A. PJORÕŠKIN, G. FALEJEV JA V. KRAUKLIS

FÜÜSIKA

6.

KLASSILE

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

A-18740

A. PJORÕŠKIN, G. FALEJEV ja V. KRAUKLIS

FÜÜSIKA

ÕPIK

VI KLASSILE

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1950

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Sissejuhatus.

Kõik muutub meid ümbritsevas looduses.

Ühed muutused tekivad sõltumata inimese tahtest, teisi tekitab inimene ise oma töö ja tehnikaga.

Päev vaheldub ööga, öö — päevaga. Selge, päikesepaisteline ilm vaheldub vihmasega. Vihmasaju ajal tekivad loigud. Möödub vihm, hakkab paistma taas päike ning loigud kaovad.

Savitükk muutub pärast töötlemist taldrikuks, tassiks, vaagnakeseks, kunstnik-kujuri käes aga kujuneb tast kunstiteos.

Et loodus võiks inimest teenindada, on vaja teda tundma õppida.

Füüsika on vanimaid teadusi loodusest. Sõna «füüsika» tuleneb kreekakeelsest sõnast *physis*, mis tähendab loodus.

Füüsikas nimetatakse iga eset füüsiliseks kehaks. Raamat, tindipott, pliiats, kriiditükk, tahvel, kivi — kõik need on füüsilised kehad.

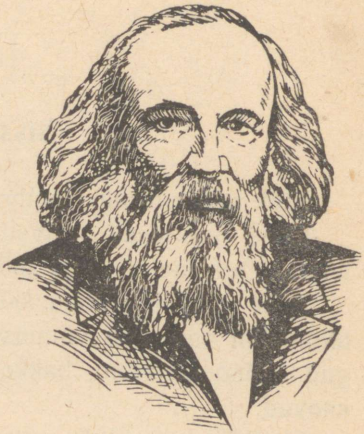
Kõik see, millest koosnevad füüsilised kehad, nimetatakse aineks. Raud, vask, puu, kummi, savi ja hapnik on näited ainetest.

Igasuguseid muudatusi, mis esinevad füüsiliste kehade juures, nimetatakse nähtusteks. Kivi langemine, vee keemine, välk, traadi soojenemine elektrivoolu mõjul — kõik need on näited füüsilistest nähtustest.

Uurida mingit nähtust tähendab saada teada, kuidas see nähtus toimub, mispärast ja kuidas antud nähtus on seotud teiste nähtustega.



M. V. Lomonossov.
(1711—1765)



D. I. Mendelejev
(1834—1907)

Selleks peame nähtust korduvalt vaatlema, kui võimalik meile sobivais tingimusis taas tekitama, s. o. korraldama f ü ü s i k a k a t s e i d.

Füüsikas uuritakse: mitmesuguste kehade liikumist, heli-, soojus-, elektrilisi ja valgusnähtusi ning selle aine väikseimate osade ehitust ja omadusi, millest koosnevad füüsilised kehad.

Need teadmised on väärtuslikud mitte üksnes omaette, vaid nad on vajalikud ka teiste loodusteaduste, näiteks keemia, bioloogia, botaanika, geoloogia arendamiseks.

Füüsika on looduse põhiteadus, sest kõigi muude teaduste areng sõltub tunduval määral füüsiliste nähtuste tundmisest.

Eriti suur tähtsus on füüsika avastustel tehnikas.

Aurumasinad, mootorid (vedur, traktor, tank jt.) on tehnika poolt loodud ainult soojusnähtuste hoolika tundmaõppimise tulemusena.

Elektervalgustus, elektrimootorid, telegraaf, telefon, raadio ja palju muud on elektriliste nähtuste tundmaõppimise tulemus.



N. J. Žukovski
(1847—1921)



A. S. Popov
(1859—1906)

Kõik see, mis moodustab füüsikateaduse sisu, on loodud mitmesuguste maade ja rahvaste paljude tuhandete teadlaste visa tööga.

Suur teene maailma füüsikateaduse arengus kuulub meie kodumaistele teadlastele nii minevikus kui ka käesoleval ajal. Nii näiteks on maailm r a a d i o leiutamise eest tänu võlgu suurele vene teadlasele A. S. Popovile.

Lennuasjanduse kiire areng sai võimalikuks N. J. Žukovski geniaalsete tööde tõttu, keda V. I. Lenin nimetas «vene lennuasjanduse isaks».

Kogu oma elu pühendas reaktiivsete mootorite arendamisele kuulus vene teadlane K. E. Tsiolkovski. Tsiolkovski tööd leidsid meie päevil praktilise kasutamise reaktiivsete mootoritega varustatud ülikiireis lennukeis. Kaardiväe reaktiivsed, miinipildujad «katjušad» olid Suures Isamaasõjas vaenlasele Nõukogude armee hirmuäratavaiks ning ootamatuiks relvadeks.

Vene andekate teadlaste P. N. Jablotškovi ja A. N. Lodõgini töödega loodi elektervalgustus, mida nii laialt kasutab inimkond.

Oma teaduslike avastustega said maailmakuulsaiks vene teadlased M. V. Lomonossov, D. I. Mendelejev, P. N. Lebedev, kelle töödega tutvume edaspidi.

Eriti laialdase arengu osaliseks sai füüsika NSV Liidus. Meie maal on loodud palju teaduslikke instituute. Tuhanded nõukogude teadlased töötavad mitmesuguste füüsika-ülesannete alal, täiendades oma avastustega füüsikateaduse varasalve.

Nõukogude teadlaste — Rožděstvenski, Krõlovi, Tšaplõgini, Joffe, Vavilovi ja paljude teiste nimed on tuntud kogu maailmale.

Meie maal — maal, kus sotsialism on tulnud võitjaks, maal, kus töötajad on ise oma elu peremehed, on teaduse ja tehnika osa väga suur. Teaduse ja tehnika saavutusi kasutatakse meil mitte üksikisikute rikastamiseks, nagu see on kapitalistlikes maades, vaid need saavutused teenivad kõigi töötajate huve. Selle tagajärjel paraneb kogu rahva elujärg.

Kommunistliku partei juhtimisel ehitasid Nõukogudemaa töötajad Dneprogesi, Magnitogorski, suured traktori- ja autotehased, palju koole, haiglaid, elumaju ja palju muud.

Meie maa suure juhi J. V. Stalini juhtimisel purustas Nõukogude armee inimkonna verejanulise vaenlase — hitlerliku Saksamaa. Pole väike selles meie kodumaa teadlaste, tehnikute ja leidurite teene, kes aitasid hästi relvastada Nõukogude armeed.

Õppides koolis füüsikat hästi, saate te teadmisi, mis aitavad teil saada edaspidi teadlasteks, inseneridеks, tehnikuteks, meistriteks, üldse haritud inimesteks, millisel kutsealal te ka ei töötaks.

MEHAANIKA ELEMENTE.

I peatükk.

Lihtsaimad mõõtmised.

1. Mõõtmiste vajadus. Elus tuleb meil toimetada kõige mitmesugusemaid mõõtmisi. Mida me ka valmistaksime: olgu karbikest, raamaturiiulikest, mingi masina mudelit vms., toimetame me tingimata mõõtmisi. Aga kui kiirustame, arvestame halvasti, mõõdame ebatäpselt, siis ei saa ka asja, hävib materjal ning asjata kulutatakse vaeva. Selliseid juhtumeid ju esineb!

Vene vanasõna ütleb: «Seitse korda mõõda, üks kord lõika.» See vanasõna pärineb iidsest ajast; tähendab, juba ammu mõistsid inimesed täpsete mõõtmiste vajadust. Meie elame kõrgelt arenenud tehnika ajastul, keerukaimate masinate ajastul, millede valmistamisel tuleb teha palju väga täpseid mõõtmisi. Seda oskame teha, kui õpime tundma füüsikat, sest füüsika on täpne teadus. Vaadeldes nähtust ning korraldades katseid, teeb füüsik üheaegselt kõige mitmekesisemaid mõõtmisi.

2. Pikkuse mõõtmine. Mõõtes näiteks sammudega kodu kaugust koolist, võrdleme me seda kaugust oma sammu pikkusega. Sel juhul on meil samm pikkuse ühikuks. Kuid sel pikkuse ühikul on tõsiseid puudusi. Ta puudus on — sammu pikkuse ebaühtlus. Sammu pikkus mitmesugustel inimestel

võib olla erisugune. Seepärast üks ja sama pikkus, mõõdetuna mitmesuguste inimeste sammudega, väljendub mitmesuguste arvude abil.

Seda puudust võib vältida, kui kokku lepime võtta pikkuse ühikuks kaugus kahe kriipsu vahel, mis on kantud joonlauale. Nii määrati kindlaks pikkuse ühik — meeter.

Oletame, et mõõtes toa pikkust, meeter mahtus sellesse neli korda.

Mõõtmise tulemus märgitakse üles nii: toa pikkus on 4 m.

Tulemuste ülestähendamisel kirjutame arvu järele mõõtühiku nimetuse.

Kui me jätaksime ära mõõtühiku nimetuse ja kirjutaksime lihtsalt: toa pikkus on 4, siis oleks täiesti arusaamatu, mis selle ülestähenduse all tuleb mõista. Väljenduks ju sama pikkus mõõdetuna teistes ühikutes ka teise arvuga: sentimeetreis — arvuga 400, detsimeetreis — arvuga 40 jne.

Mõõtmise resultaati väljendatakse mitmesugustes ühikutes, olenevalt mõõdetava suuruse ulatusest ja mõõtmise eesmärgist. Nii näiteks on sobivam väljendada Leningradi ja Moskva vahelist kaugust kilomeetreis, aga plekitahvli paksust millimeetreis või millimeetri osades.

Tarvitatavamad pikkusühikud meetermõõdustikus on: 1 kilomeeter (lühendatult km) = 1000 meetriga (m); eesliide kilo (kreekakeelne sõna) tähendab tuhat.

1 m on 10 detsimeetrit (dm),
1 dm on 10 sentimeetrit (cm),
1 cm on 10 millimeetrit (mm),
1 mm on 1000 mikronit (μ). μ — kreeka täht müü.

Eesliited: detsi, senti, milli — tulenevad ladinakeelsetest sõnadest: *decem* — kümme, *centum* — sada, *mille* — tuhat. Sõna mikron tuleneb kreekakeelsest sõnast *mikros* — väike.

1 μ = 1000 millimikronit (mμ).

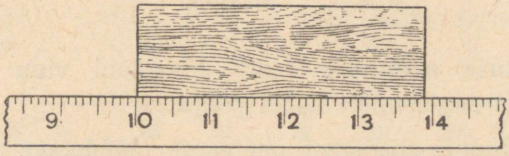
Harjutus 1.

1. Mõõtke oma pikkus täpsusega kuni 1 cm. Tähendage üles mõõtmise tulemus ja kuupäev. Korrake mõõtmist õppeaasta keskel ja lõpul.

2. Kasutades oma käte, sõrmede ja muude kehaosade mõõteid, määrake ligikaudu kindlaks 1m, 1 dm ja 1 cm pikkus.

3. Mõõtejoonlaud. Väikeste pikkuste mõõtmiseks kasutatakse mõõtejoonlauda ehk, nagu seda sageli nimetatakse, mõõdupuud.

Eseme pikkuse mõõtmisel asetatakse mõõdupuu mõõdetavale esemele (joon. 1) nii, et mõõdupuu nullkriips [1] ühtiks



Joon. 1. Pikkuse mõõtmine mõõtejoonlauaga.

punktiga, kust algab mõõtmine. Jaotuskriips, mis ühtib eseme teise punkti või otsaga, näitab mõõdetavat suurust. Mõõtejoonlaudade kõige väiksemaks skaalajaotiseks on kõige sagedamini 1 mm. Resultaadid tähendatakse üles kümnendmurdudes. Näiteks võib joonisel 1 tähendatud eseme pikkust üles tähendada: 3,9 cm. Üldse kasutatakse mõõtmiste üleskirjutistes ainult kümnendmurde.

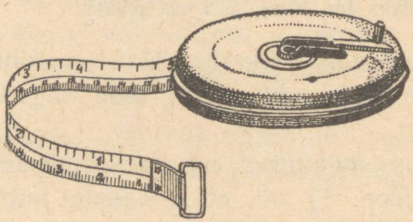
4. Mõõtelint. Tubade ja väikeste maatükkide mõõtmisel ning paljudeks muudeks mõõtmisteks kasutatakse praktikas mõõtelinti — ruletti. Mõõtelint kujutab enesest tugevast rii-

---

[1] Kuna puust mõõtejoonlaua otsad võivad olla rikutud, siis on parem mõõta, asetades ese kuskile joonlaua keskossa, võttes nullkriipsuks ükskõik millise kriipsu, mis lõpeb nulliga.

dest või terasest linti, millel on meetri-, sentimeetri-, mõnikord ka millimeetrijaotised (joon. 2).

Mõõtelinte on 1, 2, 5, 10 ja 20 m pikkusi.



Joon. 2. Mõõtelint.

5. Pikkuse mõõtmise vead. Jämedaid vigu mõõtmisel esineb kõige sagedamini kahel põhjusel:

1) mõõdupuu ebaõigest asetusest mõõdetava eseme suhtes (joon. 3) ja
2) mõõtmise tulemusi lugeva silma ebaõigest asetusest.



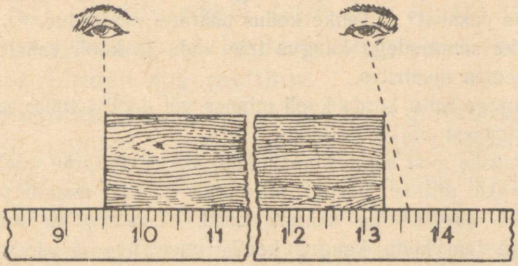
Joon. 3. Mõõtejoonlaua ebaõige asetus.

Harjutus 2.

1. Vaadelge joon. 4 ja näidake, kumb silmaasetus võimaldab mõõtmise tulemust õigesti lugeda. Kuidas tuleb silm asetada, et mõõtmise tulemusi õigesti lugeda?

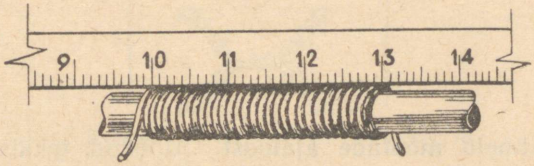
2. Joonistage vihikusse mõned sirglõigud ja mõõtke nende pikkused mõõtejoonlauaga, hinnates kümendikke millimeetreid silma järgi. Märkige resultaadid üles. Pärast seda paluge pinginaabrit samu joonlõike mõõta. Võrrelge mõlemate mõõtmiste tulemusi.

6. Laboratoorne töö nr. 1. Töö eesmärk — õppida mõõtma peenikeste traatide jämedust.



Joon. 4. Silma õige ja ebaõige asetus.

Materjale tööks: peenikese traadi tükke, ümmargune pliiats, mõõtejoonlaud.



Joon. 5. Traadi jämeduse mõõtmine.

Töö juhend:

1. Mähkige tihedalt pliiatsi ümber 20—30 keerdu traati (joon. 5).
2. Mõõta mähitud pliiatsiosa pikkus.

Teha seda tööd mitu korda, muutes iga kord keerdude arvu, ja saadud arvud kirjutada järgmisse tabelisse:

Jrk. nr.	Mähitud pliiatsiosa pikkus	Keerdude arv	Traadi jämedus	Keskmine resultaat
1				
2				
3				

Harjutus 3.

1. Kuidas saab millimeetrijaotistega joonlaua abil ligikaudselt mõõta teie õpiku lehe paksust? Tehke kodus säärane mõõtmine.

2. Mõõtke sammudega kaugus teie kodu ja kooli vahel ning väljendage see vahemaa meetrites.

Selleks lugege mitu korda kooli minnes või koolist tulles sammude arv. Mitmest mõõtmisest võtke keskmine.

Tehke kindlaks oma sammu keskmine pikkus. Mõõtke õuel 10 m vahemaa ja määrake mitmel korral, mitu teie sammu mahub sellesse vahemaasse, võttes arvesse ka sammu osad. Tulemus kirjutage tabelisse.

Väljendage teie kodu kaugus koolist meetrites ja kandke lõplik tulemus tabelisse.

Kaugus sammudes kodu ja kooli vahel	Sammu pikkus meetrites	Kaugus meetrites kodu ja kooli vahel

7. Teatmeid mõõtude ajaloost. Mõõdud tekkisid seoses inimese vajadusega mõõta ümbritsevate esemete suurust.

Ürgaegse elamu ehitamisel, relva ja rõiva valmistamisel tapetud loomade nahkadest oli juba meie esivanemail vaja oskust määrata mitmesuguste esemete suurust.

Esimese mõõduühiku tekkimise aega pole võimalik kindlaks määrata isegi mitte ligikaudselt. See oli väga ammu. Sellest ajast on möödunud kümneid aastatuhandeid.

Milliste esemete pikkusi võtsid inimesed algul mõõduühikutena?

Arusaadavalt võis ürginimene neid ühikuid võtta vaid loodusest ja kõigepealt võis ta kasutada oma kehamõõteid.

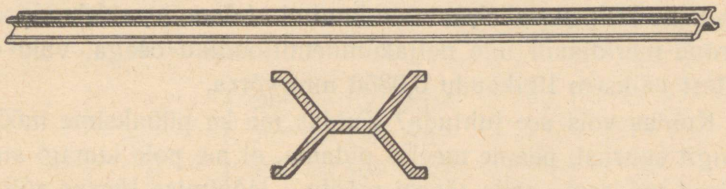
Kuni meie ajani on jäänud nimetused sellistest mõõtudest, nagu: küünar, arssin (võrdne ligikaudu ühe sammuga), jalg jt.

Mõistagi täpsustati hilisemail aegadel nende mõõtude suurusi, kuid nimetused osutavad nende tekkimisele.

Vanal Venemaal, enne revolutsiooni olid arssin [1], süld [2], jalg ja veel varem küünar mõõduühikuteks. Inglismaal oli *foot* (loe: fut), Prantsusmaal *toise* (loe: tuaaz) jne. Selline mitmekesisus mõõtudes oli kaubanduses, eriti rahvusvahelises kaubanduses, ülimalt ebapraktiline.

Tuli alalõpmata ühtedelt mõõtudelt üle minna teistele ja see üleminek oli mõnikord väga keerukas ning tülikas.

Mõte ühtse rahvusvahelise mõõdusüsteemi loomisest tekkis ühenduses tööstusliku kapitalismi arenemisega. Ent sobimatuist, kuid külgeharjunud mõõtudest pole kerge loobuda. Kogu maa üleminek uuele mõõdusüsteemile on suur sündmus. Sellised sündmused võivad kergesti toimuda ainult revolutsioonide



Joon. 6. Meetri etaloon (algmeeter).

ajal, kui varisevad kokku vana eluviisi alused ja ühes nendega ka paljud inimeste harjumused.

XVIII sajandi lõpul, prantsuse revolutsiooni ajal, mõõtis teadlaste komisjon Pariisi läbiva Maa meridiaani pikkust. Komisjon tegi ettepaneku võtta selle meridiaani üks neljakümnemiljondik osa pikkusmõõdu ühikuks ja nimetada see meetriks [3].

