusühikuid kasutatakse tehnikas? 6. Kuidas saab mootori võimsuse ning töötamise aja kaudu arvutada tehtud tööd?

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.

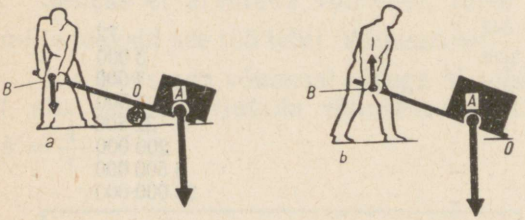
Harjutus 38.

1. 22 m kõrguselt tammilt kukub 10 minutiga alla 500 t vett. Kui suur on langeva vee võimsus?
2. Kui suur on inimese võimsus käimisel, kui ta 2 tunniga teeb 10 000 sammu ning iga sammu juures 40 J tööd?
3. 20 kg massiga poiss tõuseb 20 sekundiga mööda treppi 10 m kõrgusele. Kui suurt võimsust ta seejuures arendab?
4. Kui palju tööd teeb 20 minutiga mootor, mille võimsus on 100 kW?
5. Transportöör tõstab 1 tunniga 30 m^3 liiva 6 m kõrgusele. Leidke selle töö tegemiseks vajalik võimsus. Liiva tihedus on 1500 $\frac{kg}{m^3}$.

90. 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. 177).

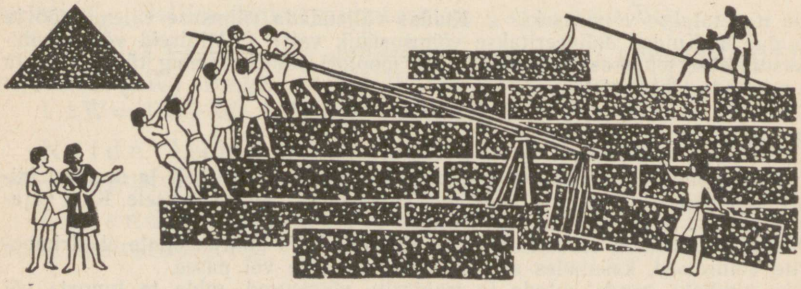


Joon. 177.

Kolm tuhat aastat tagasi nihutati ja tõsteti vanas Egiptuses püramiidide ehitamisel kangide abil raskeid kiviplaate (joon. 178).

Kangi abil võib küllalt väikese jõuvaruga 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. 179). Ka siin võidetakse jõus, sest kaldpinna juures on vajalik rakendada keha kaalust väiksemat jõudu.



Joon. 178.



Joon. 179.



Joon. 180.

Mõnikord pole vaja muuta mitte jõu suurust, vaid ainult selle mõjumise suunda. Seda võib teha näiteks liikumatu ploki abil (joon. 180).

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 mehhanisme, mis on lähedased kangile.

Küsimused.

1. Mida nimetatakse lihtmehhanismiks? 2. Milleks kasutatakse lihtmehhanisme? 3. Missugust lihtmehhanismi kasutati Egiptuses püramiidide ehitamisel?

91. Kang. Jõudude tasakaal kangil.

Kangiks nimetatakse kõva keha, mis võib pöörelda liikumatul teel.

Joonisel 177 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 181 (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.

Lühimat kaugust kangile rakendatud jõu mõjusirge[1] ja toetuspunkti vahel nimetatakse jõu õlaks.

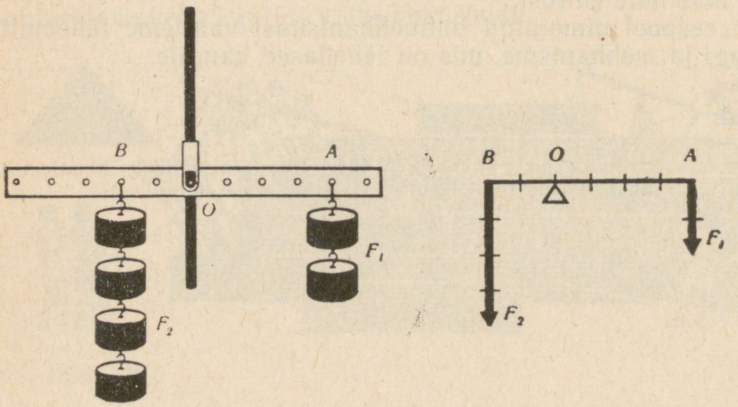
Selleks et leida jõu õlga, tuleb kangi toetuspunktist tõmmata ristsirge jõu mõjusirgele. Selle ristsirge lõik, mis jääb toetuspunkti ja mõjusirge vahele, ongi jõu õlg. Joonisel 181 on *OA* jõu F_1 õlg; *OB* jõu F_2 õlg.

Kangile mõjuvad jõud võivad pöörata kangi ümber toetuspunkti kahes suunas, nii kellaosuti liikumise suunas kui ka vastupidi. Nii pöörab jõud F_1 (joon. 181) kangi kellaosuti liikumise suunas, jõud F_2 aga kellaosuti liikumisele vastassuunas.

Tingimuse, mille korral kang jääb temale rakendatud jõudude mõjul tasakaalu, võib kindlaks määrata katseliselt.

Kangile (joon. 181) riputatakse mõlemale poole toetuspunkti erineva suurusega koormusi selliselt, et kang iga koormustepaari

[1] Jõu mõjusirgeks nimetatakse sirget, mida mööda jõud on suunatud.



Joon. 181.

korral jääks tasakaalu. Kangile mõjuvad jõud on võrdsed nende koormuste kaaludega.

Iga tasakaalu korral mõõdetakse kangile mõjuvad jõud ja nende õlad.

Jooniselt 181 näeme, et jõud 2 N on tasakaalus jõuga 4 N. See-juures on aga väiksema jõu õlg kaks korda pikem kui suurema jõu õlg.

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 (joon. 181).

Kangi tasakaalu tingimuse avastas vana-kreeka teadlane Archimedes.

N ä i d e. 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.

L a h e n d u s. 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 $l_2 = 0{,}6\ \text{m}$.

$$F = P \frac{l_2}{l_1};\quad F = 2400\ \text{N} \frac{0{,}6\ \text{m}}{2{,}4\ \text{m}} = 600\ \text{N}.$$

Küsimused.

1. Mida kujutab endast kang? 2. Mida nimetatakse jõu õlaks? 3. Kuidas leida jõu õlga? 4. Missugust mõju avaldavad jõud kangile? 5. Milles seisneb kangi tasakaalu tingimus? 6. Milline vanaaja õpetlane avastas kangi tasakaalu tingimuse?

Ülesanne.

Asetage joonlaua alla väike tugi selliselt, et joonlaud jääks tasakaalu. Tasakaalustage saadud kangil 5-kopikaline ja 1-kopikaline münt. Mõõtke jõudude õlad ja kontrollige kangi tasakaalu tingimust. Korrake katset 2-kopikalise ja 3-kopikalise mündiga.

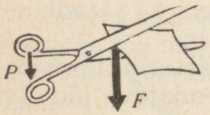
M ä r k u s. 1-, 2-, 3- ja 5-kopikalise mündi mass on vastavalt 1; 2; 3 ja 5 g.

92. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus.

Kangi tasakaalu tingimusel (§ 91) põhinevaid instrumente ja seadmeid kasutatakse tehnikas ja igapäevases elus seal, kus tahetakse võita jõus.

Jõus võidame me kääridega töötamisel. Käärid kujutavad endast samuti kangi (joon. 182).

Sellise kangi toetuspunktiks on kääriterade ühenduskruvi. Mõjuvaks jõuks *P* (joon. 182, *a*) 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. 182, *a*), sest paberi lõikamine ei nõua suurt jõupingutust. Küll on aga pikkade lõiketeradega hõlbus saada sirgjoonelist lõiget. Plekikääridel (joon. 182, *b*) on alati käepidemete osa lõiketeradest tunduvalt pikem, sest metalli takistus on suur. Selle ületamiseks peabki mõjuva jõu õlg, s. t. käepidemete osa olema küllaldase pikkusega.

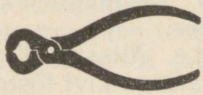


a



b

Joon. 182.



Joon. 183.

Eriti suur on erinevus käepidemete pikkuse ja lõiketerade ning toetuspunkti (ühenduskruvi) vahelise kauguse vahel lõiketangide juures (joon. 183), 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.

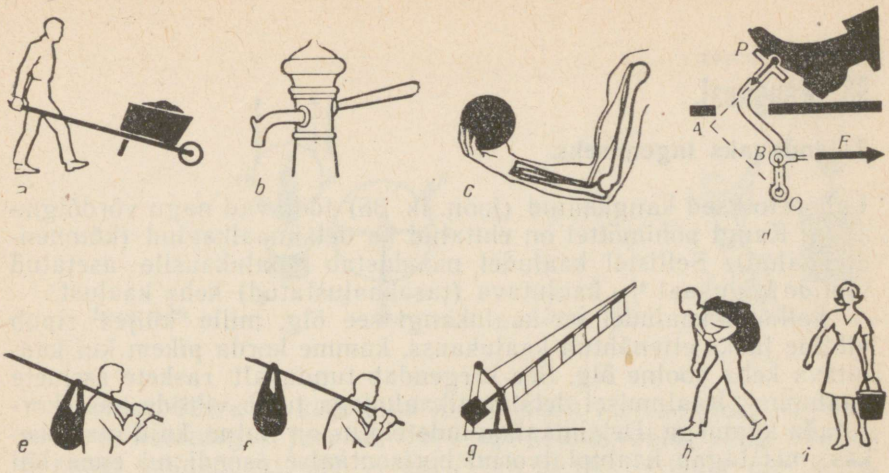
Näiteid kangide kasutamise kohta võite te leida ka oma kooli töökojast. Nendeks on kruustangide ja höövelpinkide käepidemed, puurmasina kang jne.

Küsimused.

1. Tooge näiteid kangide kasutamisest igapäevases elus, tehnikas ja kooli töökojas. 2. Selgitage, miks võidetakse kääride ja lõiketangide abil jõus.

Harjutus 39.

1. Leidke joonisel 184 kujutatud kangide toetuspunktid ja jõudude õlad. Missuguse asendi juures rõhub kompsu kandmiseks kasutatav kepp kõige vähem õlga?



Joon. 184.



Joon. 185.

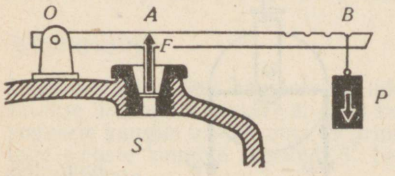
2. Selgitage aeru kui kangi tegevust (joon. 185).
3. Miks on siis kergem lõigata, kui plekk asub kääride ühenduskruvile võimalikult lähedal?
4. Joonisel 186 on kujutatud kaitseventiili läbilõige[1]. Kui suur koormus P tuleb riputada kangile, et 12 at all olev aur katlast välja ei pääseks? Ventiili klapi pindala $S=3$ cm^2, klapi ning kangi kaalu mitte arvestada. Jõudude õlad mõõta jooniselt.
5. Joonisel 187 on kujutatud kraana ja selle skeem. Kui suurt koormat võib tõsta selle kraanaga, kui vastukaalu mass on 1000 kg?

Ülesanne.

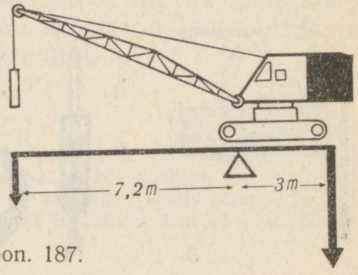
Vaadelge näpitstangide (või lõiketangide, suhkrutangide, plekikääride) ehitust. Leidke pöörlemistelg, mõjuva jõu ja takistusjõu õlad. Tehke kindlaks, mitu korda võib vaadeldava instrumendiga võita jõus.

---

[1] Kaitseventiil on spetsiaalne seade, mis avab aurukatlas auru väljavooluava, kui auru rõhk ületab ettenähtud normi.



Joon. 186.



Joon. 187.

93. Kangkaal.

Täiendavaks lugemiseks.

Laboratoorsed kangkaalud (joon. lk. 38) 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 seaduspärasustel.

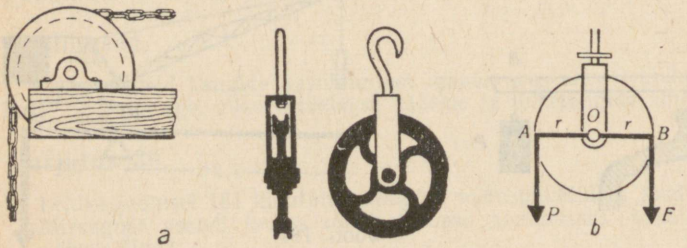
94. Kangi tasakaalu tingimuse kasutamine ploki juures.

Plokk kujutab endast soonega ratast, mis on kinnitatud plokikahvlisse (joon. 188, *a*). Üle plokiratta pannakse nöör, tross või kett.

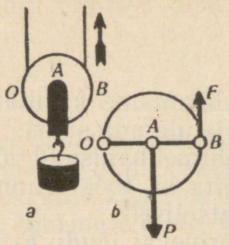
Liikumatuks plokiks nimetatakse sellist plokki, mille telg raskuse tõstmise ajal jääb paigale (ei tõuse ega lange).

Liikumatut plokki võib vaadelda kui võrdõlgset kangi, millele rakendatud jõudude õlad on võrdsed plokiratta raadiusega (joon. 188, *b*) : $OA = OB = r$.

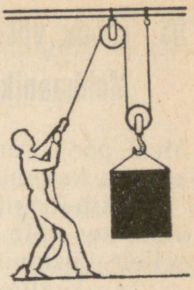
Sellise plokiga jõus ei võida ($P = F$). Plokk võimaldab aga muuta jõu mõjumise suunda.



Joon. 188.



Joon. 189.