1799. aastal valmistati meetri esimene etaloon (näidis), niinimetatud «arhiivmeeter», selle järgi aga valmistati hiljem rida uusi meetri etaloone. Üks sellistest plaatina ja iriidiumi sulamist valmistatud varvakujulistest etaloonidest (joon. 6)

[1] arssin = 71,1 cm.

[2] süld = 7 jalga = 2,1 m.

[3] Meeter tuleneb kreekakeelsest sõnast *metron* ja tähendab m õ õ t.

võeti rahvusvahelise meetri prototüübiks [1], millel 1-meetrine pikkus on piiriteldud kahe peenikese joonega.

Selle etalooni koopiad, mis on valmistatud suure täpsusega, on olemas maailma kõigis riikides. Meil Nõukogude Liidus on kaks sellist koopiat — nr. 11 ja nr. 28.

Prantsusmaal võeti meetermõõdustik lõplikult tarvitusele 1840. a. Järk-järgult hakkas see levima kõigisse maadesse. Meil Nõukogude Liidus võeti see tarvitusele kohe pärast Oktoobrirevolutsiooni, ja alates 1926. a., vastavalt Rahvakomissaride Nõukogu dekreedile, on see ainsaks seaduslikuks mõõdusüsteemiks meie Liidus.

Hiljem tehti täpsemate mõõtmiste kaudu kindlaks, et pikkus kahe kriipsu vahel, mis on kantud etaloonile, ei ole täpselt võrdne meridiaani ühe neljakümnemiljondiku osaga, vaid on sellest väiksem ligikaudu 0,0856 mm võrra.

Kuidas võis see juhtuda? Kuidas me ka püüaksime mõõta mingit suurust, peame meeles pidama, et me pole kunagi suutelised määrama selle täpset mõõtu. Mõõtmise täpsus sõltub mõõduriistade täpsusest ja paljudest muudest põhjustest. Sedamööda, kuidas areneb teadus ja tehnika, paranevad meie mõõtmisviisid, täienevad meie instrumendid ja saadakse täpsemad mõõtmise tulemused. Omal ajal mõõdeti Maa meridiaan teadlaste poolt suurima täpsusega, mis sel ajal oli võimalik. Aga nüüd, sada aastat hiljem, võib seda täpsust veelgi suurendada. Sellepärast just tekkiski lahkuminek Maa meridiaani mõõtmise tulemustes tolleaegsetel ja nüüdisaegsetel õpetlastel. Kas kaotab seepärast meetermõõdustik oma tähtsuse? Mitte sugugi.

Nüüdsel ajal määratellakse meetrit kui pikkust, mis on märgitud joontega rahvusvahelisel etaloonil ja mida säilitatakse Sèvres'is (loe: seevr) Pariisi lähedal.

---

[1] Prototüüp — kreekakeelne sõna — tähendab a l g k u j u.

Selle etalooni Nõukogude Liidus olevad koopiad on mõõdetud 0^0 temperatuuril täpsusega kuni 0,001 mm, mille tulemused on:

etaloon nr. 11 on võrdne 999,995 mm;
„ „ 28 „ „ 1000,005 mm.

8. **Pindalade mõõtmine.** Pindala ühikuteks võetakse ruutude pindalad, mille külgede pikkuseks on 1 mm, 1 cm, 1 dm, 1 m jne. Selliseid ühikuid nimetatakse: ruutmillimeetriteks (lühendatult mm^2), ruutsentimeetriteks (cm^2), ruutdetsimeetriteks (dm^2), ruutmeetriteks (m^2).

Pole raske näha, et kui joonmõõtudest üks on teisest suurem 10 korda, siis neile vastavatest ruutmõõtudest üks on teisest suurem 100 korda.

$$1\ cm^2 = 100\ mm^2$$
$$1\ dm^2 = 100\ cm^2$$
$$1\ m^2 = 100\ dm^2$$

Maatükkide pindala mõõtmiseks tarvitatakse ühikuid:

1 hektaar (ha) $= 100\ m \times 100\ m = 10\,000\ m^2$;

eesliide hekto (kreekakeelne sõna) tähendab sada.

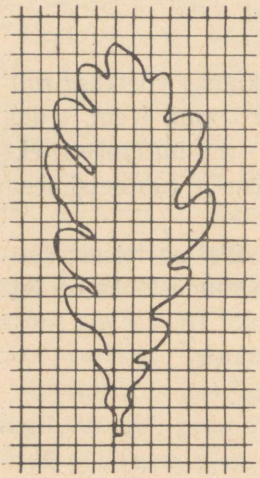
$$0{,}01\ ha = 1\ aar\ (a)$$
$$1\ a = 100\ m^2$$

Maade, suurte järvede, merede ja ookeanide pindala mõõdetakse harilikult ruutkilomeetrites (km^2);

$$1\ km^2 = 1\,000\,000\ m^2.$$

Geomeetria reeglite järgi võib määrata korrapäraste kujundite (ristküliku, kolmnurga, ringjoone jt.) pindalad, kui on teada nende joonmõõted.

Ent kasutades paberit, mis on joonitud ruutmillimeetriteks või mingeiks muudeks ruutühikuteks, võib määrata väiksema või suurema täpsusega mistahes geomeetrilise kujundi pindala. Selleks on vaja mõõdetav kujund (joon. 7) asetada ruudulisele paberile ja tõmmata paberile ta kontuur. Lugedes kokku ruudukesed, mis asetsevad kontuuris (ruudukeste osad seejuures hinnatakse silma järgi), ning teades ühe ruudukese pindala, võib kergesti ligikaudselt arvutada antud kujundi pindala.



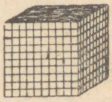
Joon. 7. Ruudulise paberi pindala mõõtmine.

Harjutus 4.

1. Koolivihikus tarvitatava ruudulise paberi ruudukese küljed võrduvad 0,5 cm. Kasutades sellist paberit, mõõtke oma kinga talla pindala. Selleks asetage king ruudulisele paberile ja tõmmake pliiatsiga talla ja kontsa ääri mööda joon. Võtnud kinga paberilt, loendage, mitu ruutsentimeetrit on talla ja kontsa pindalas. Saadud arv märkige üles ja ülestähendused säilitage — seda on teil edaspidi tarvis.

2. Ütelge silma järgi, mitu teie klassi õpilast saab seista 1 m^2 pindalal. Kontrollige oma silmamõõdulist hinnangut katsega.

9. Ruumalade mõõtmine. Ruumala ühikuks võetakse kuupide ruumalad, mille servade pikkus on 1 cm, 1 dm, 1 m jne. Selliseid ühikuid nimetatakse: kuupsentimeetriteks (lühendatult cm^3), kuupdetsimeetriteks (dm^3),



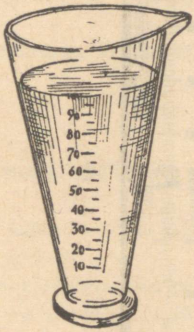
Joon. 8. 1000 mm^3-ks jaotatud kuupsentimeeter.

kuupmeetriteks (m^3). Anumate mahtude ühikuks on liiter (lühendatult l), mis on mahult võrdne 1 dm^3-ga.

Pole raske näha, et kui joonmõõtudest üks on teisest suu-



Joon. 9. Silindriline mensuur.



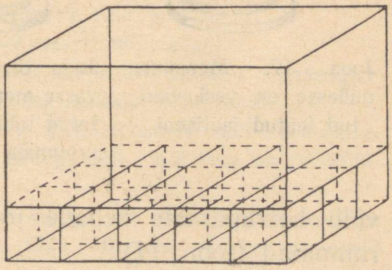
Joon. 10. Kooniline mensuur.

rem 10 korda, siis neile vastavaist kuupmõõtudest üks on teisest suurem 1000 korda.

Vedelikkude ruumala mõõtmist toimetatakse eriliste anumate — mensuuride abil, millele on märgitud jaotised; need näitavad valatud vedeliku ruumala kuupsentimeetrites.

Mensuurid on silindrilised (joon. 9) ja koonilised (joon. 10).

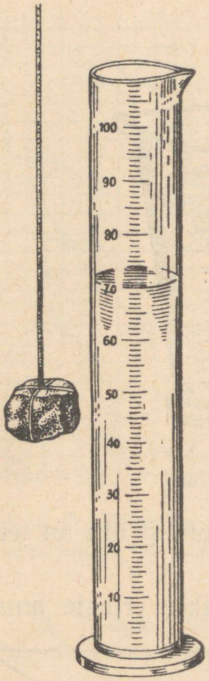
Kui mensuuriga mõõtma hakatakse, siis tehakse eelkõige kindlaks, mitmele kuupsentimeetrile vastab üks men-



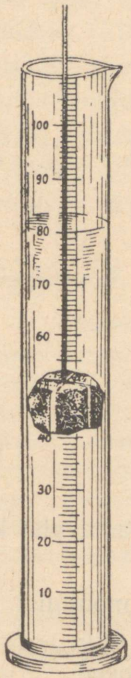
Joon. 11. Risttahuka ruumala võrdub pikkuse, laiuse ja kõrguse korrutisega.

suuri jaotis, või, nagu öeldakse, määratakse ühe jaotise väärtus.

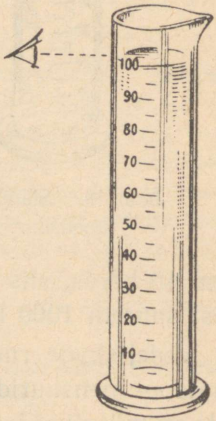
Mensuuri jaotise väärtus võib olla 1 cm^3, 2 cm^3 ja 5 cm^3. Kasutades võtteid, mis on tuntud geomeetria kursusest,



Joon. 12. Mensuur, millesse on vesi valatud teatud jaotiseni.



Joon. 13. Vett sisaldavasse mensuuri on asetatud tahke keha, mille ruumala mõõdetakse.



Joon. 13-a. Silma asetus mensuuri jaotiste lugemisel.

võib korrapäraste kehade joonmõõteid mõõtes leida nende ruumalad (joon. 11).

Mensuuriga võib mõõta ka igasuguse kujuga väikeste kehade ruumala. Selleks valame mensuuri nii palju vett, et võiksime mõõdetava keha täielikult asetada vette (joon. 12).

Märkinud jaotise, milleni ulatub veepind, laseme mensuuri mõõdetava keha[1]. Seejuures tõuseb veepind (joon. 13). Veepinna taseme muutuse järgi mensuuris võime leida vette lastud keha ruumala.

Joonisel 13-a on näidatud, kuidas tuleb vaadata silmaga, et lugeda mensuuri jaotisi õigesti.

10. Laboratoorne töö nr. 2. Töö eesmärk — õppida kehade ruumalasid mõõtma mensuuri abil.

Katseriistu ja materjale: mensuur, kogu mitmesuguseid kehi.

Töö juhend:

1. Valanud mensuuri vett teatud tasemeni, määrake vee ruumala (joon. 12).

Jaotise lugemisel pidada meeles, kuidas tuleb vaadata silmaga, et ei tekiks viga (joon. 13-a).

2. Laske mensuuri peenikese niidi otsas ese, mille ruumala on vaja kindlaks määrata (joon. 13). Veepindade vahe järgi määrake keha ruumala.

Kui teil on mingi korrapärase kujuga geomeetriline keha, näiteks puuklots, arvutage selle keha ruumala, mõõtes tema pikkuse, laiuse ja kõrguse; võrrelge saadud ruumala suurust mensuuri abil määratud keskmise suurusega. Kas tulemused ühtivad?

Harjutus 5.

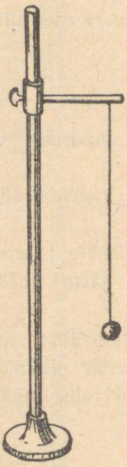
1. Valmistage kartongist või vineerist 1 cm^3 ja 1 dm^3.
2. Valmistage mensuuri abil katseklaasist mõõteanum.
3. Mille poolest erinevad silindrilise mensuuri jaotised samasugustest jaotistest koonilisel mensuuril? Kuidas seletada seda vahet?
4. Mensuuri valati 200 cm^3 vett. Kui mensuuri lasti rauatükike, tõusis vesi jaotiseni, mis on tähistatud arvuga 250. Kui suur on rauatükikese ruumala?
5. Mõtelge järele ja kirjeldage, kuidas on võimalik mensuuriga täpsemalt mõõta haavli ja vedeliku tilga ruumala. Tehke vastavaid katseid.

---

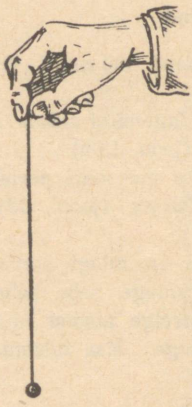
[1] Kui ese ujub, torgata temasse sukavarras ja vajutada ta sellega vette.

11. Vertikaalsiht. Kinnitame statiivile niidi, mille külge on riputatud väike koormus, ja pöörame tähelepanu niidi sihile (joon. 14). Märkinud mingil viisil koormuse asendi, tõukame koormuse kõrvale. Pärast mõningat kõikumist võtab koormus endise asendi.

Sihti, mille võtab niit tema otsas rippuva koormuse mõjul, nimetatakse p ü s t- ehk v e r t i k a a l s i h i k s, niiti ennast



Joon. 14. Koormus pingutab niiti.



Joon. 15. Püstlood.

aga ühes tema külge seotud koormusega nimetatakse p ü s t l o e k s (joon. 15).

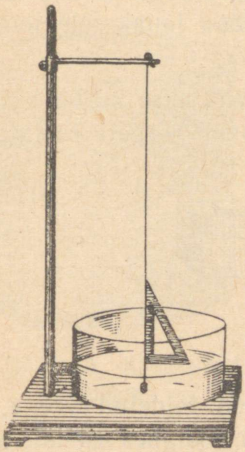
Lauale võib vertikaalselt asetada köidetud raamatu ja ta seisab. Tarvitseb vaid raamatut vertikaalasendist kallutada veidi kõrvale, kui ta kukub. Täpselt samuti ka hoone ehitamisel võib seinakallak ähvardada ümberkukkumisega.

Püstlood on väga tähtis riist, mida hoonete ehitamisel kasutatakse ehitatavate seinte ning akende ja uste raamide vertikaalsihi kontrollimiseks.

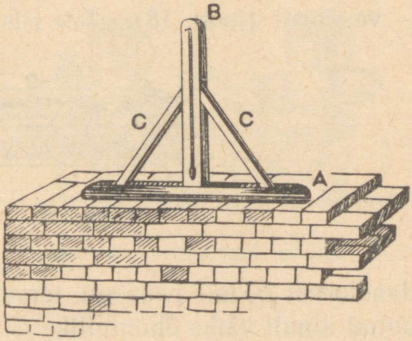
Harjutus 6.

Valmistage püstlood ja kontrollige sellega, kas toa seinad, laua, tooli ja muude esemete jalad on vertikaalsed.

12. Horisontaalsiht. Sihti, mis moodustab püstsihiga täisnurga, nimetatakse horisontaalsihiks. Asetame lauale fotoplaadi klaasi ja paigutame sellele väikese metallkuulikese. On väga raske kuulikest asetada klaasile nii, et ta



Joon. 16. Vertikaalsiht moodustab horisontaalsihiga täisnurga.



Joon. 17. Vaaderpass.

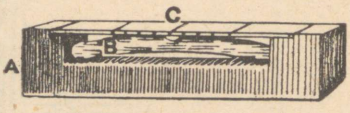
jääks samasse kohta, kuhu me ta asetasime, ega veereks klaasilt ühes või teises suunas. See tuleb sellest, et lauale asetatud klaas on peaaegu alati mõnevõrra kaldu. Kuulike veerebki kallakutpidi. Asetades klaasi alla tikkudest kiilukesi võib klaasi asetada nii, et kuulike ei veere. Sel juhul on klaas asetatud lauale horisontaalselt. Veepind on horisontaalne küllaltki laias anumas (joon. 16).

Põrandad ja laed tubades peavad olema horisontaalsed.

Horisontaalsed peavad olema ka masinate alused, et oleks võimalik teatud masinaosi asetada kohale täiesti horisontaalselt.

Ehitustöölised kasutavad horisontaalsihi kontrollimiseks niinimetatud puusepa vaaderpassi (joon. 17). Vaaderpass koosneb sirgest hööveldatud puuliistust *A*, millele on täisnurga all kinnitatud lauake *B*, tugedega *CC*. Piki lauakest, täisnurga all liistu alumisele tahule, on joonestatud ristjoon. Selle sirgjoone ülemise otsa kohal on kinnitatud püstlood. Kui liistu alus on horisontaalne, siis ühtib püstlood lauakesele joonestatud joonega.

Horisontaalsuse kontrollimiseks tarvitatakse ka teist riista — vesiloodi (joon. 18). See riist koosneb kergelt koolutatud



Joon. 18. Vesilood.

klaastorust *B*, mis peaaegu tervenisti on täidetud veega, on jäetud ainult väike õhumullike *C*. Toru mistahes asendis asub õhumullike selles kõige kõrgemal kohal. Klaastoru kinnitatakse puust või metallist alusele *A*. Vesilood ehitatakse nii, et aluse horisontaalse asendi puhul mullike asetseks toru keskpaigas, mis on tähistatud kriipsuga. Kui alus ei asetse horisontaalselt, siis mullike kaldub kõrvale.

Vesiloega varustatakse paljud riistad, mida on vaja asetada kohale täiesti horisontaalselt.

Harjutus 7.

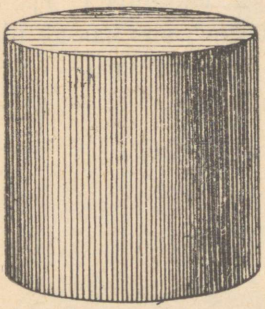
Valmistage vaaderpass ja kontrollige, kas laua, aknalaua, põranda jne. pinnad on horisontaalsed. Seejuures tuleb vaaderpass asetada mitmes suunas.

13. Keha kaal. Laseme kivi käest lahti, ta langeb maha. Sama juhtub ka iga muu kehaga, kui seda millegagi ei hoita.

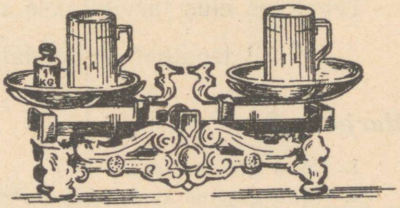
Riputame keha niidi otsas aluse külge; keha ei lange, ent niit tõmbub seejuures pingule.

Kui keha takistada langemast, asetades tema alla aluse, siis rõhub keha seda alust, mida on kerge kindlaks teha, kui panna käele mingi ese.

Pannes käele mitmesuguseid esemeid, märkame, et ühed neist rõhuvad nõrgemini, teised tugevamini.



Joon. 19. Kilogrammi etaloon.



Joon. 20. Liiter vett kaalub 1 kG.

Kõige kirjeldatu põhjuseks on Maa külgetõmbejõud — raskusjõud.