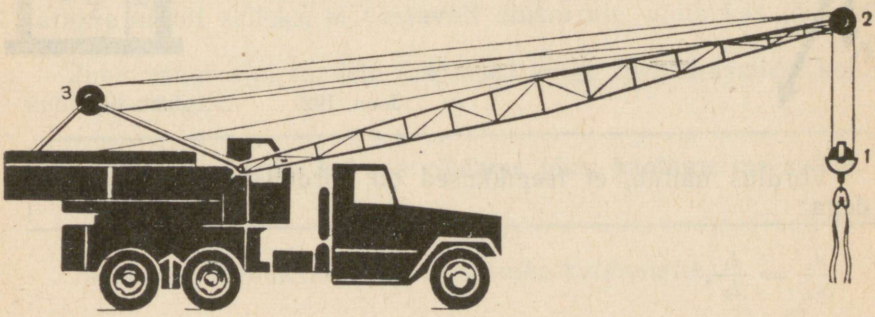


Joon. 190.

Joonisel 189, *a* on kujutatud liikuv plokk (sellise ploki telg tõuseb koos koormaga), joonisel 189, *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*.

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

Seega võidame liikuva plokiga jõus kaks korda.



Joon. 191.

Praktikas kasutatakse tavaliselt liikumatu ja liikuva ploki kombinatsiooni (joon. 190). Joonisel 191 on kujutatud liikuva (*1*) ja liikumatu ploki (*2*, *3*) kasutamine autokraanal.

Küsimused.

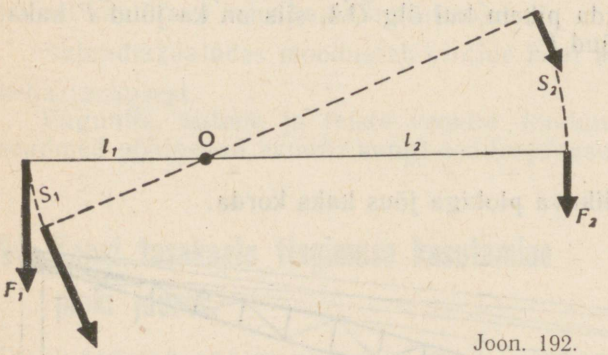
1. Missugust plokki nimetatakse liikumatuks? liikuvaks? 2. Mis otstarbel kasutatakse liikumatut plokki? 3. Mitu korda võidetakse liikuva plokiga jõus? 4. Missugusele kangile vastab oma tööprintsiibilt liikumatu plokk? liikuv plokk? Joonistage selliste kangide skeemid. 5. Tooge praktikast tuttavaid näiteid ploki kasutamise kohta.

95. Tööde võrdsus lihtmehhanismide kasutamisel. Mehhaanika «kuldreegel».

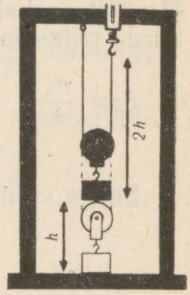
Meie poolt tundmaõpitud lihtmehhanisme kasutatakse töötegemisel siis, kui väikese jõu abil on vaja ületada suurt.

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. 192) 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.



Joon. 192.



Joon. 193.

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

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

Järelikult, **kangile rakendatud jõudude rakenduspunktide poolt läbitud teepikkused on 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. 188), sest jõud on ühesuurused ning nende rakenduspunktide poolt läbitud teed samuti. Seepärast peavad võrdsed olema ka nende jõudude tööd.

Võib mõõta ja omavahel võrrelda liikuvale plokile rakendatud jõudude poolt tehtavaid tööhulki. Selleks tõstame mingit koormust liikuva ploki abil (joon. 193). 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.

Seega ei anna töös võitu ei kang ega plokk.

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. Milles seisneb mehhaanika *kuldreegel*?

Harjutus 40.

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? Kui palju tööd tehakse keha tõstmisel 5 m kõrgusele?
3. Kuidas saab liikuvat plokki kasutada teepikkuses võitmiseks?
4. 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.

Ülesanne.

Tõestage, et mehhaanika *kuldreegel* kehtib ka hüdraulilise masina kohta.

J u h i s. Tõestamisel kasutage joonist 97. Kui väike kolb jõu F_1 mõjul langeb mingi kõrguse h_1 võrra, siis tõrjub ta mingi hulga vedelikku välja. Sama koguse võrra suureneb vedeliku hulk suure kolvi all, mis selle tulemusena tõuseb h_2 võrra. Hõõrdumist kolbide ja anumate seinte vahel mitte arvestada.

96. 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 tehtud 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).

$$\eta = \frac{A_{kas}}{A}.$$

Harilikult väljendatakse kasutegur protsentides:

$$\eta = \frac{A_{kas}}{A} \cdot 100\%.$$

N ä i d e 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 $A_{\text{kas}} = Ph_1$; $A_{\text{kas}} = 980\ \text{N} \cdot 0{,}08\ \text{m} = 78{,}4\ \text{J} \approx 80\ \text{J}$.

Kogu töö $A = Fh_2$; $A = 250\ \text{N} \cdot 0{,}4\ \text{m} = 100\ \text{J}$.

Kasutegur $\eta = \frac{A_{\text{kas}}}{A} \cdot 100\%$; $\eta = \frac{80\ \text{J}}{100\ \text{J}} \cdot 100\% = 80\%$.

Küsimused.

1. Millist tööd nimetatakse kasulikuks tööks? Kogu tööks? 2. Miks ei ole mehhanismide abil raskuste tõstmiseks tehtud töö võrdne seejuures tehtava kasuliku tööga? 3. Mis on mehhanismi kasutegur? 4. Kas võib kasutegur olla suurem kui 1? Põhjendage vastust.

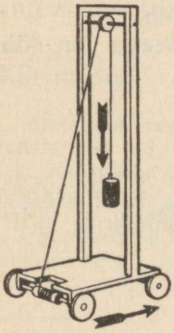
97. Energia.

Tehastes ja vabrikutes töötavad masinad ja tööpingid käitatakse tavaliselt elektrimootoritega. Viimased aga tarbivad seejuures elektrienergiat.

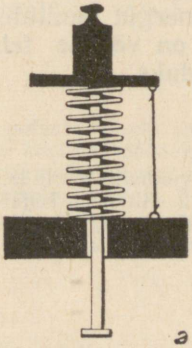
Autode ja lennukite mootorid teevad tööd põleva bensiini energia arvel, auruvedurid ning auruturbiinid kulutavad naftas talletatud energiat, hüdroturbiinid aga kasutavad langeva vee energiat. Selleks et elada ja töötada, peame ka meie ise täiendama oma energiavarusid.

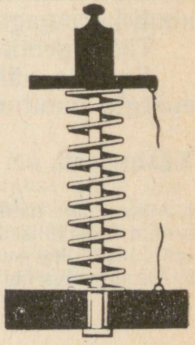
Sõna *energia* leiab sageli kasutamist ka igapäevases elus. Nii nimetatakse inimesi, kes suudavad palju teha, energilisteks, suure energiaga inimesteks.

Mis on energia? Sellele küsimusele vastamiseks vaatleme mõningaid näiteid.

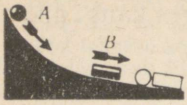


Joon. 194.





Joon. 195.



Joon. 196.

Laua kohale tõstetud keha ei tee tööd, kui aga lasta keha langeda, siis ta teeb tööd.

Joonisel 194 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. 195) või paneb veerema vankrikese.

Kõik liikuvad kehad on võimelised tegema tööd. Nii näiteks lööb kaldpinda mööda allaveerev teraskuul *A* (joon. 196) 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.

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.

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 võib energia mõiste kaudu defineerida tööd? 5. Missugustes ühikutes mõõdetakse energiat?

98. 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. See energia oleneb keha ja Maa vastastikusest asendist.

Loeme maapinnal asuva keha potentsiaalse energia nulliks. Siis on maapinnalt mingile kõrgusele tõstetud keha potentsiaalne energia võrdne tööga, mida see keha teeb maapinnale langemisel.

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.

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?

---

[1] Ladinakeelsest sõnast *potentia* — võime.

99. Kineetiline[1] energia.

Energiat, mis kehal on oma liikumisest tingituna, nimetatakse kineetiliseks energiaks.

Voolav vesi, mis paneb tööle elektrijaama turbiinid, kaotab oma kineetilise energia, tehes seejuures tööd. Kineetiline energia on ka liikuval õhul — tuulel.

Kineetilise energia nullnivooks võib võtta Maa suhtes paigalseisva keha kineetilise energia.

Mida suurem on keha mass ja liikumise kiirus, seda suurem on keha kineetiline energia.

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.

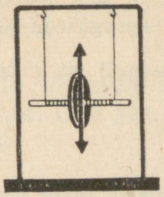
1. Missugust energiat nimetatakse kineetiliseks energiaks? 2. Missugust nivood loetakse kineetilise energia nullnivooks? 3. Nimetage kehi, millel on olemas kineetiline energia. 4. Kuidas oleneb keha kineetiline energia keha massist ja liikumise kiirusest? 5. Missugust energiat on lendaval lennukil? töötava kella pommil?

100. Mehhaanilise energia ühe liigi muundumine teiseks.

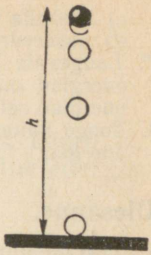
Looduses, tehnikas ja igapäevases majapidamises võib pidevalt näha mehhaanilise energia ühe liigi muundumist teiseks, nimelt potentsiaalse energia muundumist kineetiliseks ning samuti kineetilise energia muundumist potentsiaalseks.

Väga hea on seda nähtust vaadelda seadme abil, mis on kujutatud joonisel 197. 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

[1] Kreekakeelsest sõnast *kinēma* — liikumine.



Joon. 197.



Joon. 198.

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.

Energia muundumine ühest liigist teise toimub ka mingi kahe elastse keha põrkumisel, näiteks kummipalli põrkamisel vastu põrandat või teraskuuli põrkamisel terasplaadilt.

Kui tõsta teraskuul terasplaadi kohale (joon. 198) 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 põrkab 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.

Ükskõik millised nähtused looduses ka ei toimuks, kaasneb nendega alati ühe energialiigi muundumine teiseks.

Küsimused.

1. Kuidas saab katseliselt näidata ühe mehhaanilise 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;

[1] Osa energiat kulub hõõrdumise ületamiseks, seepärast ei tõusegi ketas endisele kõrgusele.

c) käekella vedru üleskeeramine;
d) uksevedru kasutamine.

2°. Langevate kehade massid on ühesugused. Kas nende kehade potentsiaalsed energiad on ühel ja samal kõrgusel ühesugused? Kas kehade kineetilised energiad sellel kõrgusel on ühesugused?

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.

101. 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 $7{,}2 \cdot 10^{18}$ J 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.

«Valge söe» energial töötavad Nõukogude Liidus võimsad hüdroelektrijaamad. Elektrijaamade ehitamine on meie maa jaoks suure tähtsusega ülesanne. Tänu sotsialistlikule ülesehitustööle lahendatakse seda ülesannet 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.

102. 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

$$W_p = 1000\ \text{kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 50\ \text{m} \approx 500\,000\ \text{J}.$$

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.

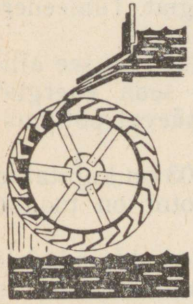
Ülespaisutatud vee energia arvel võivad hüdraulilised jõumasinad teha mehhaanilist tööd.

Üheks lihtsamaks ja vanemaks hüdrauliliseks jõumasinaks on vesiratas. (Joonisel 199 on toodud pealtlöödava vesiratta lõige.) Sellises jõumasinas kasutatakse põhiliselt vee potentsiaalset energiat ning ainult osaliselt kineetilist energiat. Tänapäeval ehitatakse vesirattaid väga harva.

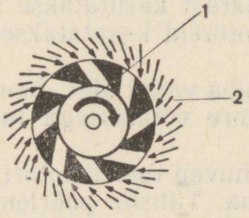
Kaasaegseteks hüdraulilisteks jõumasinateks on veeturbiinid. Sellistes turbiinides annab vesi oma energia tööratta labadele, pannes need liikuma.

Joonisel 200 on kujutatud vee voolamise skeem turbiinis. Selle turbiini tööratas *1* asub pöörlemislabadega juhtratta *2* sees. Juhtratta labade abil reguleeritakse veekulu turbiinis.

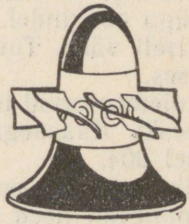
Juhtratta labadelt liigub vesi suure kiirusega tööratta labadele



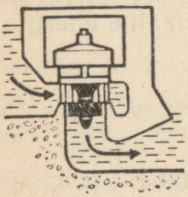
Joon. 199.



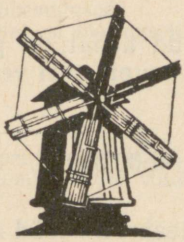
Joon. 200.



Joon. 201.



Joon. 202.



Joon. 203.



Joon. 204

ning liigub nendelt äravoolutorusse tunduvalt väiksema kiirusega. Vee kineetiline energia väheneb tehtud töö võrra.

Joonisel 201 on kujutatud suure veeturbiini tööratas. Turbiini tööratas on kinnitatud elektrienergiat tootva generaatori võllile.

Joonisel 202 on aga 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 15 000 kN. Tööratta iga laba kaalub juba 200 kN. Suurte turbiinide tööratastе diameeter ulatub 10 meetrini.

Veeturbiini võll pöörleb töötamisel suhteliselt väikese kiirusega, ligikaudu 68 pööret minutis.

103. Tuulemootorid.

Täiendavaks lugemiseks.

Tuulemootorid kasutavad liikuva õhu — tuule energiat. Tuuleenergiat nimetatakse mõnikord «sinise söe» energiaks.

Tuul kujutab endast odavat energiaallikat. Kahjuks on see allikas väga ebakindel. Seepärast kasutatakse senini seda energiat suhteliselt vähe. Tuulemootoreid kasutatakse tänapäeval põllumajanduses.

Tuulemootoreid tunti juba vanal ajal. Joonisel 203 on kujutatud tuuleveski. Kaasaegne suure võimsusega tuulemootor on toodud joonisel 204.

Liikuvad õhumassid rõhuvad tuulemootori tiibade kaldpindadele ning panevad need liikuma. Tiibade pöörlemine antakse vastava ülekandesüsteemi abil üle mingi töö tegemiseks kohaldatud mehhanismile.

Tuulemootoreid kasutatakse kaevust vee tõstmiseks, vee pumpamiseks veetornidesse, sovhoosides, kolhoosides ning raudteejaamades elektrienergia tootmiseks jne.

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 202 kujutatud turbiinis?

LABORATOORSED TÖÖD.

1. Keha massi mõõtmine kangkaaludel.

Töövahendid ja materjalid: kangkaalud, kaaluvihtide komplekt, mõned erineva massiga esemed, anum, haavlid või kuiva puhast liiva.

Tööjuhend. 1. Lugege läbi «Kaalumise reeglid» laboratoorse töö lisast.
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. tareerimismeetodit. 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 ja selgitage, miks saab tareerimismeetodil määrata küllalt täpselt keha massi ka tasakaalust väljas olevate kaaludega.

Lisa.

Kaalumise reeglid.

1. Enne kaalumist veenduge, et kaalud on tasakaalus. Kui kaalusid on vaja tasakaalustada, paigutage kergemale kaalukausile paberi- või papitükikesi, kuni saavutatakse tasakaal.
2. Kaalutav ese paigutatakse vasakule kaalukausile, vihid aga paremale kaalukausile.
3. Et mitte lõhkuda kaalusid, tuleb kaalutav ese ja kaaluvihid asetada ettevaatlikult kaalukaussidele. Neid ei tohi lasta kaalukaussidele kukkuda isegi väikeselt kõrguselt.
4. Ei tohi kaaluda märgitud piirkoormusest raskemaid esemeid.
5. Kaalukaussidele ei tohi asetada märgi, määrdunud ja kuumi kehi, puistata ilma vastavate alusteta pulbreid ning valada vedelikke.
6. Väikesi kaaluvihte tuleb paigutada ainult pintsettidega (joon. 205).



Joon. 205.

Asetanud kaalutava keha vasakule kaalukausile, **paigutatakse** paremale kausile **viht, mille mass on veidi** suurem kaalutava keha massist (valitakse silma järgi ning **kontrollitakse siis**). Sellest reeglist mitte kinni pidades ning püüdes tasakaalu saavutada juhuslike vihtide paigutamisega, võib juhtuda, et väikseid vihte ei jätku ning kaalumist tuleb alustada uuesti.

Kui meie poolt valitud viht koormab kaalu üle, siis paigutame ta vihtide karpi tagasi. Kui aga viht osutub väiksemaks keha massist, jätame ta kaalukausile. Nüüd toimime analoogiliselt suuruselt järgmise vihiga. Toimime kirjeldatud viisil seni, kuni saavutame tasakaalu.

Pärast kaalude tasakaalustamist arvutame vihtide kogumassi kaalukausil. Seejärel paigutatakse vihid karpi oma kohtadele tagasi.

2. Tahke keha tiheduse määramine.

Töövahendid ja materjalid: kangkaalud, kaaluvihtide komplekt, mensuur, tahke keha, mille tihedust on tarvis mõõta (näiteks portselanrullike või alumiiniumsilinder), niiti.

Tööjuhend. 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 (joon. 206). Nüüd tuleb niidi otsa seotud keha lasta mensuuris olevasse vette ning teha kindlaks, mitme jaotuse võrra tõusis vesi mensuuris kõrgemale (joon. 207).
   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:

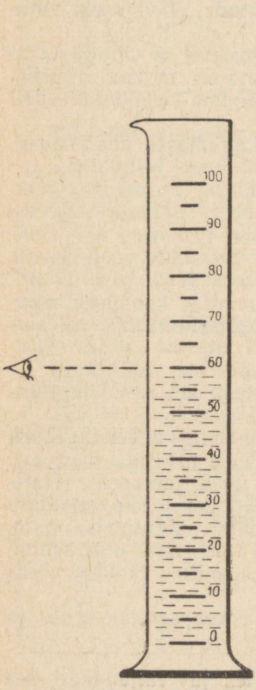
Aine nimetus	Keha mass		Keha ruumala		Aine tihedus	
	g	kg	cm^3	m^3	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{kg}{m^3}$

3. Vedru gradueerimine ja jõu mõõtmine dünamomeetriga.

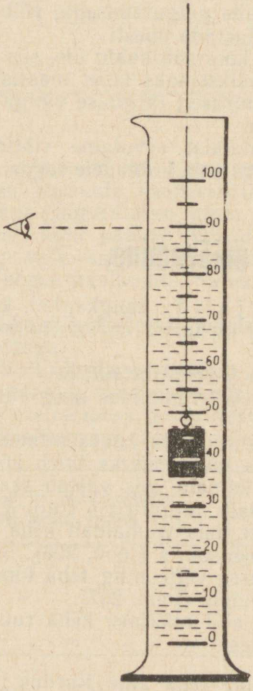
T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: dünamomeeter, mille skaala on paberiga kaetud. 102 g massiga koormused, statiiv näpitsa ja rõngaga.

T ö ö j u h e n d. 1. Lugege õpikust läbi § 39 «Dünamomeeter».

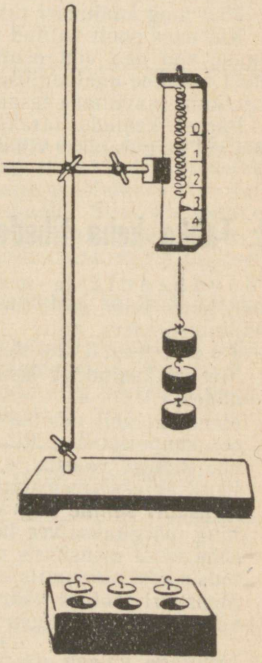
1. Kinnitage statiivi näpitsa külge vertikaalselt dünamomeeter. Märkige paberile dünamomeetri osuti asend. See on osuti nullasend.
3. Riputage dünamomeetri konksu külge koormus, mille mass on 102 g. Sellele koormusele mõjub raskusjõud 1 N. Sama jõuga venitab see koormus ka düna-



Joon. 206.



Joon. 207.



Joon. 208.

momeetri 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 (joon. 208).
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. Liughõõrdejõu mõõtmine ja selle võrdlemine keha kaaluga.

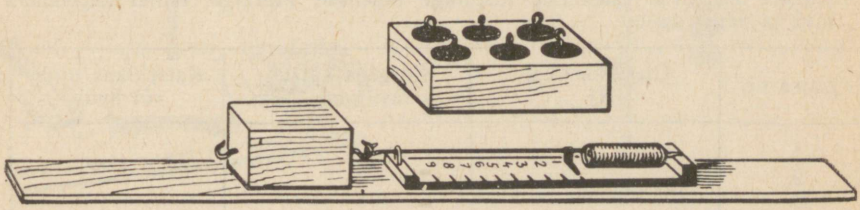
Töövahendid ja materjalid: dünamomeeter, väike puitklots, koormuste komplekt, sile laud (või joonlaud) (joon. 209).

Tööjuhend. 1. Lugege õpikust läbi § 44 «Millest oleneb hõõrdejõud?» ja § 35 «Keha kaal».

2. Kaaluge dünamomeetri abil puitklots.
3. Kinnitage dünamomeeter klotsi külge, vedage viimast ühtlaselt mööda horisontaalset lauda (või joonlauda) ning määrake hõõrdejõud. Ühtlasel vedamisel on hõõrdejõud võrdne veojõuga.
4. Koormake klots algul ühe, siis kahe ja lõpuks kolme koormusega. Iga juhu korral mõõtke hõõrdejõud.

Märkus. Veojõu mõõtmisel dünamomeetriga (see on võrdne hõõrdejõuga) on raske saada rangelt ühtlast klotsi liikumist. Dünamomeetri osuti võngub. Seepärast on iga mõõtmist tarvis 2—3 korda korrata ning vastuseks lugeda igal korral dünamomeetri äärmiste näitude keskmine väärtus.

5. Mõõtmistulemused kirjutage järgmisse tabelisse:



Joon. 209.

Katse nr.	Klotsi kaal		Hõõrdejõud
	koormusteta	koormustega	
1. 2. 3.			

6. Iga katse juures võrrelge hõõrdejõudu keha kaaluga. Millise järelduse võib keha kaalu ja hõõrdejõu kohta teha?
7. Kuidas muutub hõõrdejõud keha kaalu muutudes? Sellele küsimusele vastamiseks koostage eelmise tabeli andmete alusel järgmine tabel.

Katse nr.	Mitu korda suurenes keha kaal	Mitu korda suurenes hõõrdejõud
1. 2. 3. 4.		

Täiendav ülesanne.

Asetage klots lauale väiksema külgtahuga ja korrake eelpool kirjeldatud mõõtmisi.

Küsimus: kas oleneb hõõrdejõud libisemisel liikuva keha pinnast?

5. Kehade ujumine vedelikes.

T ö ö v a h e n d i d j a m a t e r j a l i d: kaalud koos kaaluvihtidega, mensuur, katseklaas-ujuk kummikorgiga, traatkonks, kuiva liiva, kuivatuspaberit või kuiv lapp.

T ö ö j u h e n d. 1. Lugege õpikust läbi § 82 «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 0,01 N.
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.	Üleslükkejõud (N)	Korgiga katseklaasi kaal (N)	Katseklaas ujub või upub
1. 2. 3.			

6. Kangi tasakaalu tingimus.

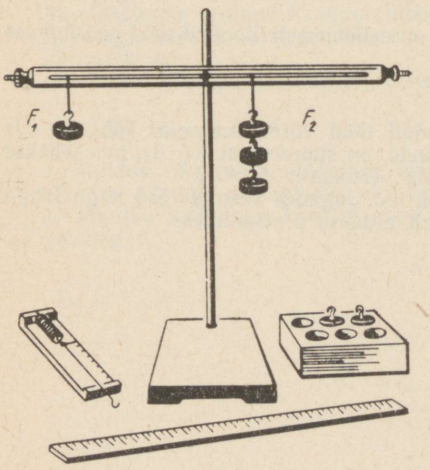
T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: kang statiivil, koormuste komplekt, mõõtejoonlaud, dünamomeeter (joon. 210).

T ö ö e e s m ä r k: teha katseliselt kindlaks, millise jõudude ja neile vastavate õlgade suhte korral on kang tasakaalus.

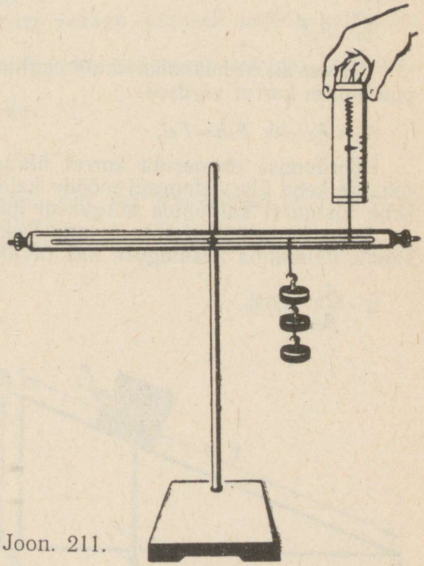
T ö ö j u h e n d. 1. Korrake õpikust § 91 «Kang. Jõudude tasakaal kangil».

2. Tasakaalustage kang. Selleks keerake kangi otstes olevaid mutreid seni, kuni kang asetub horisontaalselt.
3. Paigutage kangi vasakule poolele 2 koormust, näiteks 18 cm kaugusele pöörlemisteljest. Määrake katseliselt kindlaks, millisesse kohta kangi paremal poolel on kangi tasakaalustamiseks tarvis rakendada
   a) üks koormus;
   b) kaks koormust.
4. Arvestades, et iga koormus kaalub 1 N, kirjutage andmed ja mõõtmistulemused tabelisse.

Katse nr.	Jõud F_1 kangi vasakul poolel (N)	Õlg l_1 (cm)	Jõud F_2 kangi paremal poolel (N)	Õlg l_2 (cm)	Jõudude ja õlgade suhe	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$
1. 2. 3.						



Joon. 210.



Joon. 211.

5. Jätke kangi vasakule poolele kaks koormust. Tehke katseliselt kindlaks, millisele kaugusele pöörlemisteljest tuleb kangi paremale poolele rakendada kolm koormust, et kang jääks tasakaalu. Andmed ja mõõtmistulemused kanda tabelisse.
6. Arvutage tabeli viimane lahter jõudude ja õlgade suhte kohta kõigi katsete jaoks.
Kas katsete tulemused kinnitavad kangi tasakaalu tingimust, mida käsitleti § 91?

Täiendav ülesanne.

Riputage kangi paremale poolele kolm koormust 12 cm kaugusele pöörlemisteljest (joon. 211).

Tehke dünamomeetri abil kindlaks jõud, millega tuleb 18 cm kaugusel pöörlemisteljest hoida kangi tasakaalus.

Kuidas on sel juhul kangile rakendatud jõud suunatud? Kirjutage üles jõudude õlad. Arvutage jõudude suhe $\frac{F_1}{F_2}$ ja õlgade suhe $\frac{l_2}{l_1}$ selle juhu jaoks.

7. Kaldpinna kasuteguri määramine.

T ö ö v a h e n d i d ja m a t e r j a l i d: laud, dünamomeeter, mõõdulint või joonlaud, klots, statiiv muhvi ja näpitsaga.

Mehhaanika «kuldreegli» kasutamine kaldpinna juures (joon. 212).