Jõudu, millega keha rõhub alusele või pingutab niiti, mille külge ta on riputatud, nimetatakse kaaluks. Kuna kõik kehad omavad kaalu, nagu teame kogemustest, siis järelikult tõmbab Maa enda poole kõiki kehi

14. Kaalu meetermõõdud. Meetermõõdustikus on kaalu mõõduühikuks võetud vihi kaal, mida nimetatakse kilogrammiks (lühendatult kG). Selle vihi etaloon on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist ja hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos (joon. 19). Selle täpsed koopiad on olemas kõigis kultuurriikides.

Mõõtmised näitavad, et kilogramm on väga suure täpsusega, mis on küllaldane paljudeks praktilisteks otstarveteks, võrdne 1 liitri puhta vee kaaluga 4° C temperatuuril (joon. 20).

Ühte tuhandikku osa kilogrammist nimetatakse grammiks (lühendatult G), ühte tuhandikku osa grammist aga milligrammiks (lühendatult mG).

Kuna ühes liitris on puhast vett 1000 cm^3, siis kaalub üks kuupsentimeeter puhast vett 4° C temperatuuril 1 G *).

Tuhat kilogrammi moodustab tonni [lühendatult T *)].

Kuna ühes liitris on puhast vett 1000 cm^3, siis kaalub üks tonn ühe kuupmeetri puhtavee kaal 4° C temperatuuril.

Tegelikus elus tarvitatakse sageli ühikut:

1 tsentner (lühendatult ts) = 100 kG.

Harjutus 8.

1. Mitu grammi on 2,5 kG?
2. Mitu grammi kaalub 125 cm^3 vett?
3. Mitu kilogrammi on 3784 G?
4. Mitu grammi on ühes tonnis?

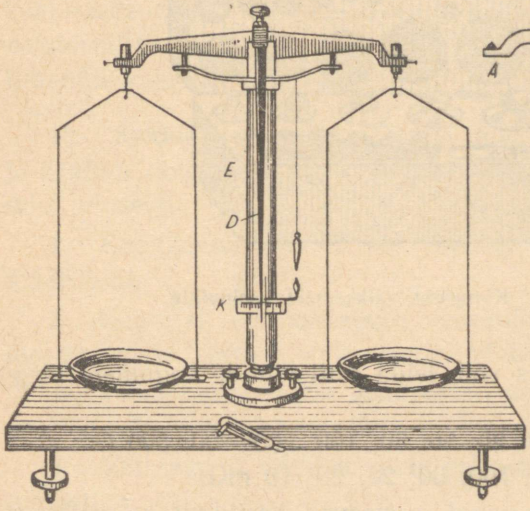
15. Kaalud. Kehade kaalumiseks kasutatakse kaalusid. Joonisel 21 on näidatud laboratoorsed kangkaalud. Selliste kaalude peamiseks osaks on k a a l u k a n g (joon. 22). Kaalukangi keskpaika ja otste sisse on tehtud kolmetahused terasprismad *A*, *B*, *C*. Keskmine prisma *C* on pöördud servaga allapoole. Selle servaga toetub kaalukang alusele *F*. Otsmised prismad *A* ja *B* on pöördud servaga ülespoole.

Kaalukangi keskele on kinnitatud osuti, mis võib liikuda piki jaotistega lauakest *K*, mida nimetatakse skaalaks.

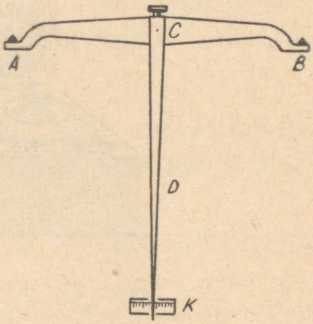
---

*) Füüsikas tähistatakse kaaluühikuid gramm ja tonn (raskust) suure tähega: G, T, matemaatikas, keemias, samuti igapäevases elus mõõdetakse samade ühikutega massi — g, t. Tõlkija.

Otsmiste prismade *A* ja *B* servadele riputatakse kaalukausid. Kui kaalud on õigesti korda seatud, siis kaalukangi parem õlg (keskmise prisma serva kaugus parempoolse otsmise prisma servast) peab võrduma vasaku õlaga; parema kausi kaal peab olema võrdne vasaku kausi kaaluga. Koormuseta kaalukangi peab tasakaalustama nii, et osuti seisaks



Joon. 21. Kangkaalud.

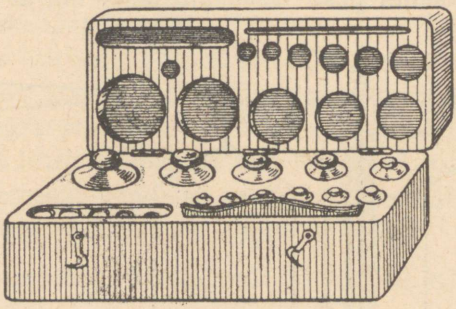


Joon. 22. Kaalukang.

kaalu küljes oleva skaala keskel. Kui mõlemal kaalukausil on võrdne koormus, siis jääb osuti seisma samuti skaala keskele, või kaalukangi kõikumisel eemaldub osuti vasakule ja paremale ühesuguse jaotiste arvu võrra skaala keskkohast. Et kaalumisel saada õigeid tulemusi, peab kaalu alus olema asetatud horisontaalselt, mille kontrollimiseks on püstlood; lood on asetatud kaalu toest paremale ja tema alla teravik. Kui püstloe ots ühtib teravikuga, siis on püstlood risti kaalu alusega. Järelikult on alus sel juhul asetatud horisontaalselt.

Keha kaalumine seisab selle keha kaalu võrdlemises vihi kaaluga, mis tasakaalustab antud eset.

16. Väiksemad kaaluvihid. Kaalude juures on kehade kaalumiseks väiksemate vihtide kogumid (joon. 23).



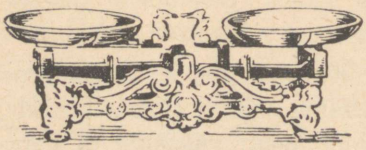
Joon. 23. Komplekt väiksemaid kaaluvihte.

Laboratooriumides võib leida tihti vihtide kogumeid järgmisel kujul:

1) 1; 2; 2; 5; 10; 20; 20; 50; 100; 200; 200; 500 G.

2) 500; 200; 200; 100; 50; 20; 20; 10 mG.

Kastis, milles on vihid, asetsevad harilikult ka väikesed näpitsad (pintsetid), mida kasutatakse vihtide väljavõtmiseks ning asetamiseks kaaludele.



Joon. 24. Letikaalud.

17. Kaalude liigid. Praktikas kasutatakse mitut liiki kaalusid. Joonisel 24 on kujutatud letikaalud. Need kaalud on võrdlemisi vähetundlikud ja neid võib kasutada ainult jämedamateks kaalumisteks. Teaduslikeks kaalumisteks kasutatakse kaalusid, millel võib kaaluda kuni ühe kümnendiku milligrammi täpsusega.

Mõningatel juhtudel osutub ka see täpsus mitteküllaldaseks. Siis kasutatakse erilise ehitusega kaalusid, millel võib kaalumist teostada veel suurema täpsusega.

Väga raskete esemete kaalumiseks võib muidugi teha väga suuri kausskaalusid. Selliseid kaalusid tehtigi vanasti.

Nüüdsel ajal on kaaludel, millel tuleb kaaluda raskeid esemeid, selline seadis, mille abil suuremat raskust võib tasakaalustada märksa väiksemakaaluliste vihtidega. Näiteks võib detsimaal-kaaludel 1 kG vihiga tasakaalustada 10 kG, tuhandik-kaaludel — 1000 kG.

18. Kaalumise reeglid. Õigete tulemuste saavutamiseks ja kaalude hoidmiseks on kaalumisel vaja pidada silmas järgmisi juhiseid:

1. Kaalukaussidele ei või asetada midagi märga ega määrdinut.

2. Kaalutav ese asetatagu vasakule kaalukausile, vihid aga paremale, sest nii on mugavam vihte kaalukausile panna.

3. Vihid asetsegu kas kaalukausil või kasti pesades; teisi kohti nende jaoks ei tohi olla.

4. Väiksemaid vihte ei võeta paljaste kätega, vaid ainult pintsetiga.

5. Kaalusid tuleb tarvitada väga hoolikalt.

19. Laboratoorne töö nr. 3. Töö eesmärk — õppida määrama mitmesuguste kehade kaalu.

Riistu ja materjale: kaalud, väiksemaid vihte, pintsett vihtide jaoks, mitmesuguseid tahkete kehade tükke, piiritust, soolalahust, teeklaas, haavleid või liiva, tilguti.

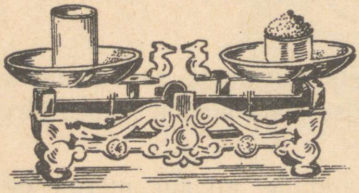
Töö juhend:

1. Määrata mitmesuguste kehade kaal, pidades rangelt kinni kaalumisjuhiseist. Tulemused märkida tabelisse.

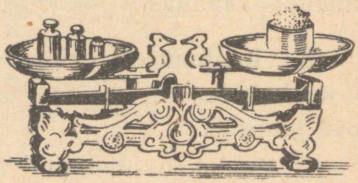
2. Kaalumine ebaõigete kaaludega.

Suur vene teadlane D. I. Mendelejev töötas välja viisi, mille abil saab määrata keha kaalu ka korrast ära olevate (vigaste) kaaludega. Seda kaalumisviisi nimetatakse tareerimisviisiks. Tareerimisviisil (joon. 25) kaaludes asetatakse vasakule kaalukausile ese, mille kaalu tahetakse kindlaks määrata, paremale aga pannakse teeklaas või purk, millesse puistatakse kuiva liiva või peeni haavleid, seni kui kaalud tasakaalustuvad.

Siis võetakse ese vasakult kaalukausilt ja asemele pannakse vihid, et nad tasakaalustaksid taara kaalu (joon. 26). Nende vihtide kaal on võrdne eseme kaaluga. (Mõtelge järele, miks on see nii!)



Joon. 25. Keha kaal on tasakaalustatud taaraga.



Joon. 26. Taara on tasakaalustatud vihtidega.

Asetage vasakule kaalukausile mingi väike ese (metallplaadike). Seega rikutakse kaalukausside tasakaal — kaalud muutuvad «vigasteks». Teostage mingi keha kaalumine korrast ära olevate kaaludega tareerimisviisil.

Võrdluseks määrake sama keha kaal õigetel kaaludel.

Harjutus 9.

Kaaluge oma keha kaal ning märkige üles mõõtmise tulemus. Õppeaasta keskel ja lõpul korrake kaalumist.

20. Erikaal. Kogemuste järgi teame, et ühesuguse mahuga, kuid mitmesuguseist aineist kehad evivad erinevat kaalu. Rauatükk näiteks on raskem temaga ruumalalt võrdsest puutükist ja kergem samasugusest seatinatükist.

Kui mitmesuguseist materjalidest valmistada ühesugused (ruumalaga 1 cm^3) kuubikud, siis on nende kaal erinev. Nii

kaalub 1 cm^3 rauda 7,8 G, 1 cm^3 alumiiniumi 2,7 G, 1 cm^3 korki 0,24 G, 1 cm^3 vett 1 G.

1 kuupsentimeetri aine kaalu grammides nimetatakse antud aine erikaaluks. Järelikult väljendub raua erikaal arvuga 7,8, alumiiniumil arvuga 2,7 jne.

Et teada saada mingi aine erikaalu, pole vajadust võtta seda ainet tingimata 1 kuupsentimeetri ruumala suuruses. Võib võtta ka antud aine suurem tükk, määrata ära tema kaal ja ruumala ning saadud tulemuste järgi arvutada antud aine erikaal.

Kaalugu näiteks 20 cm^3 malmi 146 G; 1 cm^3 malmi kaalub 20 korda vähem, s. o. $146 : 20 = 7{,}3$. See ongi tema erikaal.

Et oleks näha, et meil on siin tegemist aine erikaaluga, märgime saadud tulemuse järgmiselt: 7,3 G/cm^3, kus lugejas on kaalu nimetus, nimetajas aga ruumala nimetus.

See nimetus eraldab teda kaalust, mida mõõdetakse lihtsalt grammidega, kilogrammidega jne.

Et määrata mingi aine erikaalu, on vaja selle aine kaal grammides jagada tema ruumalaga kuupsentimeetrites.

Lühidalt võib selle reegli kirjutada üles ka nii:

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

21. Laboratoorne töö nr. 4. Töö eesmärk — õppida mitmesuguste ainete erikaalu määramist katsete abil.

Katseriistu ja materjale: kaalud, vihid, mensuur, mitmesuguseist aineist esemete kogu, piiritus ja vesi.

Töö juhend:

1. Määrata uuritava aine kaal.
2. Määrata selle aine ruumala.
3. Arvutada, kui palju kaalub 1 cm^3 seda ainet (see ongi ta erikaal).

Võtke kolm erisugust mahtu piiritust, kolm eri suurusega rauatükki, klaasitükki jne. Iga aine kolmest erikaalu väärtusest arvutage keskmine.

Kõik mõõtmise tulemused märkida tabelisse:

Aine nimetus	Katse nr.	Kaal grammides	Ruumala cm^3	Kui palju kaalub 1 cm^3	Erikaal	Keskmine erikaal
Piiritus	1 2 3					
Rauatükk	1 2 3					
Klaasitükk	1 2 3					
Puutükk	1 2 3					

22. Erikaalude tabel.

Tahked kehad

	G/cm^3
Plaatina	21,4
Kuld	19,3
Seatina	11,3
Hõbe	10,5
Vask	8,9
Raud, teras	7,8
Inglistina	7,3
Tsink	7,1
Graniit	2,7
Alumiinium	2,7
Klaas	2,4—2,6
Jää (0^0)	0,9
Puu	0,5—0,7

Vedelikud

	G/cm^3
Elavhõbe	13,6
Väävelhape	1,8
Piim	1,03
Vesi (4^0 C juures)	1,0
Merevesi	1,03
Linaseemneõli	0,9
Petrooleum	0,8
Nafta	0,8
Piiritus (etüül-)	0,8
Eeter (etüül-)	0,7
Bensiin	0,7

Harjutus 10.

1. Kolm kuubikut rauast, vasest ja seatinast evivad ühesuguseid mõõteid. Milline neist on kõige raskem, milline kõige kergem?

2. Kolm kuubikut rauast, vasest ja seatinast evivad ühesugust kaalu. Milline neist kuubikuist omab suurimat ruumala, milline väikseimat?

3. Mitu korda on raudkuulike raskem samasuguse ruumalaga alumiiniumkuulikesest?

4. Mispärast tehakse dirižaabli, lennuki ja auto paljud osad mitte terasest, vaid duralumiiniumist, millel on samasugune vastupidavus kui teraselgi? (Duralumiiniumi erikaal on 2,7 G/cm³.)

5. Milline 200-grammistest vihtidest on ruumalalt suurem: rauast või portselanist? (Portselani erikaal on 2,5 G/cm³.)

6. Mensuuri valatud veesamba kõrgus on 10 cm. Kui kõrged on samasuguse kaalu ja diameetriga klaas- ja tsinksambake?

7. Kuni korgini täidetud kolbi mahub 1 kG vett. Kas on võimalik valada sellesse kolbi 1 kG petrooleumi, 1 kG väävelhapet?

8. Kas tugev inimene suudab tõsta üles 1 m³ korki? (Korgi erikaal on 0,24 G/cm³.)

9. Tükk metalli kaalub 540 G, selle tüki ruumala on 200 cm³. Millisest metallist on see tükk?

10. Jääkamp kaalub 0° temperatuuril 900 kG. Kui suur on ta ruumala? Kui suure ruumala võtab enda alla vesi, mis tekib, kui jää sulab ja vee temperatuur tõuseb kuni 4° C?

11. Keha ruumala on V cm³, ta kaal on P grammi. Märkides tähega d erikaalu arvulise suuruse, avaldada erikaal kaalu ja ruumala kaudu.

23. Milliseid mõõte kasutada ülesannete lahendamisel.

Raua erikaal on 7,8 G/cm³. Tähendab 1 cm³ rauda kaalub 7,8 G. Arvutame, kui palju kaalub 1 dm³ ja 1 m³ rauda.

Ühes dm³-s on 1000 cm³, aga ühes m³-s on 1000 dm³ ja 1 m³ kaalub 1000 korda enam kui 1 dm³. Seepärast:

1 dm³ raua kaal = 7,8 G × 1000 = 7800 G = 7,8 kG,
1 m³ „ „ = 7,8 G × 1000 = 7800 kG = 7,8 T.

Me näeme, et 1 dm³ ainet kaalub niipalju kilogramme, kuipalju 1 cm³ kaalub gramme, 1 m³ aga niipalju tonne. Tähendab, kui meil on antud mingi aine erikaal, siis on meil ühes

sellega teada, mitu grammi kaalub 1 cm^3, mitu kilogrammi kaalub 1 dm^3 ja mitu tonni kaalub 1 m^3.

Harjutus 11.

1. Kui palju kaalub 10 dm^3 vaske?
2. Kui suur ruumala on 4,2 T liival, kui liiva erikaal on 1,4 G/cm^3?
3. Kõis peab vastu 200 kG koormusele. Kas võib sellise kõiega tõsta terastala, mille ruumala on 0,5 m^3?
4. Kui palju on vaja 1000 T nafta vedamiseks raudteesisterne, kui iga sisterni ruumala (mahutavus) on 20 m^3?
5. Dnepri elektrijaama ehitamiseks kulus 400 000 m^3 liiva. Kui palju oli vaja platvormvaguneid selle liiva vedamiseks, kui igale platvormile pandi 15 T? (Liiva erikaal on 1,4 G/cm^3.)
6. Traaler (kalapüügi laev), minnes püügile, mille kestus on kuni 20 päeva, võtab naftat kaasa 60 T. Millise mahutavusega peab olema punker (paak), et mahutada sellist naftahulka?

II peatükk.

Tahkete kehade mõningaid omadusi.

24. Tahke keha põhiomadused. Kivitükk, raudmutter, puukera, terastrossi- või kanepköiejupp, pliiatsikustutuskumm ja pliiats, erinedes üksteisest välise kuju ja paljude muude omaduste poolest, evivad ühist omadust: neil on teatud kuju. On vaja jõupingutust, et seda kuju muuta.

Kõiki kehi, millel on see omadus, nimetame tahketeks kehadeks.

See tahkete kehade omadus annab võimaluse valmistada neist mitmesuguseid esemeid, masinate osi ja tervik-masinaid.

Me võime painutada õhukest terasplaadikest või puujoonlauda, kuid niipea kui plaadikese või joonlaua otsad lahti laseme, muutub nii see kui teine sirgeks. Hoopis teistsugune on tulemus, kui koolutada tinaplaadikest. See jääbki kooldunuks.

Terasvedru võib kokku suruda ja välja venitada (joon. 27 *a*, *b*), kuid mõju lakkamisel võtab ta jälle endised mõõted. Laseme kukkuda lauale kummipalli. Löögist vastu lauda pall läheb lamedamaks ja võtab siis uuesti kera kuju. Palli kukkumine vastu lauda kutsus esile palli kuju muutuse. Sama nähtust võime panna tähele, kui terasest või elevandiluust kuulikese laseme kukkuda marmorplaadile, mis on kaetud tahmaga. Kuulikese põrkel vastu marmorplaati kuulike lamendub, mida võib näha tahma laigu järgi, mis jäi kuulikesele

pärast põrget. Siis võtab kuulike uuesti oma endise kuju. Mida kõvemini kuulike kukub vastu plaati, seda rohkem ta muudab oma kuju, mida võime otsustada laigu suuruse järgi. Kui lasta marmorplaadile kukkuda seatina- või savikuulike, siis see jääbki pärast lööki lössi. Kergelt võib painutada ka klaasplaati, nagu painutati terasplaati, ja see läheb uuesti sirgeks. Kui me aga sooviksime seda painutada tugevamini, siis murdub see, nagu puruneb ka klaaskuulike, kui see visata marmorplaadile.

Surudes kokku, venitades, painutades või lüües tahket keha, me muudame ta kuju ja ruumala — deformeerime teda. Kehi,



Joon. 27 a ja b. Terasvedru surutakse kokku ja venitatakse välja.

mis pärast sellist mõjutamist võtavad oma endise kuju, nimetatakse e l a s t s e i k s (näiteks kummi, teras).

Kehi, mille juures deformatsioonid jäävad püsima, nimetatakse p l a s t i l i s t e k s (näiteks savi, vaha, seatina).

Muid kehi, mis juba tühiste deformatsioonide puhul purunevad, nimetatakse r a b e d a t e k s (klaas).

25. Jõud. Selleks et tõsta koormust, nihutada lauda, lõigata plekki või tõmmata nöörist, on vaja rakendada lihaste pingutust ehk, nagu tihti öeldakse, rakendada jõudu.

Nii kõneleme hobuse veojõust, mõistes selle all pingutuse astet, mida tunnevad hobuse lihased, kui hobune veab vankrit.

Me kõneleme veduri või traktori veojõust, nagu võrdleksime seda tõmmet oma lihaste pingutuse suurusega.

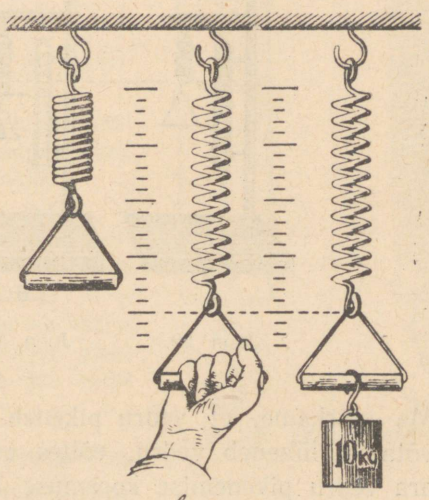
Lõpuks, vaadeldes külgetõmmet, mis on olemas Maa ja mingi keha vahel, mille tagajärjel keha langeb Maa peale või

rõhub sellele, me ütleme, et Maa ja keha vahel on olemas külgetõmbejõud.

Neil juhtudel, mil üks keha mõjutab teist — tõukab, tõmbab jne., me sageli ei näita, milline keha ja kuidas mõjutab teist, vaid ütleme lihtsalt, et antud kehale mõjub jõud. Ja kui mingi keha teise keha mõjutusel hakkas liikuma, jäi seisma või muutis kuidagi oma liikumist, siis räägitakse, et seda keha mõjutas jõud.

Kuidas on võimalik mõõta jõu suurust? Meie lihastunne pole niivõrd täpne, et oleks võimalik selle järgi otsustada jõu suuruse üle. See, mis ühele inimesele on kerge, tundub teisele raskena.

Jõudude mõõtmiseks tuleb neid võrrelda mingi jõuga, mida oskame küllaltki täpselt mõõta. Selleks jõuks võib olla näiteks keha kaal.

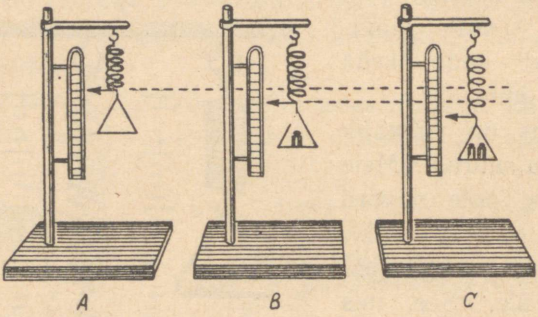


Joon. 28.

26. Jõu mõõtmine dünamomeetriga. Olgu meil tarvis mõõta käe jõudu. Selleks võtame vedru, kinnitame selle ühe otsa liikumatult (joon. 28 *a*), ja võtnud kinni teisest otsast (joon. 28 *b*), hakkame seda venitama. Paneme tähele, millise pikkuseni venis vedru. Seejärel laseme vedru lahti ja sunnime teda uuesti sama pikkuseni välja venima, koormates teda vihtidega (joon. 28 *c*). Oletame, et vihi kaal, mis venitas meie vedru, on 10 kG, järelikult on ka see jõud, millega me venitasime vedru käe abil, samuti 10 kG.

Jõu mõõtmise riistu nimetatakse dünamomeetriteks (kreeka-keelsest sõnast *dünamis* — j õ u d). Need on mitmesuguse ehitusega. Nende peamiseks osaks on spiraal- või erikujulised metallist vedrud.

27. Vedru gradueerimine. Koormame rippuvat vedru (joon. 29), asetades selle külge kinnitatud kausile koormusi.



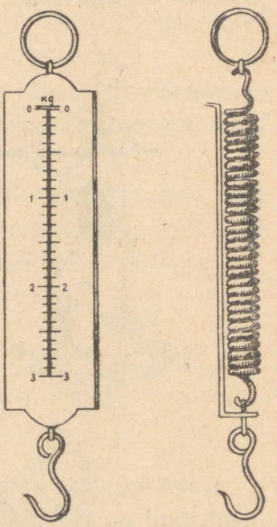
Joon. 29. Joon. 30. Joon. 31.

Me märkame, et vedru pikeneb. Niipea kui koormuse ära võtame, lüheneb vedru, võttes esialgse pikkuse. Märkides ära vedru pikenemise koormuse korral, võime täheldada, et vedru pikkuse suurenemine sõltub koormusest. Kui näiteks 100-grammise koormuse puhul vedru pikenes 2 mm võrra (joon. 30), siis 200-grammise koormuse puhul vedru pikeneb 4 mm võrra (joon. 31), 300-grammise koormuse puhul — 6 mm võrra. Mitu korda suureneb koormus, niimitu korda suureneb ka vedru pikenemine [1].

Kinnitame vedru otsa külge osuti ja teeme vedru juurde skaala. Vedru koormamisel langeb osuti piki skaalat. Mär-

[1] Igal vedrul on oma piirkoormus, mille ületamise korral, pärast koormuse äravõtmist, vedru ei saa tagasi esialgset pikkust. Piirkoormuse ületamise korral pole vedru pikenemine võrdeline koormuse suurenemisega. Seda fakti peab mõõduvedru gradueerimisel arvestama.

kides skaalal kriipsukestega kohad, kus peatub osuti, ja kirjutades sinna juurde arvud, mis vastavad koormuste raskusele grammides või kilogrammides, gradueerime oma vedru. Saame riista — dünamomeetri (joon. 32). Selline dünamomeeter võimaldab mõõta jõude tema skaala piirides.



Joon. 32. Dünamomeeter.

Harjutus 12.

1. Valmistada dünamomeeter, gradueerides kummipalmiku.
2. Vedru pikenes 300-grammise koormuse mõjul 9 mm võrra. Kui palju pikeneb vedru 400-grammise koormuse mõjul?
3. 500-grammise koormuse puhul oli vedru pikkus 200 mm, 400-grammise koormuse puhul aga 190 mm. Milline on vedru pikkus 500-grammise koormuse puhul?
4. 5-tonnise surve puhul lüheneb vaguni puhvri vedru 1 cm võrra. Millise jõuga surub vagun vastu põkatspukki, kui vedru suruti kokku 4 cm võrra?

28. Jõu graafiline kujutamine. Mõjudes vedrule ühes või teises suunas, me võime seda venitada või kokku suruda. Tõugates vankrikest, võib seda panna liikuma edasi või tagasi, olenevalt sellest, millises suunas mõjuvad meie tõuked. Raskusjõu mõjul kehad langevad maha, ja et keha tõsta üles, on vaja samas suunas rakendada ka meie jõupingutusi.

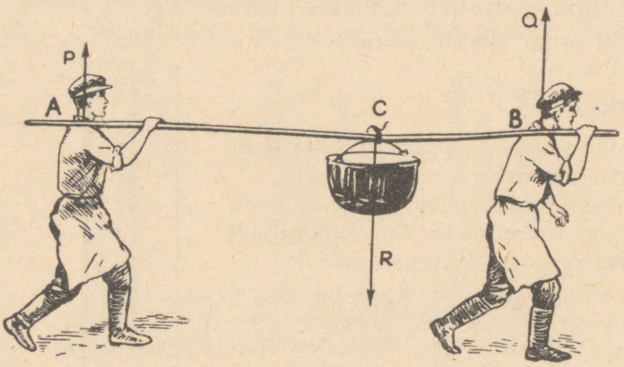
Tähendab, millises suunas mõjub jõud, sessamas suunas muutub ka keha liikumise suund.

Jõud erinevad mitte üksnes suuruse, vaid ka suuna poolest. Et jõud võiks mõjuda kehale, tuleb teda rakendada keha ühes või teises punktis.

Näitlikuks kujutamiseks märgime jõud nooltega, kusjuures noole suurus iseloomustab jõu suurust teatud mastaabis,

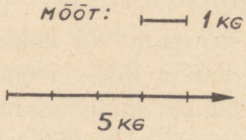
noole suund — jõu suunda; punkt, millest joonestati nool, on jõu rakenduspunktiks.

Joonisel 34 kujutatakse jõudu, mis on võrdne 5 kG-ga, joonisel 35 aga poissi, kes veab koormat 5 kG jõuga.



Joon. 33.

Kaks inimest kannavad pange vahepuuga (joon. 33). Millised jõud on rakendatud vahepuule? Üks jõud — pange raskus R — kisub silmanähtavalt alla; kaks teist jõudu — P ja Q,



Joon. 34. Jõu graafiline kujutamine.

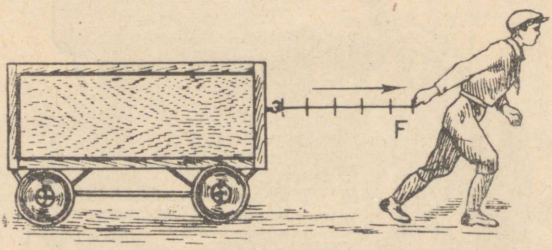
mida rakendavad inimesed, on suunatud üles. A, B ja C on jõudude P, Q ja R rakenduspunktid.

29. Rõhk. Pannud suusad alla, võime joosta lund mööda sellesse vajumata. Tarvitseb vaid jalast kaotada suusk, kui jalg vajub lumme. Seistes lumel suuskadel või suuskadeta, rõhume oma kaaluga lumele. Kuid ühel juhul jaotub kehakaal suuremale lumepinnale, mille võtsid enda alla suusad,

teisel juhul märksa väiksemale pinnale, mida omavad saapatallad. Suuskade pind on umbes 20 korda suurem saapataldade pinnast. Suuskade kasutamisel tuleb lumepinna iga ruutsentimeetri kohta 20 korda väiksem koormus kui siis, kui seisame lumel suuskadeta. Teisiti öeldes, seistes suuskadel tekitame lumele väiksema rõhu ja me ei vaju sisse.

„Rõhu" all, mida tekitab mingi keha alusele, mõeldakse jõudu, mis mõjub toe pindala igale ühikule pinnaga risti-olevas suunas.

Kui näiteks 100 cm^2 pinnale rõhub 300-kG-ne raskus, siis tuleb iga ruutsentimeetrile 3 kG ja me võime öelda, et rõhk on 3 kG 1 ruutsentimeetrile, mida tähistatakse nii: 3 kG/cm^2.



Joon. 35. 5-kilogrammise jõu graafiline kujutamine.

Üks ja sama telliskivi tekitab erinevat rõhku, olenevalt sellest, kuidas ta on asetatud.

Kui telliskivi asetada laiemale tahule, siis jaotub kivi 4-kilogrammine raskus 350-cm^2-sele laiema tahu pinnale ja rõhk võrdub:

$$4000\ G/350\ cm^2 \approx 11{,}4\ G/cm^2.$$

Kui sama telliskivi asetada pikale kitsale tahule, mille pindala on ligikaudu 175 cm^2, siis on rõhk ligikaudu 22,8 G/cm^2.

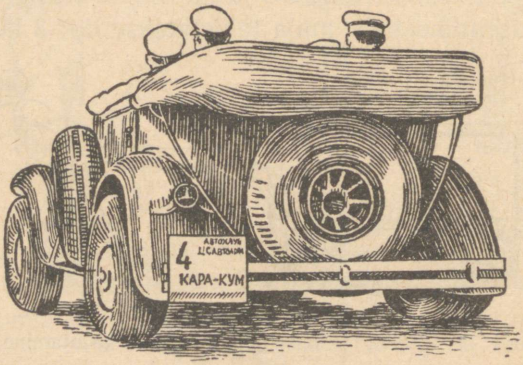
Asetanud sama telliskivi lühikesele (otsmisele) tahule, mille pindala on ligikaudu 84 cm^2, saame rõhu umbes 47 G/cm^2.

Kui panna telliskivi liivale samal viisil, siis esimesel juhul ei jää telliskivi rõhust liivale peaaegu jälgegi, teisel ja kolmandal juhul vajub liiv, ja eriti tugevasti vajub liiv kolmandal juhul.

Iga tugi võib pidada vastu teatud kindlale rõhule. Kui rõhk on sellest teatud suurusest suurem, puruneb tugi.

Tähendab, et vähendada mingi koormuse rõhku toele, tuleb suurendada toetuspindala.

Sõiduauto rattakummi laius on 8—10 cm. Veoautol ja autobusel on kummid märksa laiemad ja rattaid on mitte neli,



Joon. 36. Üliballoonidega auto.

vaid rohkem. Nii jaotatakse auto kaal suuremale toetuspindalale. 1933. a. nõukogude tehastes valmistatud autode kontrollimisel käisid autod ära pika tee, kusjuures osa teed kulges läbi Kara-Kumi kõrbe liiva. Eriti kergesti ületasid liiva autod, mis olid pandud laiadele kummidele — «üliballoonidele» (joon. 36).

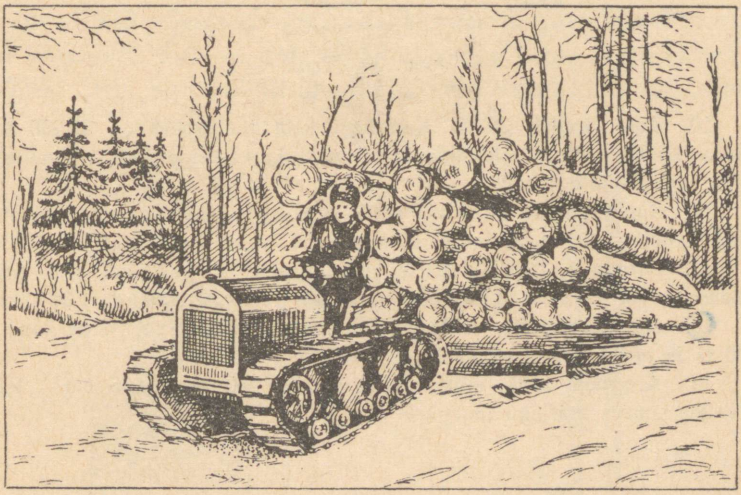
Täpselt samuti on ka raudtee-transpordis raskeil vaguneil mitte kaks paari rattaid, mitte kaks telge, vaid suurem arv telgi, olenevalt vaguni kaalust.

Vähendades toetuspindala, võib sama koormuse juures rõhku tunduvalt suurendada. Näiteks rõhknaela terav ots

läheb kergesti puusse ka kergel vajutusel, sest teraviku pindala on väga väike ja piisab kergest vajutusest, et tekitada suurt rõhku. Mida teravamaks on tehtud höövli tera, seda kergem on saada laastu.

Harjutus 13.

1. Mispärast toolipõhi puruneb, kui seista temal kontsadega?
2. Mispärast põllutöömasinail tehakse rattad laiade pöidadega?
3. Mispärast läheb raudlabidas, kui ta peale vajutatakse jalaga, kergemini maasse kui puulabidas sama suure surve puhul?



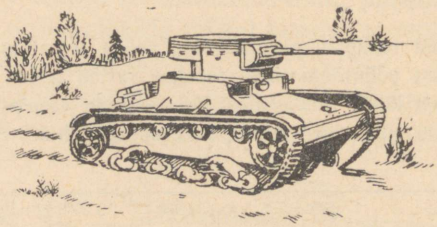
Joon. 37. Linttraktor.

4. Millal tekitate jääle suuremat rõhku, kas seistes uiskudel või ilma?
5. Kas 5-kilogrammise koormusega võib tekitada rõhku 10 kG/cm²? Kuidas seda teha?
Kas sama 5-kilogrammise koormusega võib tekitada rõhku 50 kG/cm²?
6. 10-kilogrammine viht on laual. Kui suure rõhu tekitab see viht lauale, kui vihi põhi on 50 cm²?

7. Teades oma kaalu ja saapatalla pindala (vt. harjutus 4), määrake, millise rõhu tekitate kõndides.

8. Millal tekitab inimene põrandale suurema rõhu, kas seistes või käies?

9. Linttraktoril (joon. 37) kaaluga 2200 kG on mõlema lindi toetuspinnaks 6400 cm^2. Tehke kindlaks traktori rõhumine maapinnale.



Joon. 38. Tank.

10. Tank kaalub 30 T. Kummagi lindi toetuspind on 40 000 cm^2. Tehke kindlaks tanki rõhumine maapinnale ja võrrelge seda rõhumisega, mida teie tekitate kõndides.

11. Suusa pikkus on 2 m, tema laius aga 10 cm. Leida suusataja rõhk lumele, kui suusataja seisab suuskadel ja kui tema kaal on 72 kG.

12. Arvutage telliskiviehitise maksimaalne kõrgus, kui rõhk tellisseinas ei või ületada 11 000 G/cm^2 ja kui tellise erikaal on 1,84 G/cm^3.

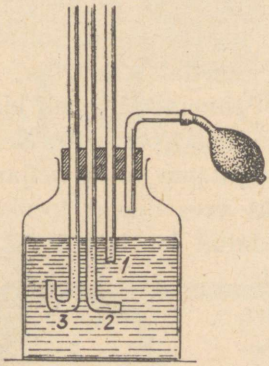
13. Arvutage rõhk, mille tekitab sõrm nõelale, kui rõhuv jõud on 300 G ja nõela teraviku pindala on 0,0003 cm^2.

14. Arvutage rõhk, mille tekitab jõud F kG pinnale S cm^2. Rõhu arvuline suurus märkige tähega p.

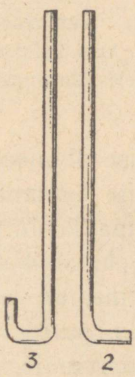
III peatükk.

Vedelikud ja gaasid.