Keha tõstmisel mööda vertikaali tehtav töö on võrdne raskusjõu F_1 ja kõrguse h korrutisega:

$$A_1 = F_1 h.$$

Samale kõrgusele võib tõsta keha tema ühtlasel vedamisel mööda kaldpinda pikkusega l, rakendades selleks jõudu F_2. Seejuures tehtava töö arvutame valemiga

$$A_2 = F_2 l.$$

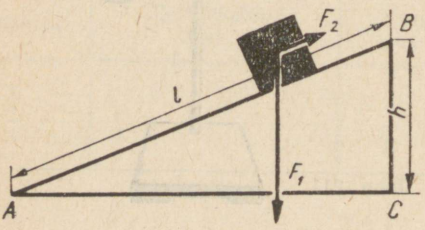
Vastavalt mehhaanika «kuldreeglile» on mõlemad ülaltoodud tööd hõõrdumise puudumise korral võrdsed:

$A_1 = A_2$ ehk $F_1 h = F_2 l$.

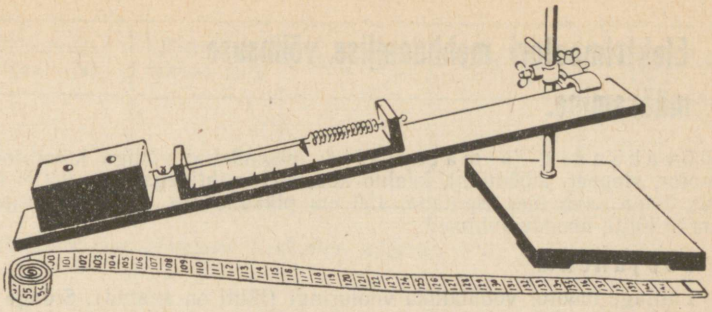
Hõõrdumise olemasolu korral ülaltoodud tööd võrdsed ei ole. Töö A_2, mis tehakse keha ülesvedamisel mööda kaldpinda, on suurem kui töö A_1, mis tehakse keha tõstmisel kaldpinna kõrguseni mööda vertikaali: $A_2 > A_1$.

A_2 on kogu tehtud töö, A_1 aga kasulik töö. Jagades kasuliku töö kogu tööga saame kaldpinna kasuteguri, mis tavaliselt antakse protsentides:

$$\eta = \frac{A_1}{A_2} \cdot 100\%.$$



Joon. 212.



Joon. 213.

T ö ö j u h e n d. 1. Tehke vihikusse järgmine tabel töö tulemuste üleskirjutamiseks:

Katse nr.	Kaldpinna kõrgus h (m)	Raskusjõud F_1 (N)	Klotsi vertikaalsel tõstmisel tehtud töö (kasulik töö) $A_1 = F_1 h$ (J)	Kaldpinna pikkus l (m)	Veojõud F_2 (N)	Klotsi kaldpinda mööda vedamisel tehtud töö (kogu töö) $A_2 = F_2 l$ (J)	Kasutegur $\eta = \frac{A_1}{A_2} 100\%$

2. Paigutage laud kaldasendisse (joon. 213).
3. Mõõtke lindi abil laua pikkus l ja tõusu kõrgus h. Tulemused väljendage meetrites.
4. Määrake klotsi raskusjõud F njuutonites.
5. Kinnitage klots dünamomeetri külge ning vedage ühtlaselt mööda kaldpinda üles. Määrake veojõud F_2 njuutonites.
6. Arvutage kasulik ja kogu töö, mis tehti klotsi tõstmisel mööda kaldpinda kõrgusele h.
7. Määrake kaldpinna kasutegur protsentides.

Täiendav ülesanne.

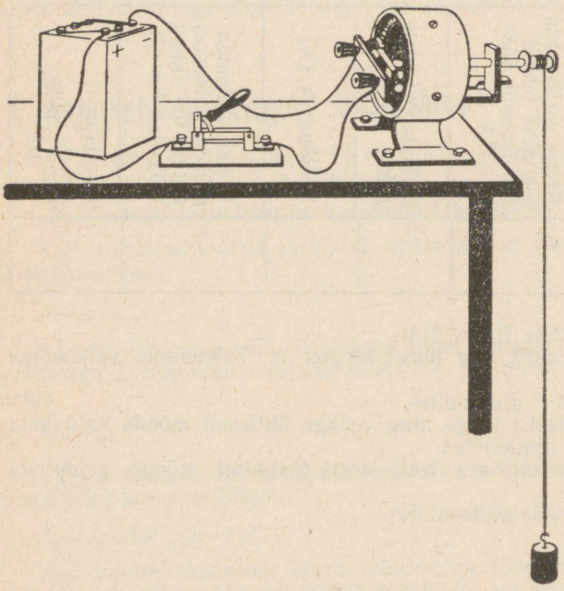
1. Kuidas võidetakse kaldpinna abil jõus siis, kui hõõrdumist ei arvestata? Vastamisel lähtuge mehhaanika «kuldreeglist».
2. Muutke kaldpinna kõrgust ning määrake uuesti kasulik töö, tehtud töö ja kasutegur.

8. Elektrimootori mehhaanilise võimsuse määramine.

Töövahendid ja materjalid: pikendatud võlliga laboratoorne elektrimootor, stopper, mõõdulint, kaalud koos kaaluvihtidega, 0,1—0,2 N kaaluv 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 (joon. 214).



Joon. 214.

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, seisake üheaegselt stopper ja mootor (katkestage vooluring lüliti abil).
4. Arvutage mootori poolt tehtud töö džaulides:

   $A = Fh.$

5. Teades aega, arvutage mootori võimsus vattides:

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

   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.					

Leidke mehhaanilise võimsuse keskmine väärtus.

HARJUTUSTE VASTUSED.

Harjutus 6. **1.** $0{,}75\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **2.** $5\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **3.** $25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Harjutus 7. **1.** $\approx 13\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **2.** $\approx 8\frac{\text{m}}{\text{s}}$; $4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Harjutus 8. **1.** 12—18 m; 125 m; 200 m. **2.** 240 m. **3.** 4500 km. **4.** 200 s; 20 s. **5.** Jõuab.

Harjutus 9. **4.** 10 korda.

Harjutus 10. **1.** $0{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **2.** 0,01 kg.

Harjutus 12. **4.** $0{,}2\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; $200\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **5.** $800\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. **6.** $\approx 7\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$; $7000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Harjutus 13. **1.** 10 kg; 8 kg; 136 kg. **2.** 1130 g. **3.** ≈77 t. **4.** 4 kg. **5.** 120 cm^3. **6.** 1,5 cm^3.

Harjutus 16. **1.** ≈25 N; ≈8 N; ≈12 000 N; ≈0,5 N. **2.** ≈100 N; ≈2 N. **3.** ≈30 000 N. **4.** ≈80 kg.

Harjutus 17. **3.** ≈30 000 N.

Harjutus 18. **1.** ≈900 N. **2.** 10 N. **3.** 700 N.

Harjutus 19. **4.** $\approx 42\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Harjutus 22. **1.** 450 N. **2.** 1 200 000 N. **3.** 90 korda; 100 korda.

Harjutus 23. **1.** $\approx 6000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; $\approx 4800\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; $\approx 82\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **2.** $\approx 112\,000\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **3.** $\approx 2\,000\,000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$; $\approx 150\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **4.** 0,005 m^2.

Harjutus 24. **2.** $\approx 70\,000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **3.** $\approx 30\,000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. **4.** $15\,000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Harjutus 25. **3.** 12,5 cm.

Harjutus 27. **6.** ≈28 800 N.

Harjutus 28. **1.** ≈460 m.

Harjutus 29. **1.** 76 cm. **2.** ≈13 m.

Harjutus 30. **4.** ≈1 N; ≈0,8 N.

Harjutus 31. **1.** $16\,000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$; 1,5 kg kulda ja 0,5 kg hõbedat.

Harjutus 34. **1.** Väheneb. **2.** 10 000 m^3.

Harjutus 37. **1.** ≈300 000. J. **2.** ≈240 000 J. **3.** 450 000 000 J.

Harjutus 38. **1.** 180 kWh. **2.** ≈60 W. **4.** 180 000 000 J. **5.** 750 W.

Harjutus 39. **4.** ≈110 N. **5.** ≈4200 N.

Harjutus 40. **1.** 3 m. **2.** 2240 J; 1600 J. **4.** 25 N; 5 cm.

Harjutus 42. **3.** 1 000 000 J. **4.** ≈5600 m^3.

KORDAMISÜLESANDEID.

Algteadmisi aine ehitusest.

1. Millisel nähtusel põhineb soolaheeringate leotamine? Selgitage, kuidas toimub soola üleminek heeringast vette.
2. Kui paigutada piimatilgake mikroskoobi alla, võib selles näha väikesi rasvakerakesi. Miks need kerakesed liiguvad korrapäratult? Miks piima temperatuuri tõstmisel rasvakerakeste kiirus suureneb?
3. Ühe ja sama temperatuuri korral toimub difusioon gaasides kiiremini kui vedelikes. Selgitage, miks.
4. Miks koguneb koor piima peale külmas ruumis kiiremini kui soojas?
5. Klaaspudeli tihedaks sulgemiseks kasutatakse lihvitud klaaskorke. Pudeli kaela ja korgi kokkupuutekohad lihvitakse hoolikalt. Millisel nähtusel põhineb selliste korkide kasutamine?
6. Valage kahte klaasi ühesugused kogused vett. Üks neist paigutage sooja kohta, teine külma (külmutuskappi, akna taha, esikusse). Mõne aja pärast laske mõlemasse klaasi tükike keemilise pliiatsi südant (ehk kaaliumpermanganaadi terake). Jätke klaasid endistesse kohtadesse. Vaadelge, kuidas toimub difusioon nendes klaasides. Märkige värvunud vee piir anumates iga 2 tunni tagant. Tehke järeldus.
7. Märg pesu riputati talvel õue. Miks on pärast pesu jäätumist seda raske sirutada ja kokku panna?

Liikumine ja jõud. Mehhaaniline liikumine.

8. Traktor liigub mööda pinnast. Kuidas liigub pinnase suhtes traktori roomiku ülemine ja alumine osa?
9. 18 km pikkuse tee läbib jalakäija 5 tunniga, lennuk 2 minutiga, reaktiivlennuk 40 sekundiga. Arvutage nende kehade keskmised kiirused ja võrrelge neid.
10. Poiss jälgis temast 680 m kaugusel töötava metsatöölise tööd. Kirvelöögi häält kuulis poiss 2 sekundit pärast lööki. Arvutage nende andmete alusel hääle kiirus õhus.
11. Halljänes jookseb 60 km 1 tunniga, hunt aga 1 tunni 20 minutiga. Arvutage ja võrrelge nende loomade kiirusi.
12. Imetajatest kõige kiiremini jookseb gepard. Lühikestel distantsidel võib ta liikuda kiirusega 90 $\frac{km}{h}$. Võrrelge seda kiirust auto kiirusega 30 $\frac{m}{s}$.
13. Esimene kosmiline kiirus (kiirus, mille keha peab saama, et muutuda Maa tehiskaaslaseks) on 8 $\frac{km}{s}$. Kui kaugele jõuab stardipaigast 1 minutiga sellise kiirusega liikuv rakett?

14. 1937. a. lendas nõukogude lennuk AHT-25 (V. Tškalovi meeskonnaga) vahemaandumiseta Moskvast USA-sse. 56 tunni 21 minutiga lennati 9374 km. Arvutage lennuki kiirus.

15. Nõukogude kosmoserakett kattis 410 000 km pikkuse vahemaa Maalt Kuule 38,5 tunniga. Arvutada raketi keskmine kiirus.

16°. Mootorpaat läbis esimese 5 minutiga 2 km, järgmise 12 minutiga 5,5 km ja viimase 3 minutiga 900 m. Kas paadi liikumist võib nimetada ühtlaseks? Arvutage mootorpaadi keskmine kiirus vaadeldavas ajavahemikus.

17. Reisilennuk lendas tee kohal 1 minuti. Arvutage lennuki poolt tee kohal läbitud vahemaa, kui lennuki kiirus on $840\frac{km}{h}$.

18. Maa liigub ümber Päikese keskmise kiirusega $30\frac{km}{s}$. Kui pika tee läbib Maa oma orbiidil 1 minutiga? 1 tunniga?

Keha mass.

19. Kahe vankrikese vastastikuse mõju (joon. 36) tulemusena muutus ühe vankrikese kiirus $1\frac{m}{s}$ võrra, teise kiirus aga $50\frac{cm}{s}$ võrra. Kumma vankrikese mass on suurem ja mitu korda?

20. 0,8 kg massiga vankrike põrkas vastu teist vankrikest. Arvutage teise vankrikese mass, kui selle kiirus muutus 4 korda rohkem kui esimese vankrikese kiirus.

21. Paati tõmmatakse köiega suure auriku poole. Kas liigub seejuures aurik ka paadi poole (vee suhtes)?

22. 10 g massiga kuul lendas püssist välja kiirusega $600\frac{m}{s}$. Püssi tagasilöögi kiirus seejuures oli $1{,}2\ \frac{m}{s}$. Kui suur on püssi mass?

23. Ohk on mitme gaasi — hapniku, vesiniku, lämmastiku jt. segu. Nende gaaside molekulid põrkavad oma liikumisel üksteise vastu. Missuguste molekulide põrgetel on kiiruste muutused ühesugused, missuguste molekulide juures aga erinevad? Miks?

24. Vesiniku molekul põrkas vastu veeauru molekuli. Kumma molekuli kiirus muutus seejuures rohkem? Mitu korda?

Tihedus.

25. Ühesuguse massiga kuubikutest on üks kuusepuidust (tihedus 0,4 g/cm³), teine tammepuidust. Kumma kuubiku ruumala on suurem? Mitu korda?

26. Joonisel 215 on kujutatud ühesuguse massiga risttahukad, mis on valmistatud vasest, alumiiniumist, tinast, kullast ja pliist. Kasutage tiheduste tabeleid ning määrake, millisest metallist on iga risttahukas.