30. Rõhu edasiandmine vedelikkudes ja gaasides. Presendist veevoolik, kuni ta pole täidetud veega, näeb välja lameda lindina. Kui aga voolik ühendada veevärgiga, siis ta, täitu-



Joon. 39. Purk veega on tihedalt suletud korgiga, mida läbivad neli torukest. Kummiballoon pole kokku surutud.

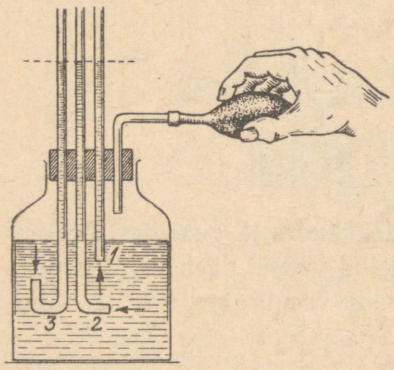


Joon. 40. Kaks kõverdatud torukest.

des järk-järgult veega, võtab lõpuks silindrilise kuju. Kui vooliku seinas on auguke, siis purskab sellest vett, kus ka auguke asuks — kas ülal või all — ükskõik.

Vesi, tulles surve all veevärgist, rõhub voolikut täitvale veele ja see rõhumine antakse edasi vooliku seintele.

Jalgpalli õhukumm, mis on täidetud õhuga, on kerakujuline. Kui sellesse pumbaga veel õhku juurde suruda, siis venivad õhukummi seinad veidi kokkusurutud õhu rõhu all, kuid mitte ainult sisseviiva ava vastas, vaid igal pool. Palli kuju jääb endiseks — kerajaseks.



Joon. 41. Kummiballoon on kokku surutud. Vesi kolmes torukeses tõusis ühele ja samale kõrgusele.

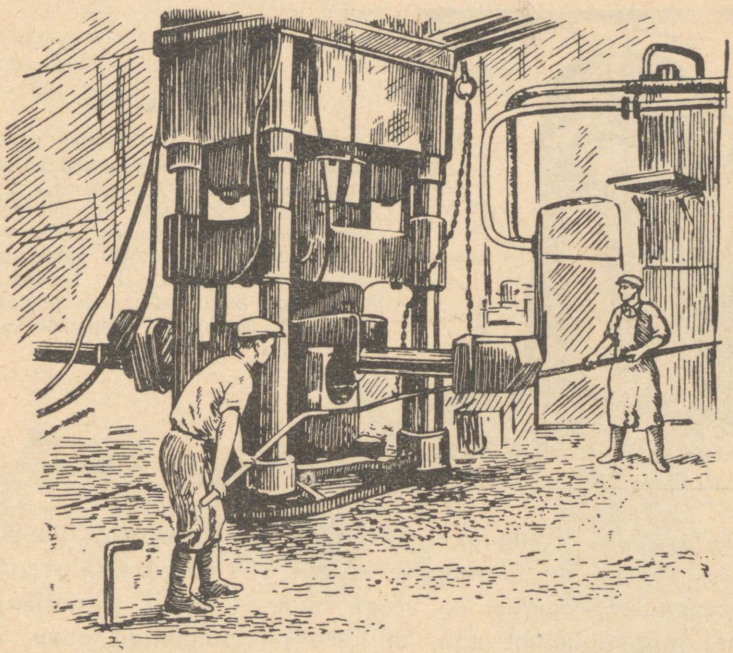
Teeme järgmise katse. Võtame klaaspurgi, mis on täidetud kolmveerandi kõrguseni veega. Suleme purgi tihedalt korgiga, millest paneme läbi neli klaastorukest (joon. 39). Neist kolm ühesuguse diameetriga torukest vajutame vette, neljanda aga ühendame kummiballooniga. Kaks vees olevat torukest peavad olema koolutatud, nagu näidatud joonisel 40.

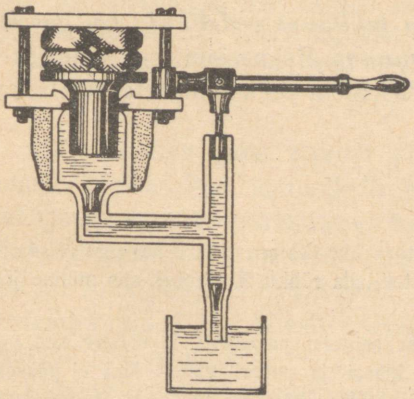
Kui kummiballooni pigistada, siis näeme, et vesi tõuseb kolmes torukeses purgis oleva vee tasemest kõrgemale, seejuures kõigis ühesugusele kõrgusele (joon. 41).

Kokkusurutud õhk rõhub purgis oleva vee pinnale. Vesi annab selle rõhu edasi torudesse. Üks torudest (1) on avatud alt, teine (2) küljelt ja kolmas (3) ülalt. Tähendab, vesi andis rõhu edasi



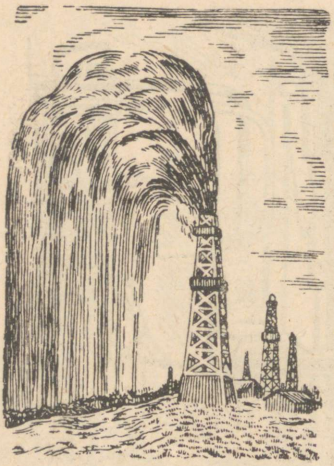
Blaise Pascal (1623—1662).





Hüdrauliline press.

Pressi skeemil on näidatud kaks silindrit — kitsas ja lai —, mis omavahel on ühendatud. Silindrid on suletud kolbidega. Väikese kolvi tõusmisel tuleb kitsasse silindrisse vesi. Kui nüüd rõhuda väikesele kolvile, siis andub sellele tekitatud rõhumine vee kaudu edasi ka suurele kolvile. Kuna suure kolvi pindala on mitu korda suurem väikese kolvi pindalast, siis ka jõud, mis mõjub suurele kolvile, on mitu korda suurem jõust, mis mõjub väikesele kolvile. Joonisel kujutatud tehase hüdraulilise pressi suur kolb töötab jõuga 14 000 T.



Naftaallikas.

Suures sügavuses olevast naftast eralduvad gaasid, mis rõhuvad naftale. Rõhumine ulatub mõnikord kuni 100 kg/cm². Seepärast, kui puurimise juures puurauk ulatub nafta kihini, võib nafta gaasi rõhumise tõttu puuraugust paiskuda fontaanina. Et seejuures läheb kaotsi palju naftat, siis püütakse praktiliselt purskumist takistada, sulgedes nafta torudesse.

igas suunas. Kuna aga veesambakestel torukestes ülalpool purgi nivood on ühesugune kõrgus, siis on edasiantav rõhk ühesugune. Seepärast on veega täidetud voolik silindrikujuline, jalgpallikumm aga, millesse on pumbatud õhku, on kerakujuline.

Järelikult ***rõhk, mis on tekitatud vedelikule või gaasile, andub ühteviisi edasi igas suunas.*** Esimesena tegi selle järelduse prantsuse teadlane Pascal ja seda nimetatakse Pascali seaduseks.

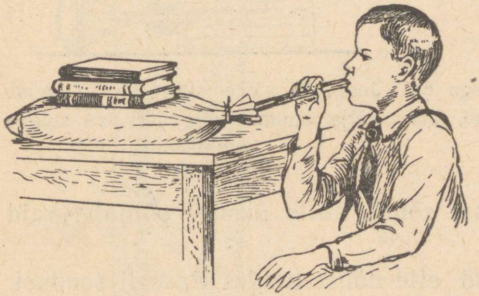
Harjutus 14.

1. 3-cm²-se ristlõikega klaastoru üks ots on suletud korgiga. Kui toru teisest otsast õhku sisse puhudes tekitada rõhku 20 G/cm², siis milline jõud rõhub korgile?

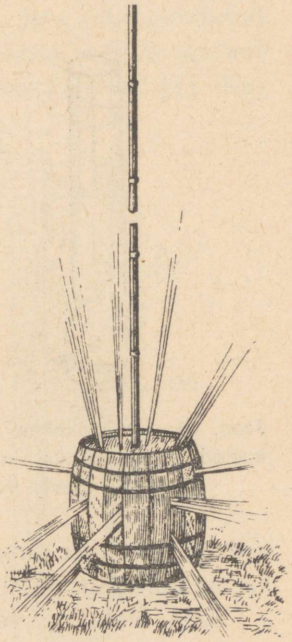
2. Võtke võimalikult tihedast paberist paberkott ja siduge see nööriga klaastoru otsa nii, et õhk klaasi ja paberi vahelt läbi ei pääseks. Pange kotile mõned raamatud ja puhudes õhku läbi toru, kergitage raamatud üles (joon. 42). Suurendades raamatute hulka, määrake nende suurim

arv, mida te sel viisil suudate üles tõsta. Mõõtke ära alumise raamatu toetuspindala. Pidage meeles, milliste raamatutega te korraldasite katse. Tooge raamatud kooli, ja määranud nende kaalu, arvutage välja see rõhk, mille tekitasite õhu puhumisega kotti.

3. Joonisel 43 on kujutatud katse, mille korraldas Pascal. Miks lõhkes veega täidetud vaat, kui vett valati torusse?



Joon. 42. Paberkotile on pandud mõned raamatud, ja puhudes läbi toru koti sisse õhku, poiss kergitab raamatud üles.

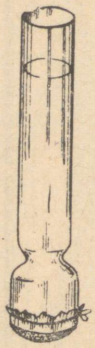


Joon. 43. Pascali katse vaadiga.

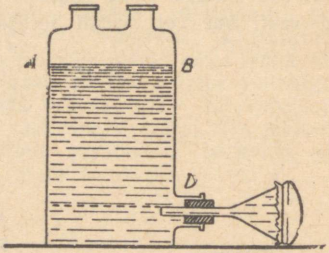
31. Vedeliku rõhk anuma põhjale ja seintele. Katame klaastoru ühe otsa kummikelmega kinni ja valame torusse vett (joon. 44). Me märkame, et kummipõhi kooldub alla. Mida kõrgema veekihi valame, seda enam kooldub põhi ja seda suurem on rõhk põhjale. Vedelikud, nagu kõik kehad Maa peal, omavad kaalu, ja on täiesti arusaadav, et nad selle tagajärjel rõhuvad nõu põhjale.

Katame lehtri õhukese kummiga pealt kinni ja asetame ta pudeli alumisesse avasse (joon. 45). Valades pudelisse vett,

märkame, et kumm tõmbub pingule, ja kooldudes väljapoole, näitab vedeliku rõhumist anuma külgmisele seinale. Tähendab,



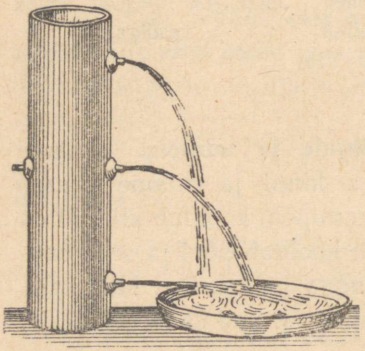
Joon. 44. Kummikelme, millega on kaetud klaastoru ots, kooldub, kui torusse valada vett.



Joon. 45. Vee surve tõttu venib välja anuma külgmist ava sulgev kummikelme.

vedelik valatuna anumasse rõhub mitte üksnes põhjale, vaid ka anuma külgseintele.

Seda oleksime võinud ette näha, tundes Pascali seadust. Tõepoolest, vedeliku sammas *ABCD* rõhub alumisele kihile. Vedeliku alumine kiht annab samba *ABCD* rõhumise edasi igas suunas, järelikult ka külgseinale.

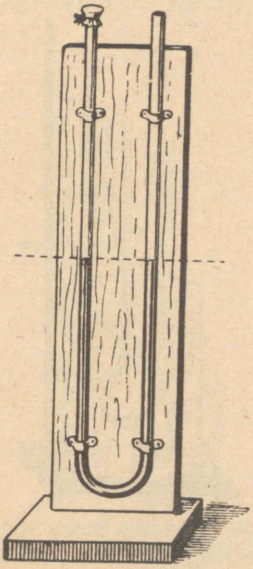


Joon. 46. Anum külgmiste avadega, millest purskub vett.

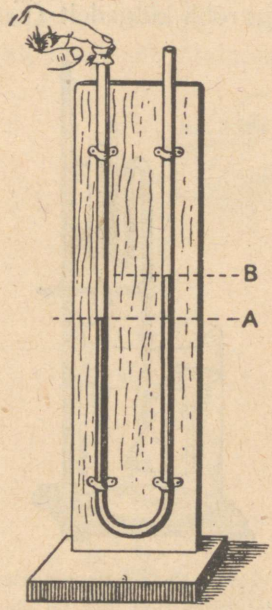
Võtame anuma, mille seinasse on tehtud mitmesugusele kõrgusele avad (joon. 46). Täidame anuma veega. Avadest purskavad veejoad. Mida madalamal on ava, seda kõrgem on veesammas ava kohal, seda kau-

gemale purskab juga. *Vedeliku samba rõhk on seda suurem, mida kõrgem on vedeliku sammas.*

32. Manomeeter. Võtame klaastoru, mis on painutatud U-kujuliselt (siit nimetus — U-toru). Valame sellesse poolest saadik vett ja seome ühe otsa kummikelmega (joon. 47). Kui



Joon. 47. U-toru täidetud poolest saadik veega. Ühe haru ots on suletud kummikelmega.

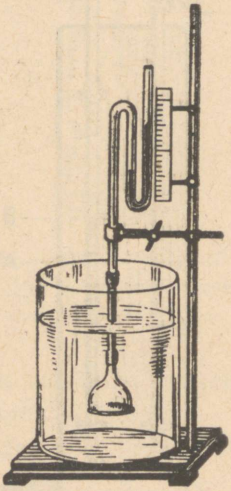


Joon. 48. Sõrm rõhub kelmele — vee tase vasakus harus on märgitud tähega *A*, paremas aga tähega *B*.

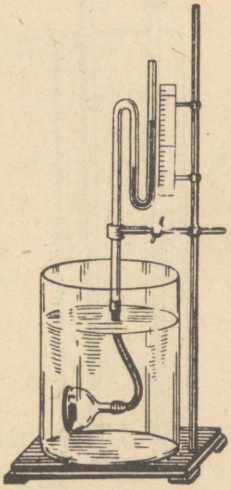
rõhuda sõrmega kelmele, tõuseb vee tase teises harus (joon. 48). Mida suurema rõhu tekitame kelmele, tähendab ka vedelikule selles harus, seda kõrgemale tõuseb vedelik teises harus. Vedelikusamba *AB* kõrguse järgi võib otsustada rõhu suuruse üle. Sellist vedelikuga U-kujulist skaalaga varustatud toru nimetatakse manomeetriks — riistaks, mis mõõdab rõhku.

33. Rõhk vedeliku sees. Paneme vedeliku sisse väikese lehtri, mis on tihedasti kaetud kummikelmega ja ühendatud väikese manomeetriga (joon. 49).

Andes lehtrile mitmesuguseid asendeid, märkame, et vedelik rõhub mitte ainult ülalt alla, vaid on olemas ka rõhk alt üles ja rõhk külgedelt (joon. 50). Mida sügavamale on lehter



Joon. 49. Vedelikmanomeeter on ühendatud lehtriga, mis on üle tõmmatud kummikelmega.



Joon. 50. Kummikelmega lehter on vedelikus pööratud küliti.

vajutatud, seda suuremat rõhumist näitab manomeeter. Rõhk vedeliku sees suureneb sügavuse suurenemisega.

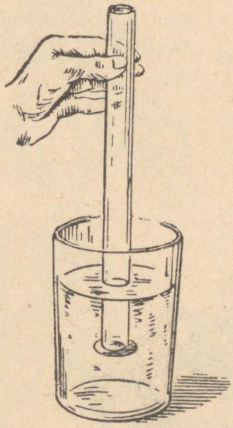
Laseme klaaspurki, milles on vett, klaastoru, mille alumine ots on kaetud kartongiga [1] (joon. 51-a). Toru vette laskmisel surub veerõhk kartongi alt üles tihedasti vastu toru ääri.

Hakkame torusse aegamisi vett valama. Näeme, et kartong läheb toru küljest lahti, kui vedeliku tase torus ühtib vedeliku

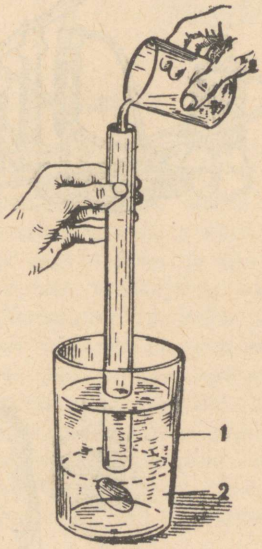
[1] Kartong on vaja stanniooliga üle kleepida, et ta vajuks põhja.

tasemega purgis (joon. 51-b). Eraldumise momendil rõhub kartongile ülalt vedelikusammas, mis on torus, alt aga rõhub vedelik, mis on purgis. Kuna kartong sel juhul eraldub klaasist, siis võime järeldada, et mõlemad rõhud on omavahel võrdsed, kartong aga eemaldub klaasist oma raskuse tõttu.

Tähendab, ühes ja samas sügavuses on vees rõhk ülalt alla ja alt üles ühesugune. Veekiht, mis asub ülalpool toru



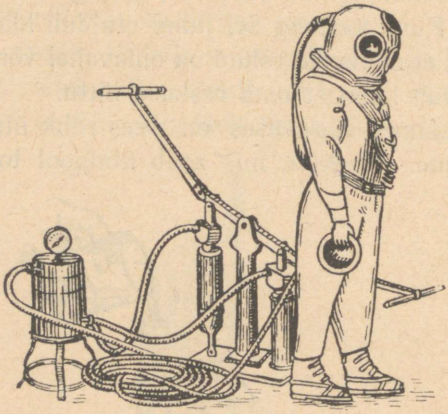
Joon. 51-a. Eralduva põhjaga klaastoru on asetatud vette.



Joon. 51-b. Eralduva põhjaga klaastorusse on valatud vett.

alumist äärt, rõhub tema all olevale veekihile. See rõhk antakse edasi ühteviisi igas suunas. Seepärast on mitte üksnes rõhk ülalt alla võrdne rõhuga alt üles, vaid *rõhk vedeliku sees ühes ja samas sügavuses on igast küljest ühesuurune.*

34. Vedeliku rõhu arvutamine. Nägime, et rõhk vedelikus ühes ja samas sügavuses on kõigis suundades ühesugune. Järelikult rõhu arvutamiseks mingis suunas on küllalt, kui arvutada vedeliku rõhku ülalt alla.



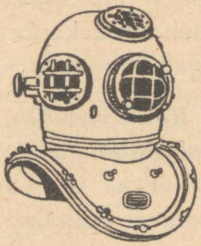
Tuukriülikond.

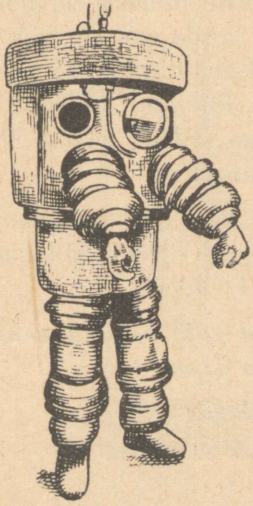
Tuukriülikond valmistatakse õhu- ja veekindlast kummiriidest. Tuuker paneb ülikonna peaava kaudu oma riiete peale. Selle ava ülemine äär kruvitakse vaskse rinnakilbi külge. Rinnakilbi ülemises osas on kruvikeermik metallkiivri kinnitamiseks.



Kiiver.

Kiivrisse on tehtud paksude klaasidega aknakesed. Kiivri külge kruvitakse pumba juurest tulev kummitoru, mille kaudu antakse värsket õhku. Kiivri taga on klapp väljahingatud õhu väljalaskmiseks.





Soomus-tuukriülikond.

Soomus-tuukriülikonda kasutatakse tuukri töödeks suurtes sügavustes. See valmistatakse parimatest terase sortidest. Soomus-tuukriülikonna osad, mis on määratud tuukri käte ja jalgade jaoks, on liikuvad. Ülikonna ülemine kellakujuline osa on varustatud mitmesuguste aparaatide ja riistadega. Seal on aparaadid hingamiseks vajaliku hapniku tagavaraga, aparaat süsihappegaasi neelamiseks, telefon ja elekterkõlisti ühenduse pidamiseks «pealveega», mitmesugused mõõteriistad ja elektrilambid. Soomus-tuukriülikond ühes tuukriga lastakse põhja eriliste trosside abil.

Teame, et rõhuks nimetatakse jõudu, mis mõjub pindala ühikule. Oletame, et mensuuri on valatud vesi. Kui lasta 1-ruutsentimeetrine plaadike mensuuri 5 cm sügavusse ja asetada see plaadike rööbiti vedeliku pinnaga, siis rõhub sellele pinnale veesammas kõrgusega 5 cm. Kuna veesamba aluse pindala võrdub plaadikese pindalaga, s. o. 1 cm^2-ga, siis on veesamba üldkaal 5 G. See järgneb sellest, et veesamba kaal on võrdne vee erikaalu ja samba ruumala korrutisega. Järe-

likult on rõhk 5 cm sügavuses 5 G/cm². Kui laseme plaadikese 10 cm sügavusse, siis suureneb samba kõrgus 2 korda; tähendab 2 korda suureneb ka veesamba kaal, ja rõhk 10 cm sügavuses on 10 G/cm².

Rõhk vedeliku teatud sügavuses on võrdne vedeliku vertikaalsamba kaaluga, mille (samba) põhja pindala on 1 cm² ja kõrgus on võrdne mõõdetava kihi kaugusega vedeliku tasemest anumas.

Kui mensuuri valatakse mitte vett, vaid näiteks elavhõbedat, mille erikaal on vee erikaalust 13,6 korda suurem, siis ka elavhõbedasamba kaal on teiste võrdsete tingimuste puhul 13,6 korda suurem kui veesamba kaal. Järelikult ka rõhk on 13,6 korda suurem. Väiksema erikaaluga vedelik tekitab ühesuguse sambakõrguse puhul ka väiksema rõhu.

Veesammas tekitab 5 cm sügavuses rõhu 5 G/cm²; samasugune elavhõbedasammas tekitab rõhu, mis võrdub 68 G/cm². Piiritus tekitab samas sügavuses rõhu 4 G/cm².

Vedeliku rõhu väljaarvutamiseks on vaja veesamba kõrgust sentimeetrites korrutada erikaaluga G/cm³-tes.

$$\textit{Rõhk} = \textit{sügavus} \times \textit{erikaal}.$$

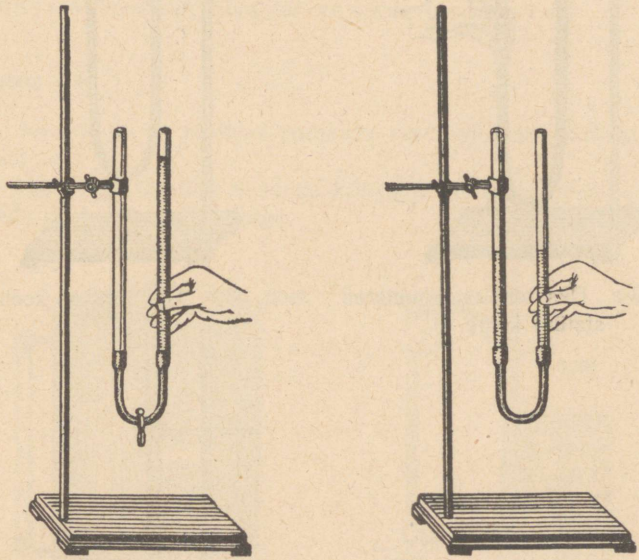
Harjutus 15.

1. Anumasse valati 15 sentimeetri kõrgune veekiht. Kui suur on selle veekihi rõhk anuma põhjale?
2. Millise rõhu all purskub veejuga anuma külgmisest alumisest avast (joon. 46), kui see on 40 cm sügavuses?
3. 10 sentimeetri kõrgune klaas on valatud ääreni täis elavhõbedat. Arvutada rõhk põhjale.
4. Arvutada 76 sentimeetri kõrguse elavhõbedasamba rõhk.

35. Ühendatud anumad. Võtame kaks klaastoru ning ühendame nad omavahel kummitoruga (joon. 52-a). Pigistame kinni kummitoru ja valame parempoolsesse torusse vett.

Kui näpits avada, siis voolab vesi parempoolsest torust vasakusse torusse ja tõuseb selles seni, kui vedeliku pinnad mõlemas klaasis on ühel tasemel (joon. 52-b).

Kinnitame ühe toru statiivi külge. Tõstes, langetades või kallutades külgedele teist toru, näeme, et vedelikkude pinnad mõlemas torus jäävad kogu aja ühele tasemele (joon. 53-a).



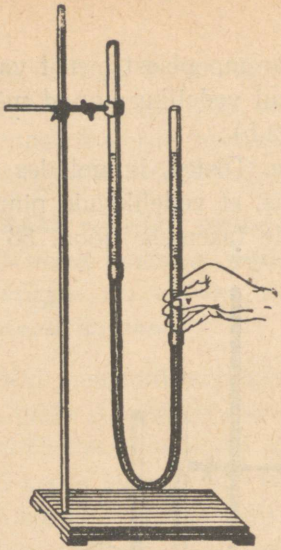
Joon. 52 a, b. Kaks klaastoru on ühendatud kummitoruga.

Veepinnad jäävad ühele tasemele ka sel juhul, kui üks toru või mõlemad on ükskõik kuidas kõverdatud (joon. 53-b).

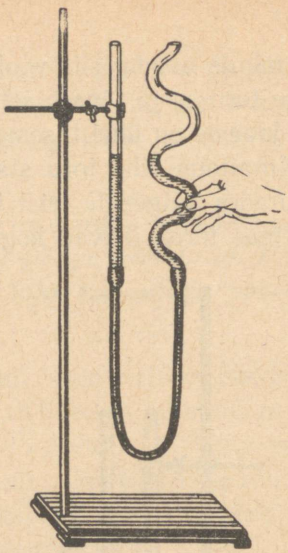
Anumaid, mis on omavahel ühendatud, nimetatakse ühendatud anumaiks.

Ühesugune vedelik jääb püsima ühendatud anumais ühele tasemele.

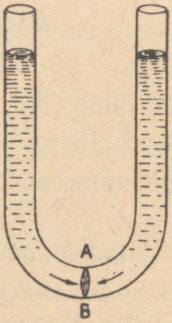
Seda katselist fakti oleks võinud ette näha, teades, et tasakaalustatud olekus on vedeliku rõhk pinnale *AB* (joon. 54-a)



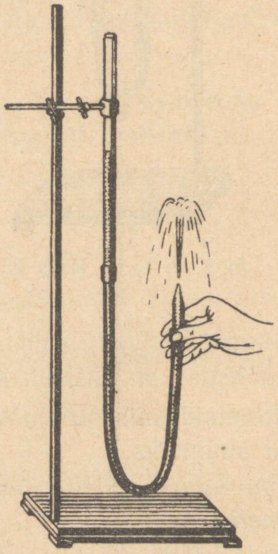
Joon. 53-a. Üks toru on kinnitatud statiivi külge.



Joon. 53-b. Üks toru on koolutatud.



Joon. 54-a. Rõhumine pinnale *AB* vasakult ja paremalt on ühesugune.



Joon. 54-b. Toru otsast purskub juga.

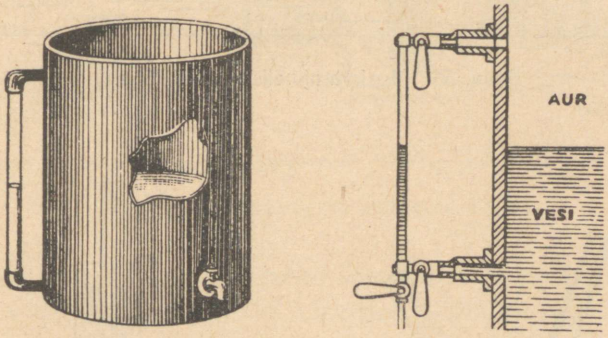
nii vasakult kui paremalt ühesugune. Ühesuguse vedeliku puhul on see nii, siis kui vedeliku sammaste kõrgused ühendatud anumate kummaski harus on ühesugused.

Asendame ühendatud anumate ühe toru lühikese, venitatud otsaga torujupiga ja tõstame pikema toru sellest torujupist kõrgemale. Torujupist purskub juga (joon. 54-b), püüdes saavutada veetaseme kõrgust vasakus torus.

Harjutus 16.

1. Joonisel 55 on näidatud aurukatla veemõõduklaas. Seletage tema töötamist.

2. Kui veega täidetud teekannu kallutada, voolab ta tilast vett. Seletage seda nähtust kahe joonisega.

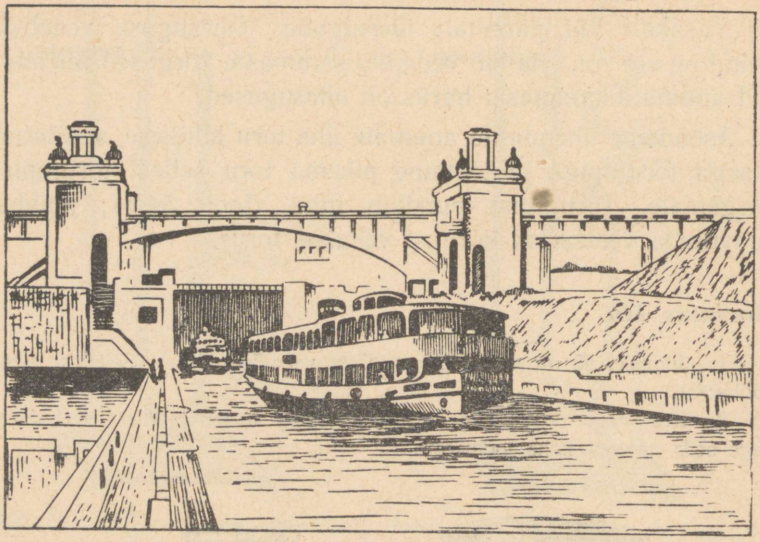


Joon. 55. Aurukatla veemõõduklaas.

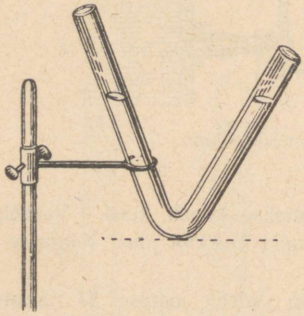
3. Joonisel 56 kujutatakse Moskva-nimelise kanali lüüsi. Vaadelge hoolikalt lüüsi ehitust ja seletage laeva liikumist Moskva jõest Volgasse ja tagasi.

4. Kuidas arvutada rõhku, mida tekitab vedelik joonisel 57 näidatud ühendatud anumate kummaski harus punktjoonega tähistatud põhjale?

5. Mensuuri põhja on valatud elavhõbeda kiht ja sellesse kihisse on asetatud lahtise klaastoru ots. Kui valada mensuuri elavhõbeda peale vett (joon. 58) kuni 27,2 sentimeetri kõrguseni, siis millise kõrguseni tõuseb elavhõbe klaastorus?



Joon. 56. Moskva-nimelise kanali lüüs.

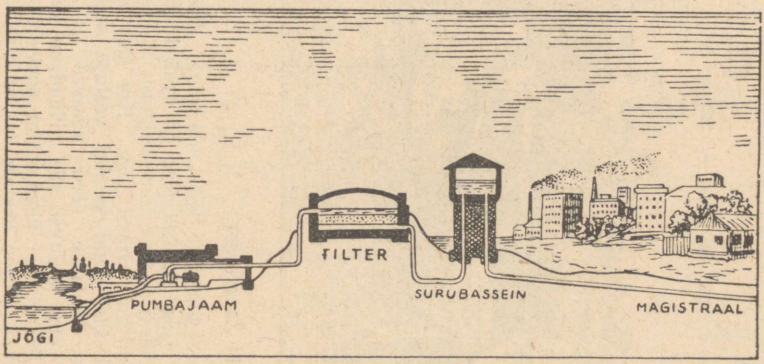


Joon. 57. Koolutatud klaastoru.



Joon. 58. Anumas on elavhõbe ja vesi, klaastoru on pandud elavhõbedasse.

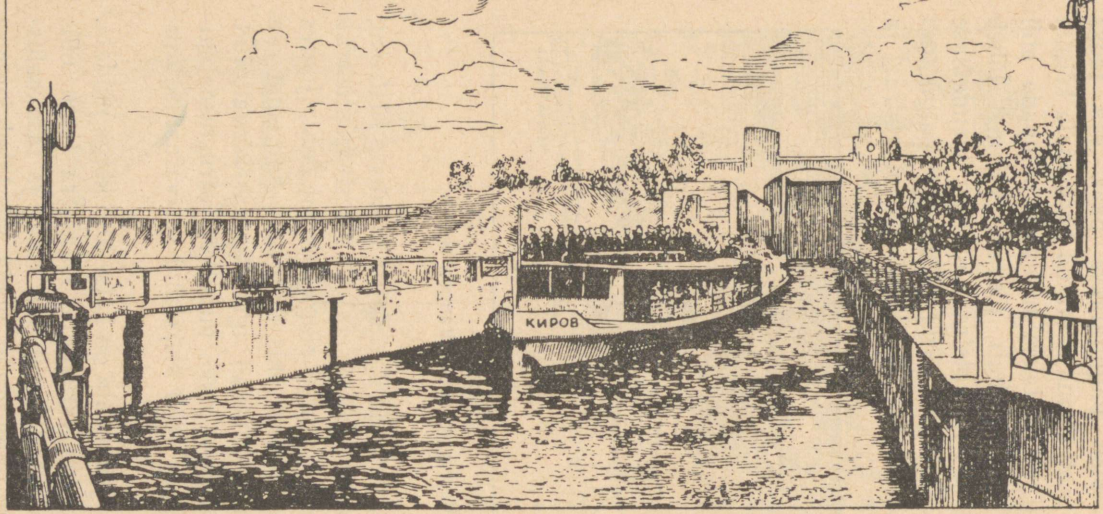
36. Veevärgi ehitus. Linna kõrgemale kohale ehitatakse kõrge veetorn, mille otsa paigutatakse paak vee jaoks (joon. 59). See paak peab olema asetatud kõrgemale kõigist linna majadest. Paaki pumbatakse tugevate pumpade abil hoolikalt filtreeritud (puhastatud) jõevett. Paagist läheb linna mööda laiali peatoru — magistraal, millega ühendatakse üksikute majade vesivarustuse torud. Torud on paigutatud maasse, et vältida torude külmumist. Paak, magistraal ja



Joon. 59. Vesivarustuse ehitamise skeem.

majade üksikud torud kujutavad ühendatud anumate süsteemi, milles vesi püüab seista ühel kõrgusel. Linna vesivarustusvõrk ehitatakse enamasti niinimetatud ringsüsteemil, mille juures magistraaltoru kujutab rõngast, mis ümbritseb suuremat osa linnast. Sellest rõngast lähtuvad igas suunas kõrvaltorud. Sel kombel võib mõnesuguse rikke puhul vesivarustuses sulgeda iga lõiku, häirimata tööd ülejäänud vesivarustuse osades.

37. Gaaside kaal. Õhu kaalu on katse abil kerge näidata. Selleks võib võtta kraaniga varustatud klaaskera (joon. 60), pumbata sellest osa õhku välja, sulgeda kraan ja tasakaalustada kera kaaludel. Kui nüüd kraan avada, siis läheb kerasse



Lüüsid Zaporožjes.

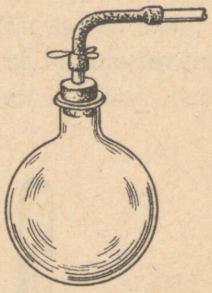
Lüüs kujutab enesest suurt kambrit, mis suletakse kahe väravaga. Kambri veetase võib seista mitmesugusel kõrgusel. Laeva tõusmisel jõge mööda üles on avatud jõesuudme poolne värav ja kambri veetase on palju madalam suletud väravatagusest veetasemest. Näiteks Zaporožje lüüsi kambris on sel juhul veetase üle 12 m madalam kui värava taga. Kui laev siseneb kambrisse, suletakse ka teised väravad ja kambrisse koguneb vesi, kuni kambri veetase saab võrdseks väljaviivate väravate taguse veetasemega. Pärast seda avatakse need väravad ja vastuvett sõitev laev väljub kambrist, sinna aga sisenevad laevad, mis laskuvad alla. Nüüd on kambri veetase palju kõrgem veetasemest suletud väravate taga. Pärast jõe ülemjooksu poolsete väravate sulgemist lastakse kambrist vesi aegamisi välja, kuni kambri ja jõe veetase saavad võrdseteks. Pärast seda sõidab laev jõkke.

Joonisel on näidatud Dneprit mööda pärivett sõitva laeva väljumine lüüsi kambrist.

välisõhku ja kera vajub alla. Tasakaalustamiseks tuleb asetada teisele kaalukausile väikesi vihte, millede kaal ongi võrdne kerasse läinud õhu kaaluga. Kui tehakse selline katse, siis selgub, et 1 l õhku kaalub harilikes tingimustes ligikaudu 1,3 G.

Samal viisil, täites klaaskera muude gaasidega, võime veenduda, et kõigil gaasidel on kaal. Mõnede gaaside, näiteks vesiniku ja valgustusgaasi, erikaal on õhu erikaalust väiksem. Teiste gaaside erikaal, näiteks süsihappegaasil, on õhu erikaalust suurem.

Tabelis on toodud mitmesuguste gaaside erikaal 0° temperatuuril ja normaalrõhu [1] puhul.



Joon. 60. Klaaskera kraaniga.

Gaaside erikaal G/cm³-tes:

Õhk	0,0013	Süsihappegaas	0,002
Hapnik	0,0014	Valgustusgaas	0,0006
		Vesinik	0,00009

38. Õhurõhumine. Maa on ümbritsetud õhukihiga. Meie elame selle kihi põhjas, õhuookeani põhjas. Õhul on kaal. Nagu vesi rõhub iga keha, mis on temas, nii rõhub ka õhk kõiki kehi.

Maad ümbritsevat õhukihti nimetatakse atmosfääriks. (Sõna «atmosfäär» koosneb kahest sõnast: «atmos» — õhk, ja «sfäär» — kera.) Õhurõhumist nimetatakse ka atmosfääriliseks rõhuks.