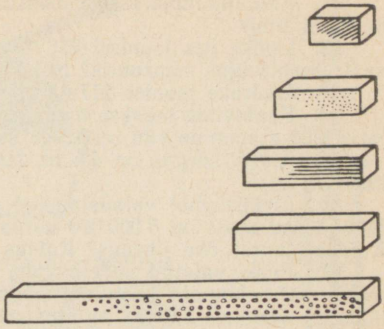
27. Mensuuri on valatud 100 g vett. Sama mensuuriga mõõdeti veel samasugune mass petrooleumi, masinaõli ja väävelhapet. Tehke joonis ning märkige seal iga vedeliku nivoo.

28. Kivi mass on 5,2 kg, ruumala 2000 cm³. Arvutage kivi tihedus.

29. Masinaosa puidust mudeli ruumala on 200 cm³ ja mass 140 g. Terasest masinaosa enda mass on 1560 g. Arvutage toodud andmete alusel terase ja puidu tihedus.

30. Arvutage bensiini tihedus, kui on teada, et 35 t bensiini ruumala on 50 m³.

31. Arvutage taimeõli tihedus, kui 1 l taimeõli mass on 920 g.



Joon. 215.

32. Luisu pikkus on 30 cm, laius 5 cm ja paksus 2 cm. Luisu mass on 690 g. Arvutage luisu materjali tihedus kg/m³-tes ja g/cm³-tes.

33. Arvutage 2 m³ ruumalaga marmoritüki mass, 100 cm³ ruumalaga parafiinitüki mass, 2,5 m³ ruumalaga graniitsamba mass, 0,3 m³ ruumalaga malmdetaili mass ja 12 dm³ ruumalaga tammelaua mass.

34. 40 cm pikkusesse ja 20 cm laiusesse akvaariumi valati 35 cm kõrguseni vett. Arvutage akvaariumi valatud vee mass. Kui suur on niisama suure masinaõlikoguse mass?

35. Arvutage aknaklaasi mass, kui klaasi pikkus on 1,5 m, kõrgus 0,8 m ja paksus 0,6 cm.

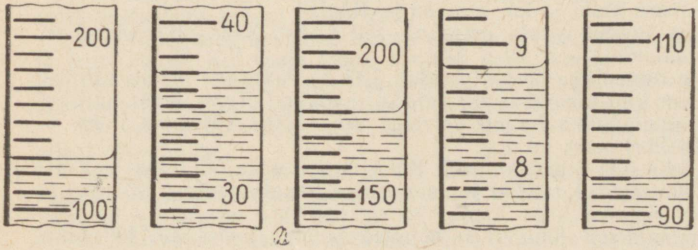
36. Graniidist rändrahnu mass on 3,4 t. Kui suur on rahnu ruumala?

37. Kui palju raudteetsisterne on vaja 200 t nafta vedamiseks, kui iga tsisterni maht on 50 m³.

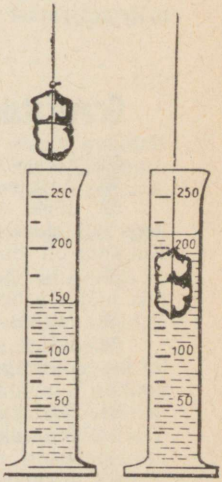
38°. 2,5 mm² ristlõike pindalaga vasktraadivihi mass on 1,78 kg. Arvutage traadi pikkus.

39. Klaas mahutab 250 g vett. Kui palju mett võib valada sellesse klaasi (mee tihedus on 1,4 g/cm³).

40°. Tühja pudeli mass on 460 g. Veega täidetult on pudeli kogumass 960 g, päevalilleõliga täidetult aga 920 g. Arvutage toodud andmete alusel päevalilleõli tihedus. (Vee tihedus lugeda antuks.)



Joon. 216.



Joon. 217.

41. Alumiiniumist eseme mass on 300 g, ruumala aga 150 cm^3. Kas see ese on seest tühi?

42. Leidke iga joonisel 216 toodud mensuuri jaotuse väärtus. Kui suur on vee ruumala igas mensuuris? Kui suur on vee mass igas mensuuris?

43. Määrake joonise 217 järgi mensuuri lastud keha ruumala.

44. Kaaluvihte tehakse malmist, valgevasest ja portselanist. Millisest materjalist 500-grammine viht on kõige suurem? Arvutage nende vihtide ruumalad.

45. Klassi kõrgus on 4,5 m, laius 6 m ja pikkus 9 m. Arvutage õhu mass klassis.

46. Elektrilambi valmistamisel pumbati sellest õhk välja selliselt, et lampi jäänud õhu mass on 8 000 000 korda väiksem esialgu lambis olnud õhu massist. Kuidas muutus õhu tihedus? Kuidas muutus molekulide arv õhu ruumalaühikus?

47. Purki valatud vedela vaha pind on horisontaalne. Pärast tahkestumist tekkis vaha pinnale kooniline nõgu. Kuidas muutus seejuures vaha ruumala, mass ja tihedus? Kuidas muutus molekulide arv ruumalaühikus?

48. Kas vee molekulid muutuvad vee aurustumisel? Miks on veeauru tihedus vee tihedusest erinev?

49. Loetlege põhjused, miks erinevad teineteisest

a) vedel lämmastik ($\varrho = 0{,}81$ g/cm^3) ja gaasiline lämmastik ($\varrho = 0{,}0012$ g/cm^3);

b) gaasiline hapnik ($\varrho = 0{,}0014$ g/cm^3) ja gaasiline vesinik ($\varrho = 0{,}00009$ g/cm^3);

c) petrooleum ($\varrho = 0{,}8$ g/cm^3) ja vesi ($\varrho = 1{,}0$ g/cm^3).

Inerts.

50. Pärast kuuli väljalendu püssirauast lõpeb püssirohugaaside mõju kuulile. Miks kuuli liikumine jätkub?

51. Selleks et elavhõbedasammast meditsiinilises termomeetris alla viia, «lüüakse termomeeter alla», s. o. pannakse ta liikuma, siis aga äkki pidurdatakse. Mis on elavhõbedasamba laskumise põhjuseks?

52. Terituskäia osakesed liiguvad koos käiaga ringjooneliselt. Kui aga käiaosake tuleb käia küljest lahti, liigub ta edasi sirgjooneliselt (joon. 218). Miks?

53. Miks kaugushüppel enne hüpet joostakse?

54. Mootorratast on vaja kiiresti peatada. Miks tuleb selleks pidurdada mõlemat ratast? Mis juhtuks, kui pidurdataks ainult esiratast?

Gravitatsioon. Raskusjõud. Keha kaal.

55. Tooge näiteid gravitatsiooni kohta.

56. Arvutage raskusjõud, mis mõjuvad ülesandes 33 toodud kehadele.

57. 1959. aastal Kuule toimetatud Nõukogude Liidu vimpel kaalus Maal koos konteineriga 3900 N. Kui suur on selle vimpli (ja konteineri) kaal Kuul? Kui suur oli vimpli mass Maal ja kui suur on ta Kuul?

58. Ühe suurima püütud vaala mass oli 150 t. Kui suur oli raskusjõud, mis mõjus sellele vaalale?

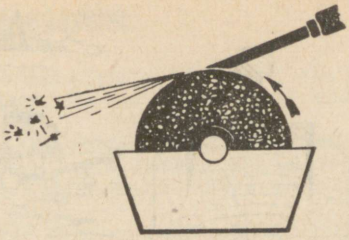
59. Malmist ese ruumalaga 50 cm^3 kaalub 3,43 N. Arvutage malmi tihedus.

60. Kõige suurem lind maailmas on aafrika jaanalind. Tema mass on kuni 90 kg. Arvutage jaanalinnu kaal ning võrrelge seda kõige väiksema linnu — koolibri kaaluga. Koolibri mass on 2 g.

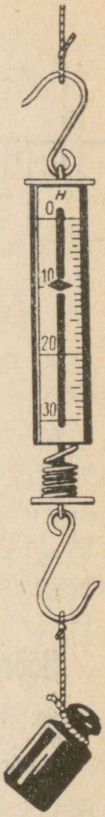
61. Tütarlaps ostis 0,75 l päevalilleõli. Kui suur oli selle õli mass ja kaal?

62. Määrake joonisel 219 toodud dünamomeetri skaala jaotuse väärtus ja dünamomeetri otsas rippuva keha kaal.

63. Kujutage graafiliselt jõud, mis mõjuvad lauale (joon. 52), kui laual istuva poisi mass on 40 kg.



Joon. 218.



Joon. 219.

64. 4 kg massiga tellis lebab laual. Arvutage tellisele mõjuv raskusjõud. Kujutage graafiliselt raskusjõud, tellise kaal ja laua elastsusjõud mastaabis 1 cm — 10 N. Milline loetletud jõududest muutub, kui suruda tellisele ülalt käega?

65. Hobuse veojõud on keskmiselt 700 N. Mitu hobust suudavad asendada traktorit, mille veojõud on 84 000 N?

66. Auto veojõud on 1000 N, liikumistakistus aga 700 N. Arvutage nende jõudude resultant.

67. Tööline massiga 70 kg hoiab 40 kg massiga keha. Kui suure jõuga rõhub tööline maapinnale? Kujutage see jõud graafiliselt.

68. Mäkke tõuseb haakeveok. Veok veab haaget jõuga 7500 N. Hõõrdejõud on 800 N. Kujutage veojõud ja hõõrdejõud graafiliselt. Tee tõusunurk on 10°. Arvutage veojõu ja hõõrdejõu resultantjõud.

69. Liikuvale vankrikesele mõjub veojõud ja hõõrdejõud. Mis võib öelda nende jõudude kohta, kui vankrike liigub ühtlaselt?

Rõhk.

70. Kaks inimest kaevavad maad erinevate labidatega (joon. 220). Kummal neist on kergem tööd teha?

71. Miks tehakse seljakotile laiad rihmad?

72. Raudteerööpa alumine osa tehakse laiem kui ülemine (joon. 221). Peale selle kinnitatakse rööbaste alla veel liiprid. Miks?

73. Millel põhineb läbi jää vajunud inimese päästmine (joon. 222)?

74. Inimene vajutab ülalt alla labidale jõuga 600 N. Millist rõhku avaldab labidas pinnasele, kui labida laius on 20 cm ja paksus teritatud äärel 0,5 mm?

75. Arvutage rõhk, mida avaldab lauale 10-kilone viht, mille põhja pindala on 50 cm^2.

76. Kui suur on neljateljelise 60 t massiga vaguni rõhk raudteele, kui ühe ratta toetuspind rööpal on 10 cm^2?

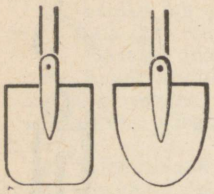
77. 45 kg massiga poiss seisab suuskadel. Kummagi suusa pikkus on 1,5 m ja laius 10 cm. Kui suurt rõhku avaldab poiss lumele?

78. 80 kg massiga sportlane sõidab uiskudega. Kui suurt rõhku avaldab sportlane jääle, kui kummagi uisu pikkus on 40 cm ja uisutera laius 3 mm?

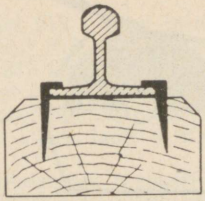
79. Asfaltteel sõitev raske tank ei lõhu teed. Miks aga lõhutakse roomiku alla sattuv tellis?

80. Herilane torkab oma astelt jõuga 0,00001 N. Miks läbib astel sellise väikese jõu mõjul looma naha? Kui suurt rõhku avaldab astel nahale, kui astla teraviku pindala on 0,000 000 000 003 cm^2?

81. Elevandi mass on 4000 kg. Tema jalajälje pindala on ligikaudu 4 dm^2. Kui suurt rõhku avaldab elevant maapinnale?



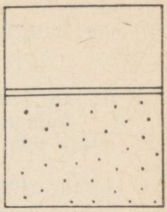
Joon. 220.



Joon. 221.



Joon. 222.



Joon. 223.

82. Treipink avaldab oma vundamendile rõhku $15\frac{N}{cm^2}$. Pingi toetuspindala on 200 cm^2. Kui suur on pingi kaal? Kui suur on pingi mass?

83. Tuule rõhk paadi purjele on $200\frac{N}{m^2}$. Kui suure rõhumisjõuga mõjub tuul purjele, kui selle pindala on 6 m^2?

84. Anum on vaheseina abil kaheks osaks jagatud (joon. 223). Anuma alumises osas on gaas. Mis juhtub, kui teha vaheseina ava? Kuidas muutub pärast seda gaasi mass, tihedus ja rõhk?

85. Elektripirn on täidetud gaasiga. Pärast pirni põlemalülitamist tõuseb gaasi rõhk pirnis umbes 1,5 korda, võrreldes külma gaasi rõhuga. Miks?

Hõõrdumine.

86. Milline ülesanne on hammastikul kruustangide ja pihtide põskedel?

87. Mida tugevamini pingutada veorihm rihmaseibidele, seda suurem on hõõrdumine rihma ja seibi vahel. Miks?

88. Miks hõõrdumine lihvitavate pindade vahel algul väheneb, siis aga uuesti suureneb?

89. Miks koormaga auto rattad puksivad jäätunud teel vähem kui tühja auto rattad?

90. Miks ei tohi õli sattuda auto või mootorratta piduriklotsidele?

91. Millistel tingimustel võivad diiselveduri rattad hakata puksima ning mida tuleb teha selle vältimiseks?

Molekulide vastastikune mõju.

92. 1 mm^2 ristlõike pindalaga kapronniidi katkirebimiseks läks vaja 500 N (näiteks 50 kg massiga inimese kaal). Milliseid jõude tuli seejuures katkemiskohas ületada?

93. Teame, et molekulide vahel esinevad külgetõmbejõud. Miks kaks põrkuvat molekuli ei kleepu teineteise külge, vaid põrkuvad teineteisest eemale?

94. Miks kasutatakse jootmiseks või kleepimiseks vedelas olekus aineid?

95. Kauges põhjas elavad rahvad ehitasid vanasti oma elamuid jääst lõigatud plokkidest, mida liideti lume ja veega. Millisel nähtusel see põhineb?

96. Millise jõu (gravitatsioonijõud, elastsusjõud, hõõrdumisjõud) mõjuga on tegemist järgmistes nähtustes:

a) vee langemine tammilt; b) auto pidurdamine; c) vee voolamine jões; d) kummipalli põrkamine seinalt; e) inimese sõrmele jääb rõhknaela pea jälg rõhknaela surumisel seina; f) jalanõude taldade kulumine.

Rõhk vedelikes ja gaasides.

97. Kui haavel lendab läbi keedetud kõva muna, siis jääb munasse ava. Kui aga haavel läbib toore muna, siis see puruneb ning lendab igas suunas laiali. Selgitage neid nähtusi.

98. Inimene võib lamada õhuga täidetud auto sisekummil. Kui aga see inimene tõuseb püsti ja seisab samale kummile, siis see vajub jalgade all tugevalt lohku (joon. 224). Miks? Kas sisekumm deformeerub tingimata selles kohas, kus teda surub inimese jalg?

99. Vedelikud ja gaasid annavad neile avaldatava rõhu edasi igas suunas, tahke keha aga ainult jõu mõjumise suunas. Kuidas seletada seda vedelike, gaaside ja tahkete kehade molekulaarse ehitusega?

100. Hüdraulilise pressi väiksemale kolvile avaldatakse rõhku $300\frac{N}{cm^2}$. Kui suurt koormat suudab tõsta selle pressi suur kolb pindalaga 800 cm^2?

101. Hüdraulilise pressi väikese kolvi pindala on 10 cm^2, suure kolvi pindala 100 cm^2. Väiksemale kolvile mõjub jõud 400 N. Arvutada suurele kolvile mõjuv jõud.

102. Erinevate ristlõike pindaladega ühendatud anumad (joon. 97) on täidetud veega. Kitsama anuma ristlõike pindala on 20 korda väiksem kui suurema anuma ristlõike pindala. Kitsamas anumas olevale kolvile paigutati viht massiga 1 kg. Missugune koormus tuleks paigutada teisele kolvile, et kolvid koormatega jääksid tasakaalu?

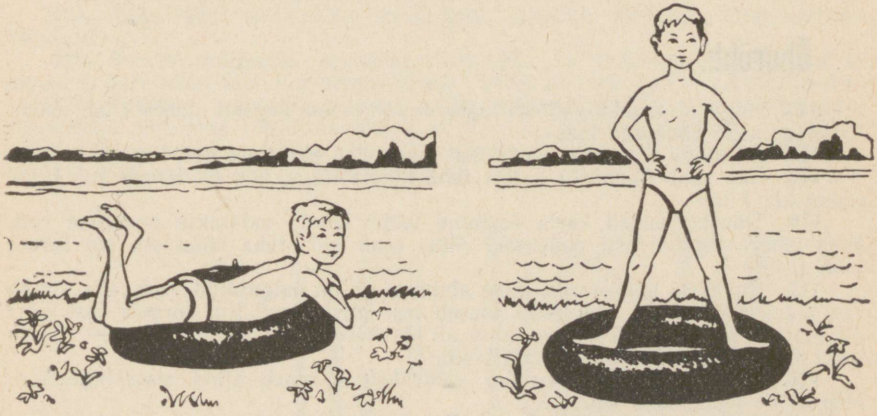
103. Kas joonisel 225 kujutatud tuukritele mõjuvad ühesugused või erinevad rõhud?

104. Kummikilest põhjaga torusse on valatud vesi (joon. 109, *a*). Kuidas käitub kummikilest põhi, kui toru paigutatakse vette nii, et a) vee nivoo torus on kõrgemal kui anumas; b) vee nivoo torus on madalamal kui anumas. Tehke joonis ja andke vajalikud seletused.

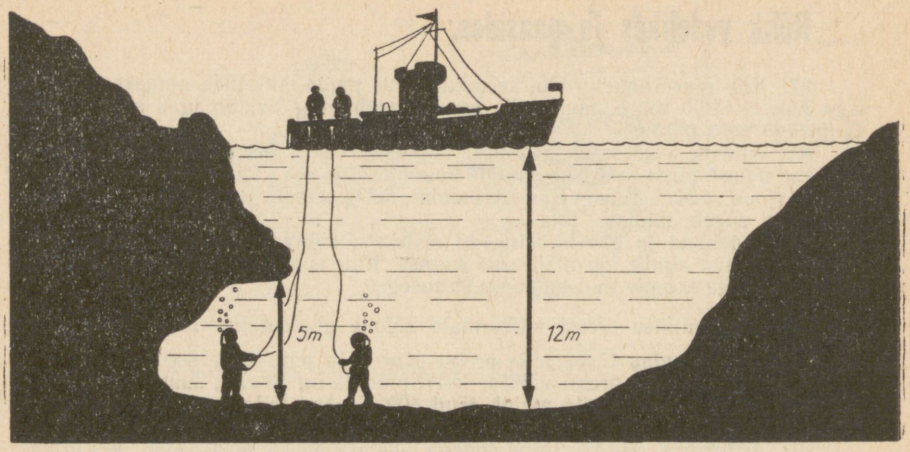
105. Kui suurt rõhku avaldab vesi jõe põhjale, kui jõe sügavus on 4 m?

106. Mensuuri kõrgus on 20 cm. Mensuuri valatakse järjekorras vett, petrooleumi ja masinaõli. Arvutada iga vedeliku poolt mensuuri põhjale avaldatav rõhk.

107. Kõrgesse silindrilisse anumasse valati 10 cm kõrguselt elavhõbedat, selle peale samasugune ruumala vett ja selle peale niisama palju petrooleumi. Arvutage vedelike kogurõhk anuma põhjale. Kui suur on rõhk anuma seintele 10 cm sügavusel? 20 cm sügavusel? Tehke joonis.



Joon. 224.



Joon. 225.

108. Treenitud sukelduja võib laskuda merre 20 m sügavusele. Kui suurt rõhku avaldab sukeldujale vesi selles sügavuses? Kui suur on rõhumisjõud inimese kehale, kui keha pindala on ligikaudu 2 m^2?

109. Petrooleumitsisterni seinas on vedeliku nivoost 2 m allpool kraan. Kraani ava pindala on 30 cm^2. Arvutage petrooleumi rõhumisjõud kraanile.

110. Moskva ülikoolihoone kõrgus on 180 m. Kui suur on rõhkude vahe veevärgikraanides esimesel ja viimasel korrusel?

111. Veeanumasse paigutati risttahukakujuline klots pikkusega 5 cm, laiusega 4 cm ja kõrgusega 10 cm. Klotsi ülemine tahk on vees 6 cm sügavusel. Kui suure jõuga rõhub vesi klotsi ülemisele ja alumisele tahule? Kui palju on rõhumine alumisele tahule suurem kui ülemisele?

112°. 100 cm^2 põhja pindalaga risttahukakujulisse paaki valati vett. Vee nivoo kõrgus paagis on 20 cm. Veepinnale on paigutatud tihedalt paaki sulgev kolb ja sellele viht massiga 2 kg. Arvestage rõhk paagi põhjale.

Õhurõhk.

113. Sügaval sissehingamisel mahutavad inimese kopsud umbes 4 dm^3 õhku. Arvutage selle õhuhulga mass.

114. Arvutage oma toas oleva õhu mass. Kui palju see õhk kaalub?

115. Kas saab Torricelli katset teha klaastoruga, mis on lühem kui 1 m? pikem kui 1 m?

116. Tihedalt pudeli kaela asetatud lehtri kaudu valatakse pudelisse vett. Miks läheb vesi halvasti pudelisse? Miks saab seda teha hõlpsasti, kui lehtrit veidi tõsta?

117. Kui tõsta kolbi torus, mille alumine ots on paigutatud vette, siis tõuseb vesi kolvi taga samuti üles. Miks tõuseb vesi kolvi taga? Kui kõrgele vesi kolvi all tõuseb? Kui kõrgele tõuseks kolvi all elavhõbe? petrooleum? Kas vesi tõuseb kolvi all ka siis, kui kolb õhku läbi laseb?

118. Tihedalt huultele surutud vahtraleht puruneb kiirel sissehingamisel. Missugune jõud lõhub lehe?

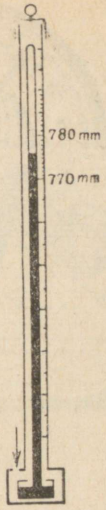
119. Selleks et õli õlikannust välja voolaks, tuleb sõrmega suruda kannu põhjale (joon. 226). Miks? Mis osa on siin õhurõhul? Kas on siin tegemist ka Pascali seadusega?



Joon. 226.



Joon. 227.



Joon. 228.

120. Millel põhineb vee imemine klaastoruga (joon. 227)? Kas saab vett imeda 1 m kõrgusele? 5 m kõrgusele?

121. Aneroidbaromeetri kõrval kasutatakse õhurõhu mõõtmiseks ka elavhõbebaromeetrit. Selgitage joonisel 228 toodud elavhõbebaromeetri ehitust. Kui suur on selle baromeetri jaotuse väärtus? Milline on baromeetri näit?

122. Vaadelge joonisel 148 toodud aneroidbaromeetrit. Kui suur on selle baromeetri jaotuse väärtus? Milline on baromeetri näit? Mis võiks olla normaalsest väiksema õhurõhu põhjuseks?

123. Arvutage 1,5×0,8 m suurusele lauale õhu poolt avaldatav rõhumisjõud.

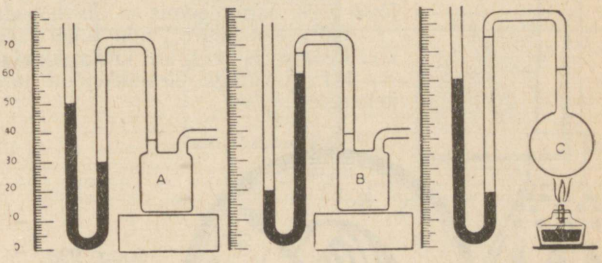
124. Leidke õhu poolt teie peopesale ja sõrmedele avaldatav rõhumisjõud. Miks te seda jõudu ei tunne?

Märkus. Käe pindala määrake õpikus lk. 78 toodud viisil.

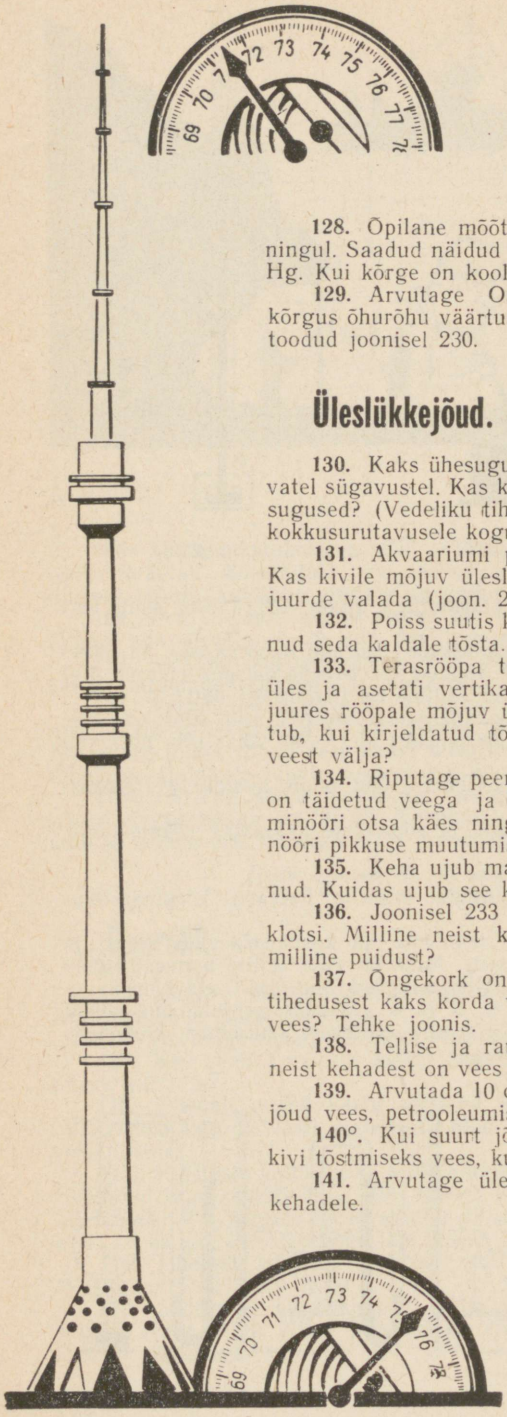
125. Miks talub spetsiaalse treeninguta inimene halvasti kõrgmäestikus viibimist?

126. Suurtel kõrgustel lendavate lennukite ja kosmoselaevade uksed ja aknad ei lase õhku läbi (on hermeetilised). Miks on vaja sellist hermeetilisust?

127. Määrake jooniselt 229, kui palju erinevad õhurõhust elavhõbemanomeetritega mõõdetud rõhud anumates *A*, *B* ja *C*. Loetlege põhjusi, mis võisid põhjustada anumates olevate gaaside rõhkude erinevusi õhurõhust. Selgitage nähtusi aine molekulaarse ehituse põhjal.



Joon. 229.



128. Õpilane mõõtis õhurõhku koolimaja keldris ja pööningul. Saadud näidud olid vastavalt 753,5 mm Hg ja 752 mm Hg. Kui kõrge on koolimaja?

129. Arvutage Ostankino televisioonimasti ligikaudne kõrgus õhurõhu väärtuste järgi masti jalamil ja tipus, mis on toodud joonisel 230.

Üleslükkejõud. Kehade ujumine.

130. Kaks ühesuguse ruumalaga keha on vedelikus erinevatel sügavustel. Kas kehadele mõjuvad üleslükkejõud on ühesugused? (Vedeliku tihedus lugeda tänu tema väga väikesele kokkusurutavusele kogu ulatuses ühtlaseks.).