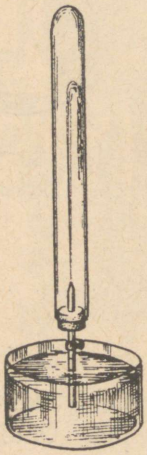
Õhurõhumise olemasolus võib veenduda katse abil.

Valame vett kitsasse ning pikka klaastorusse, sulgedes ühe otsa sõrmega. Toru võib ettevaatlikult keerata lahtise otsaga alla, ilma et vesi torust välja voolaks: vee hoiab torus õhu

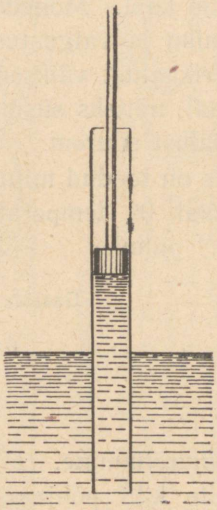
[1] Mida nimetatakse normaalrõhuks, seda selgitatakse §-s 43.

rõhumine alt. Kui avada ka toru ülemine ots, siis voolab vesi torust välja, sest sel juhul rõhub õhk veele ka ülalt: rõhk alt ei suuda tasakaalustada rõhku ülalt ja vee kaalu, seepärast vesi voolab välja.

Kui torust, mille üks ots on kinni joodetud, lahtine ots aga on varustatud kraaniga, pumbata välja õhk, paigutada toru



Joon. 61. Fontaan torus, millest on õhk välja pumbatud.



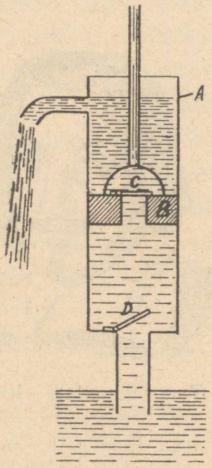
Joon. 62. Vesi järgneb kolvile.

lahtine ots vette ja avada kraan, siis purskub vesi joana toru sisemusse (joon. 61). Toru sisemuses ei ole õhurõhumist ja vesi läheb välisõhu survel torusse.

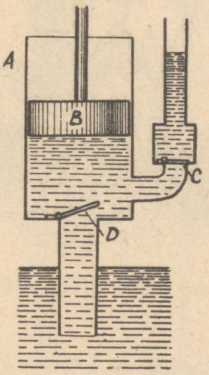
Laseme alumist otsa pidi vette laia klaastoru, millesse on pandud tihe kolb. Kui kolb üles tõsta, siis tõuseb ühes kolviga ka vesi (joon. 62).

Kolvi ja vee vahel kolvi tõstmisel õhku peaaegu ei ole. Vett sunnib tõusma kolvi järel välisõhu rõhk. See nähtus on ära kasutatud veepumpade ehitamisel.

39. Kuidas töötab veepump. Veepump, mis on kujutatud joonisel 63, koosneb torust *A*, mille sees liigub üles ja alla tihe kolb *B*. Toru alumisse ossa ja kolbi endasse on ehitatud ainult ülespoole avanevad uksekesed *C* ja *D*, mida nimetatakse klap-



Joon. 63. Imevpump.



Joon. 64. Surupump.

pideks. Kolvi liikumisel üles avab vesi, tõustes torus, alumise klapi ja tõuseb kolvi järel üles.

Kolvi allalaskmisel rõhub kannu all olev vesi alumisele klapile *D* ja suleb selle. Vesi ei saa minna alla, avab kolvis oleva klapi *C* ja läheb kolvi peal olevasse ruumi. Järgneval kolvi liikumisel üles tõuseb ühes kolviga selle peal olev vesi ja voolab äravoolutorusse. Samal ajal tõuseb kolvi all uus veeannus, mis kolvi allalaskmisel paigutub kolvi peale.

Sellist pumpa nimetatakse i m e v p u m b a k s.

Pumpa, mis on kujutatud joonisel 64, nimetatakse s u r u - p u m b a k s. Selles pumbas on umbne kolb *B*; esimene klapp *D* on toru alumises osas, teine klapp *C*, mis eraldab ülestõstetud vee, on asetatud torusse; toru juhib vee pumbast välja.

40. Õhurõhu suurus. Pumba ehitust tunti juba kauges minevikus. Selleaegsed teadlased seletasid vee liikumist pumbas asjaoluga, et «loodus kardab tühjust». Kuni pumpasid



Galileo Galilei (1564—1642).



Torricelli (1608—1647).

ehitati väikese kõrgusega, ei seganud veetõusmise põhjuse ebaõige seletus kedagi.

1640. aastal ehitati Firenzes — Itaalia rikkas kaubanduslinnas — sügavast kaevust vee väljapumpamiseks pump. Kui pump oli valmis ja kui sellega katsuti vett tõsta, siis tõusis vesi kannu järel ainult ligikaudu 10 m kõrgusele. Kuidas insenerid ka pumba konstruktsiooni parandasid, vesi ei tõusnud kõrgemale — pump ei andnud vett.

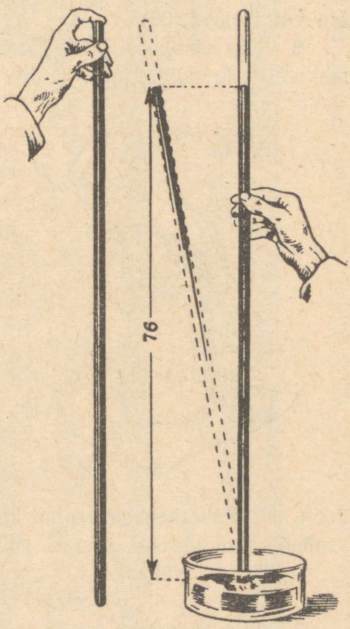
Oli vaja selgitada selle nähtuse põhjus ja insenerid pöördusid teadlaste poole abi saamiseks.

Itaalia õpetlase Galilei õpilane Torricelli, kes seda nähtust uuris, avaldas oletuse, et vee tõusmise põhjuseks kannu järel

on mitte «looduse poolt tühjuse kartmine», vaid õhurõhk, millel on kindel suurus. Ja kui vesi tõuseb pumbas õhurõhu mõjul kuni 10 m, siis õli, mis on veest kergem, tõuseks kõrgemale, elavhõbe aga, mille erikaal on 13,6 G/cm³, tõuseks mitte 10 m kõrguseni, vaid 13,6 korda väiksemale kõrgusele.

See Torricelli oletus tõestati 1642. a. katsega, mida võib teha ka klassis.

Selleks on tarvis võtta 1 meetri pikkune klaastoru, mille üks ots on kinni joodetud. Toru tuleb täita elavhõbedaga, sulgeda sõrmega toru lahtine ots ja asetada see kausikesse, milles on elavhõbe (joon. 65). Sõrme äravõtmisel lahtiselt otsalt elavhõbe langeb, kuid mitte kõik ei voola välja. Torusse jääva elavhõbedasamba kõrgus on ligi 76 cm.



Joon. 65. Torricelli katse.

Nagu õhurõhk sunnib pumbas vett tõusma kannu järel, täpselt samuti hoiab välisõhu rõhk ülal elavhõbedasammast Torricelli torus, sest torus ei ole elavhõbeda peal õhku.

Kui hiljem teadlane Guericke tegi kõrge ülalt kinnijoodetud klaastoru, mis oli täidetud veega, siis oli selles torus õhurõhu poolt ülalhoitud veesamba kõrgus 10,34 m.

Nii tõestati esmakordselt õhurõhu olemasolu ja mõõdeti selle rõhu suurus.

76 cm kõrguse elavhõbedasamba rõhk võrdub:

$13{,}6\ \text{G/cm}^3 \times 76\ \text{cm} = 1033{,}6\ \text{G/cm}^2$, ehk $1{,}0336\ \text{kG/cm}^2$.

Kuna õhurõhk tasakaalustab umbes 76 cm kõrguse elavhõbedasamba, siis võrdub ka õhurõhk 1,0336 kG/cm².

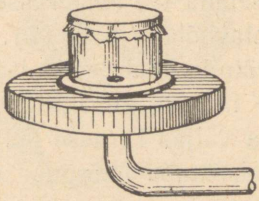
Harjutus 17.

1. Valage klaas vett täis, katke ta paberilehega ja hoides lehte käega, pöörake klaas põhjaga üles. Mispärast ei voola vesi välja, kui käsi lehelt ära võtta (joon. 66)?

2. Kas elavhõbe jääb Torricelli torusse, kui kinnijoodetud toru asemel võtta kraaniga toru, ja kui elavhõbeda püsima jäädes avada kraan?



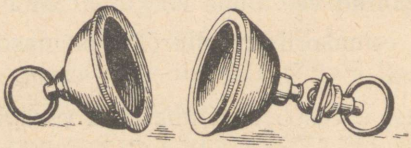
Joon. 66. Paberilehega kaetud kummulipööratud klaasist vesi ei jookse välja.



Joon. 67. Kummikelmega kaetud purgist pumbatakse õhk välja.

3. 1 m pikkusest torust, mille üks ots on kinni joodetud, teises otsas aga on kraan, pumbati õhk välja. Kraaniga toruots asetati püsti asendis elavhõbedasse ja kraan avati. Kas täidab elavhõbe toru kogu pikkuses?

4. Mis juhtub kummikelmega, millega on kaetud klaaspurgi ava, kui purgist pumbata õhk välja (joon. 67)?



Joon. 68-a. Magdeburgi poolkerad.



Joon. 68-b. Vanaaegne gravüür, millel kujutatakse katset magdeburgi poolkeradega.

5. Arvutada, kui suure jõuga rõhub õhk kelmele, mis katab purgi ava, kui ava pindala on 100 cm^2.

6. Mis juhtub elavhõbedasambaga, kui kallutada Torricelli toru (joon. 65)?

7. 1654. aastal pumpas teadlane Otto Guericke õhu välja kahest kokkupandud vaskpoolkerast. Õhurõhk surus nii tugevasti poolkerad teineteise ligi, et neid ei suutnud lahti tõmmata 8 paari hobuseid (joon. 68-a ja 68-b). Arvutada õhurõhk poolkeradele, kui pindala, millele rõhus õhk, oli 1400 cm^2.

41. Baromeeter. Kui Torricelli riista juurde valmistada vertikaalne skaala, mille järgi võib mõõta elavhõbedasamba kõrgust, siis saame sellega mõõta õhurõhku.

Sellel põhimõttel on ehitatud eriline riist, mida nimetatakse b a r o m e e t r i k s (kreekakeelsest sõnast *baros*, mis tähendab r a s k e). Selline riist on kujutatud joonisel 69.

Torricelli toru on lahtise otsaga asetatud elavhõbedaanumasse ja on ühes anumaga kinnitatud lauakese külge. Seesugust baromeetrit nimetatakse a n u m b a r o m e e t r i k s. Vaadeldes baromeetrit järjest mitu päeva, märkame, et õhurõhk pole kogu aeg muutumatu. Elavhõbedasammas on kord kõrgemal (rõhk suureneb), kord madalamal (rõhk langeb). Need kõikumised mingi keskmise suuruse ümber ulatuvad mitme sentimeetrini.

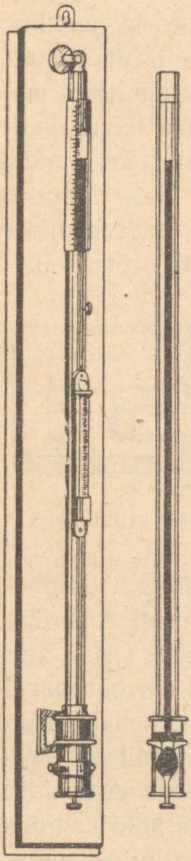
Mõnikord valmistatakse elavhõbebaromeeter ainult ühest klaastorust ilma anumata — s i f o o n b a r o m e e t e r (joon. 70).

Sifoonbaromeetri klaastoru koosneb kahest harust: pikk haru on ülalt kinni joodetud ja on suuremalt osalt täidetud elavhõbedaga. Elavhõbeda peal on torus õhutühi ruum. Lühike haru on avatud ja lõpeb laiendiga, kuhu valgub elavhõbe õhurõhu vähenedes. Elavhõbeda rõhk pikas harus tasakaalustatakse õhurõhuga elavhõbeda pinnale lühikeses harus.

Samba kõrgust baromeetris mõõdetakse anumas või lahtises harus oleva elavhõbeda tasemest kuni elavhõbedasamba tasemeni torus.

Harjutus 18.

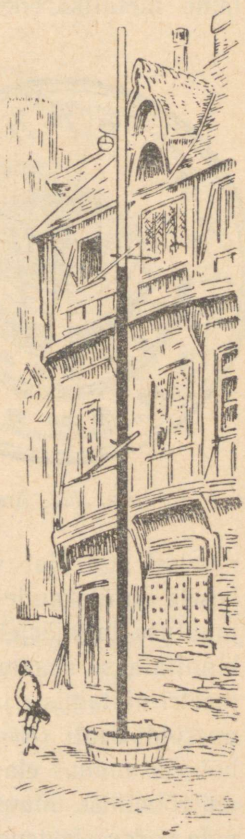
Joonisel on näidatud 1646. a. Pascali poolt Rouen'is ehitatud vesibaromeeter. Oletame, et veetase baromeetri torus on 10,2 m kõrgusel. Kui palju näitab samal ajal elavhõbebaromeeter?



Joon. 69. Anumbaromeeter.



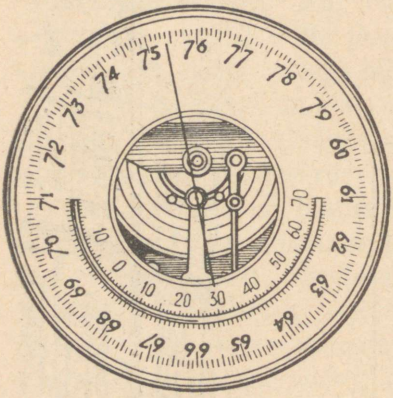
Joon. 70. Sifoonbaromeeter.



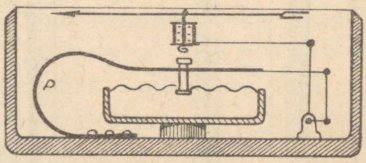
Joon. 71. Pascali vesibaromeeter.

42. Aneroidbaromeeter. Elavhõbebaromeetrid näitavad täpselt, kuid nõuavad tarvitamisel suurt ettevaatust: nad võivad kergesti puruneda, torusse võib sattuda õhk. Märksa sobivamad, eriti transportimisel, on aneroidbaromeetrid[1] (joon. 72).

Metallbaromeetrite peamiseks osaks on lainelise kaanega lame metallkarbike (joon. 73). Sellest karbikesest pumbatakse õhk välja, ja et atmosfääri rõhk ei suruks karpi puruks, on lainelise kaane keskele tehtud sambake, mida vedru *P* kisub üles. Niiviisi paindub rõhu suurenemisel karbikaaneke alla, rõhu vähe-



Joon. 72. Aneroid.



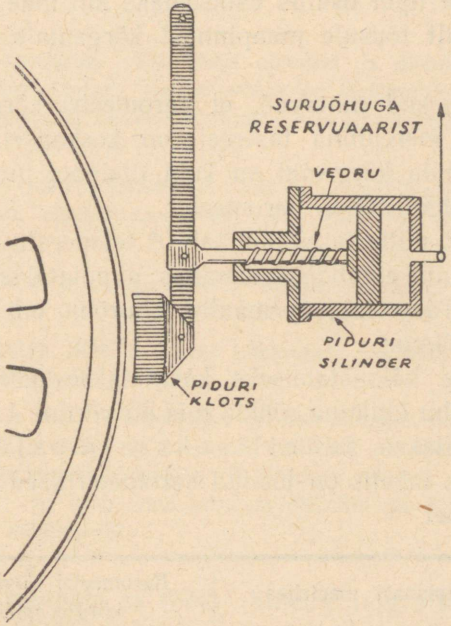
Joon. 73. Aneroidi ehitusskeem.

nemisel aga ajab vedru kaanekese uuesti sirgemaks. Sambakesele on ülekande-mehhanismi abil kinnitatud osuti, mis rõhu muutuse tagajärjel liigub vasakule või paremale. Osuti alla kinnitatakse skaala, millele märgitakse jaotised elavhõbebaromeetri näitamiste järgi. Nii näiteks arv 754, mille kohal seisab aneroidi osuti (joon. 72), näitab, et antud momendil on elavhõbedasammas elavhõbebaromeetris 754 mm kõrge. Aneroidid on rõhumise muutumise suhtes väga tundlikud, kuid kahjuks pole vedru elastsus püsiv, mistõttu aneroidi algul õiged näitamised võivad aja jooksul osutuda ebaõigeiks. Võimalike vigade

[1] Aneroid tähendab eestikeelses tõlkes vedelikuta.

vältimiseks aneroidi kasutamisel tuleb teda aeg-ajalt võrrelda elavhõbebaromeetriga ja märgates näitamistes vigu, teha vajalikud parandused.

Eriti suur tähtsus on õhurõhul ilma ennustamisel lähemateks päevadeks, sest õhurõhk on seotud ilmamuutusega.



Pidur koosneb silindrist, millesse on paigutatud kolb. Kokkusurutud õhk satub erireservuaarist silindrisse ja rõhub kolvile, mille tagajärjel vedru rõhub piduriklotsile, viimane aga rattale.

Seepärast on baromeeter tarvilikuks riistaks meteoroloogilistel [1] vaatlustel.

43. Õhurõhumine mitmesugustel kõrgustel. Kuna õhurõhumise põhjuseks on õhu kaal, siis võib arvata, et mäe otsa

[1] Meteoroloogia on teadus nähtustest, mis toimuvad maakera atmosfääris.

tõusmisel peab ülal olevate kihtide kaalu vähenemise tõttu vähenema ka õhu rõhk.

Selle oletuse kontrollimiseks tegi Pascal 1648. a. oma sõpradele ülesandeks teostada Torricelli katse üheaegselt mäe tipul ja mäe jalal. Katse kinnitas Pascali oletust.

Rõhk mäe tipul osutus väiksemaks kui mäe jalal. Järelikult, vastavalt tõusule maapinnast kõrgemale väheneb õhurõhumine.

Tähelepanekud näitavad, et baromeetri kõrgus kohtades, mis asuvad merepinna tasemel, on keskmiselt 76 cm ehk 760 mm. Mida kõrgemal on koht ülalpool merepinda, seda väiksemat rõhku näitab baromeeter.

Õhurõhku, mille tasakaalustab 0° temperatuuril 76 cm ehk 760 mm kõrgune elavhõbedasammas, nimetatakse *normaalrõhuks*. Tähendab, normaalne õhurõhk on 1033,6 G/cm² ehk 1,0336 kG/cm².

Arvestuste hõlbustamiseks kasutatakse tehnikas rõhkude mõõtmisel rõhu ühikuna rõhku, mis on võrdne 1 kG/cm²; seda rõhku nimetatakse *tehniliseks atmosfääriks*.

Järgnevas tabelis on toodud baromeetrilised rõhud mõningatel kõrgustel.