131. Akvaariumi põhjas lebab üleni veega kaetud kivi. Kas kivile mõjuv üleslükkejõud muutub, kui akvaariumi vett juurde valada (joon. 231)?

132. Poiss suutis kivi oja põhjast üles tõsta, kuid ei suutnud seda kaldale tõsta. Miks?

133. Terasrööpa tükk lebab jõe põhjas. Rööbas tõsteti üles ja asetati vertikaalselt (joon. 232). Kas muutus seejuures rööpale mõjuv üleslükkejõud? Kas üleslükkejõud muutub, kui kirjeldatud tõstmise tulemusena osa rööpast satub veest välja?

134. Riputage peenikese kumminööri otsa klaaspudel, mis on täidetud veega ja korgiga tihedalt suletud. Hoidke kumminööri otsa käes ning laske pudel vette. Vaadelge kumminööri pikkuse muutumist. Tehke järeldus.

135. Keha ujub magedas vees, olles tervenisti vette vajunud. Kuidas ujub see keha petrooleumis? merevees?

136. Joonisel 233 on toodud kolm magedas vees ujuvat klotsi. Milline neist klotsidest on korgist, milline jääst ja milline puidust?

137. Õngekork on tehtud puidust, mille tihedus on vee tihedusest kaks korda väiksem. Kuidas asub selline õngekork vees? Tehke joonis.

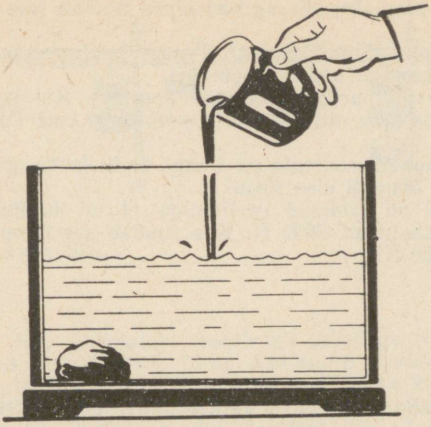
138. Tellise ja rauatüki massid on ühesugused. Kumba neist kehadest on vees kergem hoida?

139. Arvutada 10 cm^3 ruumalaga kehale mõjuv üleslükkejõud vees, petrooleumis ja elavhõbedas.

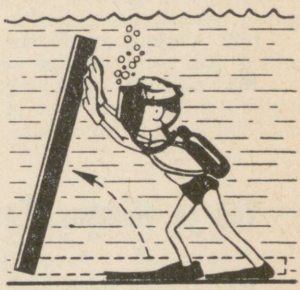
140°. Kui suurt jõudu tuleb rakendada 600 kg massiga kivi tõstmiseks vees, kui kivi ruumala on 0,23 m^3?

141. Arvutage üleslükkejõud järgmistele vette asetatud kehadele.

Joon. 230.



Joon. 231.



Joon. 232.

a) pliist õngetina massiga 22,6 g;
b) rauast mutter massiga 39 g;
c) betoonplaat massiga 4,4 t.

142°. Dünamomeetri otsa on riputatud 200 g massiga malmviht. Kui suur on dünamomeetri näit? Kuidas muutub dünamomeetri näit, kui viht lasta petrooleumi?

143°. 14,3 cm^3 ruumalaga mahuviht on riputatud dünamomeetri otsa. Kui suur on dünamomeetri näit? Kui palju näitab dünamomeeter, kui viht lasta vette? petrooleumi?

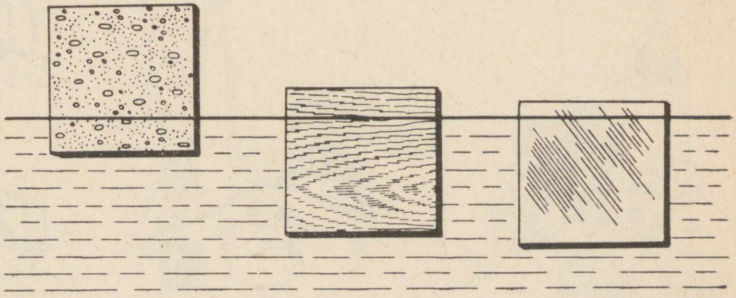
144°. 0,02 dm^3 ruumalaga vasksilinder riputatakse dünamomeetri otsa ning lastakse siis vette. Kui suur on dünamomeetri näit?

145°. Tross talub 70 000 N suurust koormust. Kas võib selle trossiga tõsta vee all graniitrahnu, mille ruumala on 4 m^3?

146°. Nööriga tõstetakse veest ühtlaselt risttahukakujulist malmitükki. Malmitüki pikkus on 4 dm, laius 2 dm ja kõrgus 1 dm. Kui suur on nööri pinge? Kuidas muutub pinge, kui malmitükk läheb veest õhku?

147°. Millist koormat hoiab vee peal korkvöö ruumalaga 5 dm^3, kui ta on täielikult vees?

148°. Vees ujuva jäämäe veealuse osa ruumala on 1 000 000 m^3. Arvutage jäämäe ruumala ja kaal. Merevee tihedus on $1030 \frac{kg}{m^3}$.



Joon. 233.

149. Tehke tiheduste tabelite abil kindlaks, missugused ained ujuvad vees ja millised upuvad. Vastust põhjendage.

150. Auriku ristlõike pindala jõepinnal on 5400 m^2. Pärast laadimist suurenes auriku süvis 40 cm. Kui palju kaalub laaditud koorem?

151. 8 m pikkuse ja 4 m laiuse puitparvega veetakse koormat. Kui suur koorem laaditi parvele, kui parve süvis selle tulemusena suurenes 20 cm? Parv lugeda risttahukakujuliseks.

152°. Vesinikuga täidetud laste õhupalli ruumala on 4 dm^3. Palli kesta mass on 3 g. Kui suure koorma suudab see õhupall üles tõsta?

153°. 1500 m^3 ruumalaga õhupall on täidetud heeliumiga (1 m^3 heeliumi kaalub 1,8 N). Palli kest ja gondel kaaluvad 2500 N. Kas suudab see õhupall tõsta viit reisijat, kui igaüks kaalub 650 N?

Töö ja võimsus. Energia.

154. Millisel juhul teeb poiss mehhaanilist tööd, millisel mitte (joon. 234)? Vastust põhjendage.

155. Tõstekraana tõstab 2 t massiga koorma 5 m kõrgusele. Kui palju tehakse seejuures tööd?

156. Höövelmasina tera mõjub detailile jõuga 750 N. Kui palju tööd teeb masin 120 cm pikkusel nihkel?

157. Ülesandes nr. 100 toodud andmete alusel arvutage töö, mis tehakse hüdraulilises pressis ühe käiguga, kui suur kolb tõuseb 10 cm.

158. 15 kg massiga keha tõstmisel tehti 60 J. tööd. Kui kõrgele keha tõsteti?

159. 70 kg massiga sportlane hüppab 201 cm kõrgusele 0,4 sekundiga. Kui suur oli seejuures sportlase võimsus?

160. Sammuv ekskavaator haarab korraga 14 m^3 pinnast ja tõstab selle 20 m kõrgusele. Tühja kopa mass on 2 t. Arvutage kopa ja pinnase tõstmisel tehtud töö. Pinnase tihedus on $1500 \frac{kg}{m^3}$.

161. Kui suur on masina võimsus, mis 1 tunniga teeb 1 000 000 J tööd?

162. Lift, mille mass koos koormaga on 500 kg, tõuseb 40 sekundiga 30 m kõrgusele. Arvutage liftimootori kasulik võimsus.

163. 40 kg massiga poiss läheb maja teisele korrusele, mis asub 8 m kõrgusel (joon. 235). Kui palju teeb poiss seejuures tööd? Kas oleneb tehtud töö sellest, kuidas poiss üles läheb (kas jookseb või kõnnib)? Kas oleneb sellest arendatav võimsus?

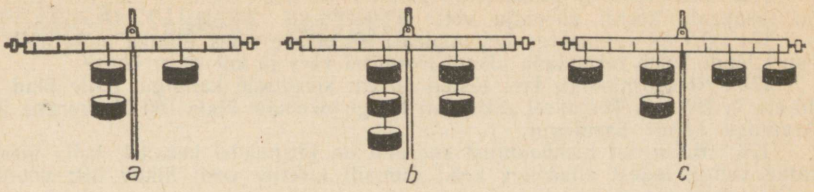


Joon. 234.





Joon. 235.



Joon. 236.

164. Eskalaator tõstab iga minutiga 10 inimest 6 m kõrgusele. Iga inimese mass on keskmiselt 75 kg. Kui suure võimsusega mootor on selleks vajalik?

165°. Võimas tornkraana võib tõsta koorma massiga 5 t. Kui kaua kulub aega koorma tõstmiseks 20 m kõrgusele, kui kraana mootori võimsus on 30 kW?

166. Tööline kaalub kangiga kivi. Toetuspunkti kaugus kivist on 20 cm, töölise kätest aga 160 cm. Tööline mõjub käte abil kangile 200 N suuruse jõuga. Arvutage kivile mõjuv jõud.

167. Kas võib valmistada kangi, millega võib jõus võita 100 korda? 1000 korda? Kuidas seda teha? Miks on selliste kangide kasutamine ebamugav?

168. Joonisel 236, *a* kujutatud kang on tasakaalus. Kas kang jääb tasakaalu, kui temale riputada veel kaks võrdset koormust nii, nagu on näidatud joonisel 232, *b*? Kas kang jääb tasakaalu, kui kaks täiendavat koormust paigutada nii, nagu on näidatud joonisel 236, *c*?

169. Kuidas saab millimeeterjaotustega joonlaua ja väikese vihi abil määrata nutri või mõne muu väikese eseme kaalu? Kaaluge selliselt mingi kehа ja kontrollige tulemust kaaludel.

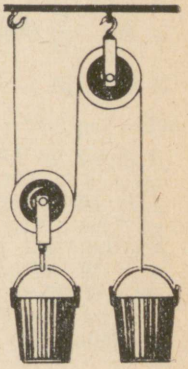
170. 20 kg massiga liivaämbrit tõstetakse joonisel 237 kujutatud viisil. Kui suure jõuga tuleb tõmmata nööri otsast, et tõsta ämbrit ühtlase kiirusega (hõõrdumist mitte arvestada). Mitu meetrit tuleb tõmmata nööri otsa selleks, et ämber tõuseks 4 m kõrgusele?

171. Kui suurt koormat saab tõsta 200 g massiga liikuva ploki abil, kui rakendada nööri vabale otsale 210 N suurune jõud? Hõõrdumist mitte arvestada.

172. Kuhjatõstukis tõstetakse liikuva ploki abil 200 kg massiga heinakoormat. Kui suurt jõudu rakendatakse tõstetrossi otsale? Mitu meetrit trossi keritakse trumlile heinte tõstmisel 7,5 m kõrgusele?



Joon. 237.



Joon. 238.

173. Veeämbrid on plokkidele riputatud nii, nagu joonisel 238. Kas ämbrites on tasakaalu korral ühepalju vett?

174°. 0,5 m^3 ruumalaga betoonplaati tõstetakse veest liikuva ploki abil. Kui suurt jõudu tuleb rakendada plaadi tõstmisel vees ja kui suurt õhus?

175°. 50 kg massiga kivi tõsteti 10 cm kõrgusele kangiga, mille õlad olid 40 cm ja 200 cm. Tõstmisel rakendati kangi pikemale õlale 160 N suurune jõud. Arvutage kangi kasutegur.

176. Missugust mehhaanilist energiat on järgmistel kehadel: kella üleskeeratud vedru; mäest allasõitev kelk; tammilt kukkuv vesi; liikuv lift; voolikust väljavoolav veejuga?

177. Ühele ja samale kõrgusele on tõstetud ühesuguste mõõtmetega puit- ja raudklots. Kummal klotsil on suurem potentsiaalne energia?

178. Kas võib kahel erineva massiga kehal olla ühesugune kineetiline energia? Millistel tingimustel?

179. Millise energiaga töötavad vedruga seinakellad?

180. Millise energia arvel toimub vilja jahvatamine tuuleveskis? vesiveskis?

181. 5 t massiga auruhaamer tõuseb 2 m kõrgusele. Kui palju tööd tehakse haamri tõstmisel? Missugune energia on haamril pärast ülestõstmist ning löögi momendil? Kui suur on haamri energia löögi momendil?

182. Volga-Doni kanali kõige kõrgem lüüs on 44 m kõrgusel Doni veepinnast ja 88 m kõrgusel Volga veepinnast. Missugune energia on selles lüüsis oleval veel? Kas see energia on Doni ja Volga suhtes ühesugune?

183. Maa tehiskaaslane tiirleb ümber Maa kõverjoonelist trajektoori mööda (joon. 54, *a*). Kuidas muutub kaaslase potentsiaalne energia liikumisel Maale kõige lähemast punktist (perigee) Maale kõige kaugemasse punkti (apogee)? Miks on kaaslase kiirus apogees väiksem kui perigees?

KORDAMISÜLESANNETE VASTUSED.

9. $1\frac{m}{s}$; $150\frac{m}{s}$; $450\frac{m}{s}$. **10.** 340 $\frac{m}{s}$. **11.** $60\frac{m}{s}$; $45\frac{km}{h}$. **12.** Gepardi kiirus on $\frac{5}{6}$ auto kiirusest. **13.** 480 km. **14.** $\approx 166\frac{km}{h}$. **15.** $\approx 11\,000\frac{km}{h}$. **16.** $7\frac{m}{s}$. **17.** 14 km. **18.** 1800 km; 108 000 km. **19.** Esimese vankrikese mass on kaks korda väiksem teise vankrikese massist. **20.** 0,2 kg. **22.** 5 kg. **24.** Vesiniku molekuli kiiruse muutus on 9 korda suurem kui vee molekulil. **25.** Kuusest valmistatud kuubik. 2 korda. **28.** $2{,}6\frac{g}{cm^3}$. **29** $0{,}7\frac{g}{cm^3}$; $7{,}8\frac{g}{cm^3}$. **30.** $700\frac{kg}{m^3}$. **31.** $0{,}92\frac{g}{cm^3}$. **32.** $2300\frac{kg}{m^3}$; $2{,}3\frac{g}{cm^3}$. **33.** 5,4 t; 90 g; 6,5 t; 2,1 t; 9,6 kg. **34.** 28 kg; 25 kg. **35.** 18 kg. **36.** 1,3 m^3. **37.** 5. **38.** 80 m. **39.** 350 g. **40.** $0{,}92\frac{g}{cm^3}$. **41.** On. **42.** 10 ml. 1 ml; 5 ml; 0,2 ml; 2 ml; 130 ml; 37 ml; 180 ml; 8,8 ml; 94 ml; 130 g; 37 g; 180 g; 8,8 g; 94 g. **44.** ≈ 70 cm^3; ≈ 59 cm^3; ≈ 220 cm^3. **45.** 300 kg. **46.** Vähenes 8 000 000 korda. **56.** $\approx 54\,000$ N; $\approx 0{,}9$ N; $\approx 65\,000$ N; $\approx 21\,000$ N; ≈ 96 N. **57.** ≈ 650 N; 390 kg Maal ja Kuul. **58.** $\approx 1\,500\,000$ N. **59.** $\approx 7\frac{g}{cm^3}$. **60.** ≈ 900 N; $\approx 0{,}02$ N. **61.** 690 g; ≈ 7 N. **64.** ≈ 40 N; muutub elastsusjõud. **65.** 120. **66.** 300 N. **67.** ≈ 1100 N. **68.** 6700 N. **69.** Veojõud on võrdne hõõrdejõuga. **74.** $600\frac{N}{cm^2}$. **75.** $2\frac{g}{cm^3}$. **76.** $7500\frac{N}{cm^2}$. **77.** $\approx 0{,}15\frac{N}{cm^2}$. **78** $67\frac{N}{cm^2}$. **80.** $3\,000\,000\frac{N}{cm^2}$. **81.** $100\frac{N}{cm^2}$. **82.** 3000 N; ≈ 300 kg. **83.** 1200 N. **100.** 240 000 N. **101.** 4000 N. **102.** 20 kg. **105.** $\approx 40\,000\frac{N}{m^2}$. **106.** $\approx 2000\frac{N}{m^2}$; $\approx 1600\frac{N}{m^2}$; $\approx 1800\frac{N}{m^2}$. **107.** $\approx 15\,400\frac{N}{m^2}$; $\approx 800\frac{N}{m^2}$; $1800\frac{N}{m^2}$. **108.** $\approx 200\,000\frac{N}{m^2}$; 400 000 N. **109.** ≈ 50 N. **110.** $\approx 1\,800\,000\frac{N}{m^2}$. **111.** $\approx 1{,}2$ N; $\approx 3{,}2$ N. ≈ 2 N. **112.** $\approx 4000\frac{N}{m^2}$. **113.** ≈ 5 g. **120.** Võib. **123.** 124 000 N. **128.** ≈ 18 m. **129.** ≈ 500 m. **137.** Pool korgi ruumalast on vees. **138.** Tellis. **139.** $\approx 0{,}1$ N; $\approx 0{,}08$ N; $\approx 1{,}36$ N. **140.** ≈ 3700 N. **141.** $\approx 0{,}02$ N; $\approx 0{,}05$ N; $\approx 20\,000$ N. **142.** 2 N; väheneb ligikaudu 0,3 N. **143.** $\approx 0{,}98$ N; $\approx 0{,}84$ N; 0,87 N. **144.** $\approx 0{,}035$ N. **145.** Võib. Plaadi kaal vees $\approx 64\,000$ N. **146.** ≈ 480 N; suureneb 80 N. **147.** $\approx 3{,}8$ kg. **148.** $\approx 1\,150\,000$ m^3. **150.** $\approx 21\,600\,000$ N. **151.** $\approx 6{,}4$ t. **152.** $\approx 1{,}8$ g. **153.** Võib. **155.** $\approx 100\,000$ J. **156.** 900 J. **157.** 24 000 J. **158.** ≈ 40 cm. **159.** ≈ 3500 W. **160.** $\approx 4\,600\,000$ J. **161.** ≈ 280 W. **162.** ≈ 3800 W. **163.** ≈ 3200 J. **164.** ≈ 750 W. **165.** ≈ 30 s. **166.** 1600 N. **168.** Ei jää. Jääb. **170.** ≈ 100 N; 8 m. **171.** 41,8 kg. **172.** ≈ 980 N; 15 m. **173.** Ei ole. **174.** ≈ 3000 N; 5500 N; **175.** 62,5%. **177.** Raudklots. **181.** 100 000 J. **182.** Ei ole.

AINEREGISTER

Aatom 14
aine 5, 24
— olek 19—22
altimeeter 114
aneroidbaromeeter 112
Archimedes 126, 127
areomeeter 131
Aristoteles 4, 120, 121
atmosfäär 107

Baromeeter 111, 112
batüsfäär 101
batüskaaf 101
Browni liikumine 17

Deformatsioon 54, 60
difusioon 15, 18
dirižaabel 133
džaul 137
dünamomeeter 60

Elastsusjõud 54, 60
elavhõbebaromeeter 111
energia 151—154
— kasutamine 156
— muundumine 154, 155

Füüsikaline keha 5
— nähtus 4
— suurus 8

Gaas 21
— rõhk 79—81, 91—93
Galilei, G. 5, 48, 120, 121
gravitatsioon 52, 53, 59

Hobujõud 138
hõõrdejõud 65, 67, 68
hõõrdumine 66, 69, 70
hüdrauliline masin 85, 86
— pidur 88
— press 87
— tungraud 88
hüdroelektrijaam 156, 157
hüdrostaatiline paradoks 97, 98

Inerts 47, 48
Jablotškov, P. 9
jõud 51, 61, 62, 75
jõu õlg 142
jõuühik 57, 58

Kaal 55, 58
kaalud 39, 40, 146
kaaluta olek 55
kaldpind 140, 141
kang 141
kapillaarsus 73
kasutegur 150
keskmine kiirus 32
kiirus 28, 29, 34, 47, 51
kiiruse ühik 29
kilogramm 37
kineetiline energia 154
kolbpump 118
Koroljov, S. 10
Kurtšatov, I. 10

Laager 69
laeva veeväljasurve 131
liikumine 25
lihtmehhanism 140
Lodõgin, A. 9
Lomonossov, M. 4, 24
lüüsid 105

Manomeeter 115
mass 36, 37, 44
massiühik 37
mateeria 5
mehhaanika «kuldreegel» 149
mehhaaniline liikumine 25
— töö 135—137
mensuur 7
metallmanomeeter 117
mitteühtlane liikumine 28, 32
Mohr'i pipett 109
molekul 13, 25, 70, 71
molekuli kiirus 18
molekuli mass 40, 41
märgamine 72

Newton, I. 5, 52, 57
nivoo 90
njuuton 57
normaalrõhk 114

Pascal, B. 83, 99, 120
Pascali seadus 84
pipett 109
plokk 141, 146
pneumaatiline masin 89, 90
Popov, A. 9
potentsiaalne energia 153

Raskusjõud 52, 53
resultantjõud 63
rõhk 75, 76
rõhuühik 76
rõhumisjõud 76

Süvis 131
süvisejoon 131

Žukovski, N. 9

Tahke keha 20, 25
temperatuur 18
tihedus 41, 45

Torricelli, E. 110, 120
trajektoor 26
Tsiolkovski, K. 9
tuukriülikond 100
tuulemootor 158
tõstejõud 132
töö 135, 136, 152
tööühik 137

Ujumine 127—130

Vatt 138
vedelik 20, 23, 90
vedelikmanomeeter 115
vedeliku rõhk 91—93, 95
veeväljasurve 131
veeturbiin 157, 158
veevärk 106, 107
vektor 61, 62
vesiratas 157
võimsus 138
võimsusühik 138

Õhupall 132, 133
õhurõhk 107, 110, 111, 113, 114, 120

Ühendatud anumad 101, 102, 104
ühtlane liikumine 27, 29, 33, 48
üleslükkejõud 122—124

SISUKORD

Sissejuhatus

1. Loodus ja inimene 3
2. Millega tegeleb füüsika? 4
3. Mõned füüsikalised algmõisted 5
4. Vaatlus ja katse 6
5. Füüsikalised suurused. Füüsikaliste suuruste mõõtmine . 8
6. Füüsika ja tehnika 9

Algteadmisi aine ehitusest

7. Milleks on vaja tunda aine ehitust 11
8. Aine ehitus 11
9. Molekulid 13
10. Difusioon gaasides, vedelikes ja tahketes kehades . . . 15
11. Browni liikumine 17
12. Molekulide liikumise kiirus ja keha temperatuur 18
13. Molekulide vastastikune külgetõmme 18
14. Aine kolm olekut 19
15. Erinevused tahkete kehade, vedelike ja gaaside molekulaarses ehituses 22
16. M. V. Lomonossov aine ehitusest 24

Liikumine ja jõud

17. Mehhaaniline liikumine 25
18. Ühtlane ja mitteühtlane liikumine 27
19. Ühtlase liikumise kiirus. Kiiruse ühikud 28
20. Mitteühtlase liikumise keskmine kiirus 32
21. Liikumise teepikkuse ja aja arvutamine 32
22. Kehade vastastikune mõju 34
23. Keha mass 36
24. Massiühikud. Massi mõõtmine 37
25. Keha massi määramine kaalumisega 38
26. Molekulide mass 40
27. Aine tihedus 41
28. Keha massi ja ruumala arvutamine tiheduse kaudu . . . 44
29. Aine tiheduse väljendamine molekulide massi ja ruumala ühikus oleva molekulide arvu kaudu 45
30. Inerts 47
31. Inerts igapäevases elus ja tehnikas 49
32. Jõud 50
33. Gravitatsioon. Raskusjõud 52
34. Elastsusjõud 54
35. Keha kaal 55
36. Kaalutuse mõiste 55
37. Jõuühikud 57

38. Raskusjõud teistel planeetidel 59
39. Dünamomeeter 60
40. Jõud kui vektor 61
41. Jõudude liitmine. Resultantjõud 63
42. Kahe ühte sirget mööda mõjuva jõu liitmine 63
43. Hõõrdejõud 65
44. Millest oleneb hõõrdejõud 67
45. Paigaloleku hõõrdumine 68
46. Hõõrdumine looduses ja tehnikas 69
47. Molekulidevahelised jõud 70
48. Märgamine 72
49. Kapillaarsus 73
50. Rõhk 75
51. Rõhk looduses ja tehnikas 77
52. Gaasi rõhk 79
53. Millest oleneb gaasi rõhk? 80

Rõhk vedelikes ja gaasides (Hüdro- ja aerostaatika)

54. Vedelike ja gaaside liikumine ning tasakaal 82
55. Rõhu edasiandmine vedelikes ja gaasides. Pascali seadus . 83
56. Hüdrauliline masin 85
57. Hüdrauliline press 87
58. Hüdrauliline pidur 88
59. Pneumaatilised masinad ja instrumendid 89
60. Vedeliku vaba pind 90
61. Raskusjõu mõjul vedelikus või gaasis esinev rõhk . . . 91
62. Vedeliku poolt anuma põhjale ja seintele avaldatava rõhu arvutamine 93
63. Vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust (hüdrostaatiline paradoks) 97
64. Pascali katse 99
65. Rõhk merede ja ookeanide põhjas. Meresügavuste uurimine 99
66. Ühendatud anumad 101
67. Erinevate vedelike tasakaal ühendatud anumates 102
68. Lüüsid 105
69. Veevärgi ehitus 106
70. Õhurõhk 107
71. Maad ümbritseva õhukihi olemasolu 108
72. Õhurõhu mõõtmine. Torricelli katse 110
73. Aneroidbaromeeter 112
74. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel 113
75. Manomeetrid 115
76. Vererõhu mõõtmine 117
77. Vedeliku kolbpump 118
78. Õhurõhu avastamise ajalugu 120
79. Vedeliku ja gaasi mõju temasse asetatud kehale . . . 121
80. Üleslükkejõud 123
81. Legend Archimedesest 126
82. Kehade ujumine 127
83. Kehade ujumise sõltuvus keha ja vedeliku tihedusest . . 129
84. Laevade ujumine 130
85. Areomeetrid 131
86. Sõitmine õhus 132

Töö ja võimsus. Energia

87. Mehhaaniline töö 135
88. Töö. Tööühikud 136
89. Võimsus. Võimsusühikud 138

90. Lihtmehhanismid 140
91. Kang. Jõudude tasakaal kangil 142
92. Kangide kasutamine tehnikas ja igapäevases elus . . . 144
93. Kangkaal 146
94. Kangi tasakaalu tingimuse kasutamine ploki juures . . . 146
95. Tööde võrdsus lihtmehhanismide kasutamisel. Mehhaanika «kuldreegel» 148
96. Mehhanismi kasutegur 150
97. Energia 151
98. Potentsiaalne energia 153
99. Kineetiline energia 154
100. Mehhaanilise energia ühe liigi muundumine teiseks . . 154
101. Voolava vee energia kasutamine 156
102. Hüdraulilised jõumasinad 157
103. Tuulemootorid 158

Laboratoorsed tööd 160

Harjutuste vastused 170
Kordamisülesanded 171
Kordamisülesannete vastused 185
Aineregister 187

Александр Васильевич Пёрышкин, Надежда Александровна Родина. ФИЗИКА ДЛЯ 7-ГО КЛАССА. Издание 4-е. На эстонском языке. Перевел с русского А. Сийрак. Художественное оформление Ю. Пальм. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja T. Linkvist. Korrektor O. Küla. Laduda antud 28. XII 1972. Trükkida antud 5. III 1973. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 12,0. Arvestuspoognaid 11,99. Trükiarv 11 500. Tellimuse nr. 7. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2. Hind 23 kop.

23 kop.

A
33 051
81 522

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00454101 9