Kõrgus merepinnast meetrites	Baromeetri elavhõbeda samba kõrgus millimeetrites
0	760
280	740
400	722
600	704
1000	678
2000	590
3000	525
10 000	250

Teades, kuidas alaneb rõhk olenevalt koha kõrgusest, võib baromeetri näitamise järgi kindlaks määrata koha kõrguse

merepinnast. Väga tundlikke metallbaromeetreid, mis omavad skaalat, millelt võib vahetult lugeda koha kõrgust, nimetatakse altimeetriteks (kõrgusmõõtjaiks) ja neid kasutatakse lennuasjanduses ning mägedele tõusmisel.

Harjutus 19.

1. Mõõtke aneroidiga rõhk maja alumisel ja ülemisel korrusel ja määrake ligikaudselt, mitme meetri võrra on ülemine korrus alumisest kõrgem, kui arvestada, et väikeste tõusude juures alaneb rõhk iga 12 meetri kohta keskmiselt 1 mm võrra.

2. Mäe jalal näitab baromeeter 760 mm elavhõbedasammast, mäe tipul aga 722 mm elavhõbedasammast. Kui suur on ligikaudselt mäe kõrgus?

3. Lendur tõusis 2 km kõrgusele. Mitme millimeetri võrra muutus seejuures õhurõhk?

4. 30. septembril 1933. a. tõusid nõukogude vaatlejad stratostaadiga «CCCP» 19 km kõrgusele.

Selles kõrguses märkis baromeeter 55 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhu. Stratostaadi gondel, kus asetsesid vaatlejad, oli tehtud alumiiniumi erisulamist (koltšugalumiiniumist) ja oli tihedasti suletud. Rõhk gondlis oli kogu aja 1 at. Arvutage, kui palju on õhurõhk gondli seintele seestpoolt suurem kui väljastpoolt.

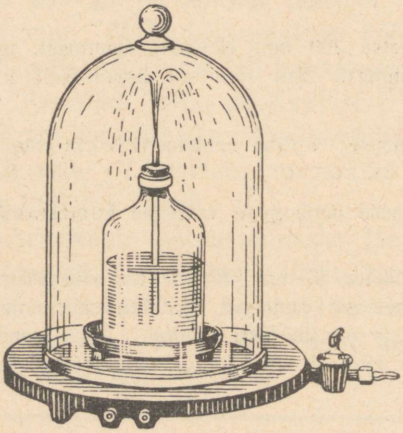
44. Gaasi ruumala ja rõhk. Suleme jalgrattapumba ava sõrmega ja vajutades kolvile surume kokku gaasi — vähendame ta ruumala. Me tunneme, kuidas pumbasse suletud õhk rõhub sõrmele. Niipea kui vajutamise kolvile lõpetame, tõstab kokkusurutud õhk oma rõhumisega kolvi üles ja võtab enesele endise ruumala. Jalgpalli õhukummi võib pumbata väga palju õhku. Õhu rõhumise tõttu tõmbuvad palli seinad kergelt pingule. Tarvitseb vaid palli õhukumm avada või teha sellesse auk, kui õhk hakkab sellest välja tulema. Need nähtused näitavad, et ruumala, mille gaas enda alla võtab, oleneb rõhust, mille all ta on, ja rõhk, mida gaasid avaldavad anuma seintele, sõltub gaasi ruumalast. Vähendades gaasi

ruumala, me suurendame tema poolt tekitatavat rõhku, aga suurendades gaasi ruumala, vähendame gaasi rõhku.

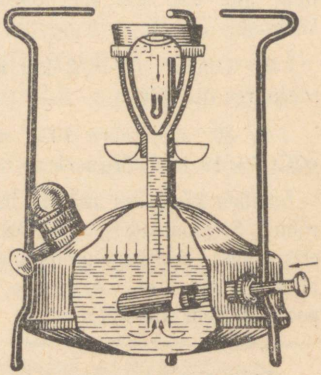
Harjutus 20.

1. Õhupumba kupli alla on asetatud pudel veega, pudeli korgist on pandud läbi toruke. Miks õhu väljapumpamisel purskab torust veejuga (joon. 74)?

2. Pumba kupli alla paigutatakse kinnikorgitud pudel. Miks kupli alt õhu väljapumpamisel kork lendab pudelilt ära?



Joon. 74. Veepudel õhupumba kupli all.

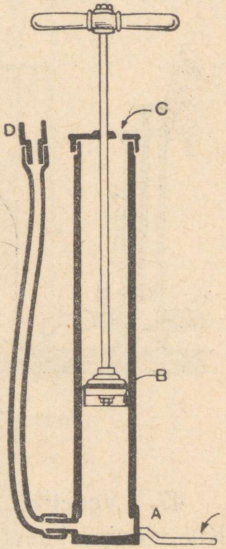


Joon. 75. Priimuse surupump.

45. Õhutihenduspump. Õhu pumpamiseks, või nagu öeldakse, õhu surumiseks tarvitatakse erilisi pumpasid. Selliseid pumpasid kasutatakse näiteks õhu pumpamiseks priimusesse ja jalgrattakummidesse.

Priimuse õhutihenduspump (joon. 75) koosneb metalltorust; selle alumisse otsa, mis asetseb priimuse reservuaaris, on paigutatud klapp; klapp avaneb reservuaari. Pumba kolb on varustatud nahkkübarakesega. Kui kolb surub pumbas

õhule, siis kübarake hoidub õhusurve tõttu tihedasti vastu pumbaseinu ja surudes õhku ajab selle klapi juurde. Kokkusurutud õhk avab klapi ja läheb pumbast reservuaari. Kui kolb tõmmatakse tagasi, siis surub välisõhk kübarakese kokku ja tungib pumbasse.



Joon. 76. Autopump. *A* — alus pumba hoidmiseks töötamisel. *B* — kolb nahkkübarakesega. *C* — õhuava. *D* — metallkruvi pumba ühendamiseks jalgratta õhukummiga.

Samasugune on ka auto- ja jalgrattapumba ehitus, ainult selle vahega, et klapp, mis suleb jalgrattakummisse surutava õhu, ei asu mitte pumbas endas, vaid rattakummis (joon. 76).

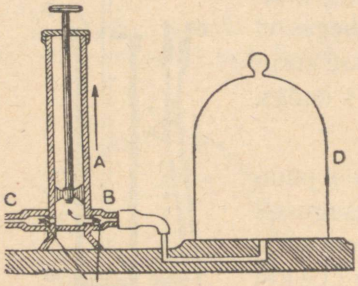
Keerukama ehitusega võimsaid pumpasid, mida kasutatakse mitmesugustel juhtudel tugeva suruõhu saamiseks, nimetatakse k o m p r e s s o r i t e k s. Kompressori kolb pannakse liikuma aurumasina või mõne muu jõumasinaga.

46. Õhuhõrenduspump. Joonisel 77 ja 78 on kujutatud lihtsaim koolipump, kusjuures joonise alumine osa, kus asuvad klapid, on kujutatud skemaatiliselt, et oleks võimalik selgesti aru saada nende tegevusest.

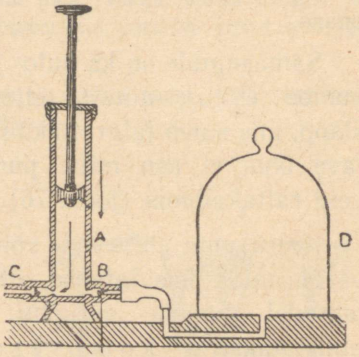
Silindris *A* liigub tihedasti kolb (joon. 77). Silindri all on kaks klappidega otsikut, kusjuures ühe otsiku *B* klapp avaneb silindri sisemusse, teise otsiku *C* klapp avaneb väljapoole. Olgu otsik *B* ühendatud mingi reservuaariga *D*. Tõmmates kolbi välja, hõrendatakse õhku pumbasilindris, mistõttu õhk reservuaaris, omades suuremat rõhku kui silindris, avab klapi *B* ja läheb osaliselt silindrisse. Lükates kolbi alla, surutakse silindris olev õhk kokku, mis klapi *C* avamisel (joon. 78) läheb

välja. Klapp *B* sulgub seejuures. Nii kordub see kolvi iga käigu juures, mille tagajärjel õhk reservuaaris hõreneb.

Tööstustes kasutatakse hoopis täiuslikuma konstruktsiooniga pumpasid, mis annavad väga suure hõrenduse (vaakum).



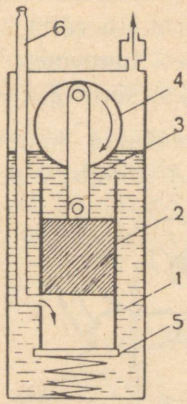
Joon. 77.

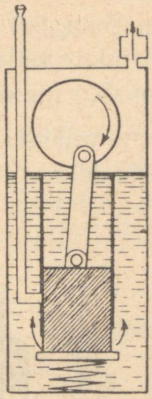


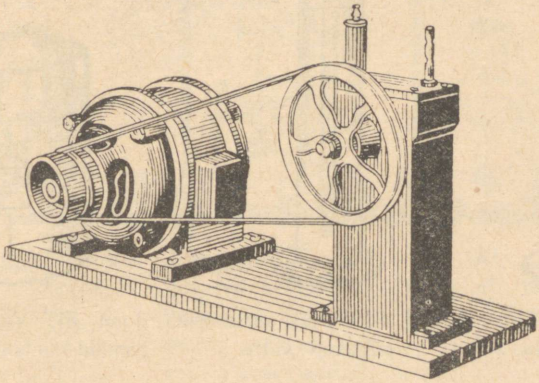
Joon. 78.

47. Vedeliku ja gaasi rõhumine neisse asetatud kehadele. Kui võtame kaevust pangega vett, siis kuni pang on vees, on teda kerge tõmmata. Niipea kui pang veest välja tõuseb, muutub ta tõmbamine tunduvalt raskemaks. Supeldes paneme tähele, et vees võib hoida inimest kergesti ühe käega. Vähe sellest, me võime vees tõsta üsna suuri raskusi, mis kaldal osutuksid üle jõu käivaiks. Võime näiteks vees edasi lükata määratu suuri puutüvesid, mida me ei suudaks nihutada kohalt, kui nad oleksid tõmmatud kaldale. Kõik need tähelepanekud annavad põhjust arvamiseks, et vedelikud tõukavad välja neisse asetatud kehi, mis teeb kehi meile nagu kergemaks. Näib ju ka veega täidetud pang kergem, kui keegi aitab meil seda kanda.

Et selgitada vaadeldavaid nähtusi, teeme järgmise katse. Valmistame puupulgast ja traadist ujuki, mis võiks vees vertikaalselt seista. Asetame selle ujuki vett sisaldavasse





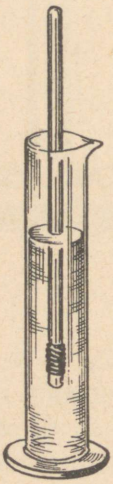


Komovski pump.

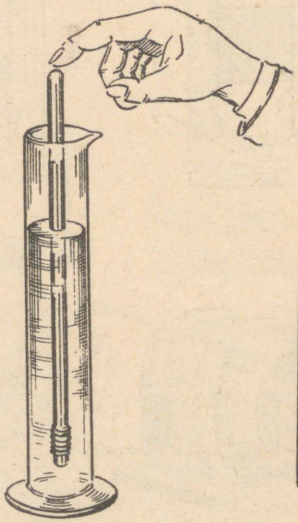
All on näidatud elektrimootoriga käimapandava pumba väliskuju, ülal on antud pumba läbilõige momendil, millal kolb 2 on ülemises (vasakpoolne joonis) ja alumises (parempoolne joonis) asendis. Metallanumas, milles on õli, asetseb silinder 1; selles liigub üles ja alla pikk kolb 2 kepsu 3 abil, mis on ühendatud vändaga 4. Vänt pannakse liikuma alumisel joonisel näidatud ratta abil. Ratas pöörleb elektrimootori või käte jõul. Vastu silindri alumist ava surub vedru põhja 5. Kolvi ülemises asendis avaneb silindri ava, mis on ühenduses toruga 6. Toru 6 ülemine ots ühendatakse anumaga, millest soovitakse õhku välja pumbata. Liikumisel alla suleb kolb külgmise ava, ning nihutades eemale põhja 5, surub õlisse kolvi all oleva õhu.

mensuuri (joon. 79). Kui ujuki ülemisele otsale surudes see vette vajutada (joon. 80) ning sõrm ära võtta, siis tõuseb ujuk veepinnale. Ujukit vette surudes tunneme, et vesi surub vastu, mis tõukabki ujuki välja, kui sõrm ära võetakse.

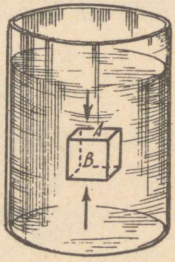
Oletame, et vedelikku on asetatud kuubikujuline keha (joon. 81). Kuubikese tahule *A* rõhub vedelik ülalt alla,



Joon. 79. Ujuk ujub vees.



Joon. 80. Ujuk surutakse sügavalt vette.



Joon. 81. Vedelikusse on pandud kuubikujuline keha.

tahule *B* aga alt üles. Tahk *B* on vedelikus sügavamal kui tahk *A*. Seepärast rõhub vedelik kuubikest ja iga muud vedelikusse asetatud keha alt üles suurema jõuga kui ülalt alla. Vedelik tõukab üles temasse asetatud keha.

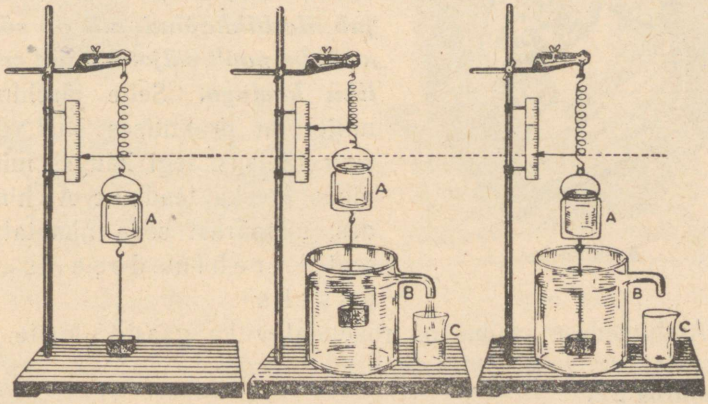
Käest lahtilastud laste õhupall tõuseb üles õhku. Õhk tõukab teda üles samuti, nagu vesi tõukab üles korgi, mis on asetatud vette. Samal põhjusel tõuseb õhku aerostaat. Järelikult ka gaas tõukab üles temasse asetatud keha.

Harjutus 21.

Oletame, et §-s 47 nimetatud kuubi serv võrdub 2 cm ja ülemine tahk on 5 cm kaugusel veepinnast. Arvutage, kui palju on vee rõhk alumisele tahule suurem kui ülemisele tahule.

48. Archimedese seadus. Teeme kindlaks selle jõu suuruse, millega vedelik lükkab üles temasse asetatud keha.

Sel eesmärgil kinnitame statiivile vedru, mille alumise otsa külge on seotud silmus väikese klaasi *A* jaoks (joon. 82-a)



Joon. 82-a. Vedru külge on riputatud kivi ja klaas *A*.

Joon. 82-b. Kivi lastakse veega täidetud ülevoolu-anumasse. Torust *B* voolab vesi klaasi *C*.

Joon. 82-c. Väljavoolanud vesi on valatud klaasist *C* klaasi *A*.

ja allpool klaasi on niidi külge seotud kivi. Märgime ära mingi näitaja abil, millise pikkuseni venib vedru. Asetame kivi alla veega purgi (ülevoolu-anuma), mis on täidetud kuni torukese *B*-ni, et kivi võiks üleni vajuda vette. Vedru muutus lühemaks: see kinnitab veelkordselt, et vesi lükkab üles temasse asetatud keha, osa vett aga voolab purgist klaasi *C* (joon. 82-b). Valame vee klaasist *C* klaasi *A*. Sedamööda, kuidas täitub klaas *A*, venib vedru ikka rohkem ja rohkem; kui

klaasist *C* kõik vesi on välja valatud, venib vedru varemalt märgitud pikkuseni (joon. 82-c). Et tasakaalustada vee üleslükkejõudu, tuleb klaasi valada nii palju vett, kui palju kivi varem tõrjus välja. Samasugune tulemus saadakse, kui selles katses vee asemel võtta mingi muu vedelik. Siit võib teha järelduse, et ***vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.*** Selle järelduse, millel on praktilises elus väga suur tähtsus, tegi kauges minevikus kreeka teadlane Archimedes, mispärast seda nimetatakse sageli Archimedese seaduseks[1].



Archimedes.

Archimedese seadus on rakendatav ka gaaside kohta.

Harjutus 22.

1. Rõhu vahe kuubi alumisele ja ülemisele tahule, millest kõneldakse harjutuses § 47-nda lõpus, võrdub üleslükkejõuga. Kinnitage Archimedese seaduse õigsust, arvestades välja kuubi poolt väljatõrjutud vee kaalu ning võrreldes seda üleslükkejõuga.

2. Kaalukangi külge seoti ühelt poolt seatinatükk, teiselt poolt aga samakaaluline alumiiniumitükk. Kas kaalud jäävad tasakaalu, kui nii tina kui ka klaas lasta tervenisti vette? Petrooleumi?

3. Kaaludel on tasakaalustatud pudel, milles on suruõhk. Pudeli korgis on klaastoru, mille välise otsa külge on seotud kummipalli kest (joon. 83). Kui õhk pudelist läheb osalt kestasse ja puhub selle suureks (joon. 84), siis kaob tasakaal. Mispärast?

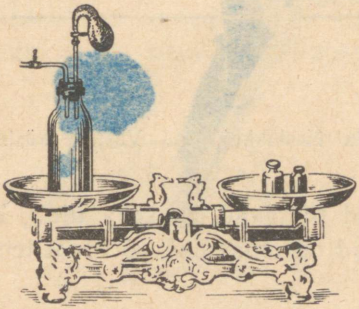
4. Kui suure jõuga tõrjutakse veest välja marmoritükk, mille ruumala on 20 cm^3?

[1] Archimedes elas 2000 aastat tagasi.

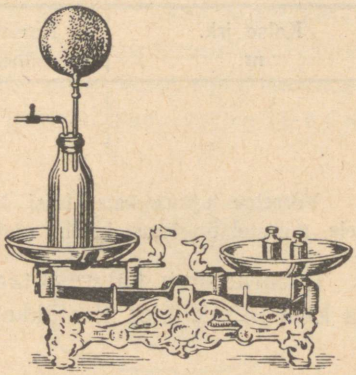
5. 10 cm^3 mahuga klaaskork on pandud petrooleumi. Tehke kindlaks, millise jõuga tõrjutakse teda petrooleumist välja.

6. Vesi lükkab kera üles 50-grammise jõuga. Määrake kera ruumala.

7. 5,5 dm^3 ruumalaga kivi kaalub 15 kG. Kui suurt jõudu on vaja, et hoida käes kivi, kui ta on tervenisti vees?



Joon. 83.



Joon. 84.

49. Kehade ujumine. Vette asetatud keha on kahe jõu mõju all:

1) vertikaalselt alla mõjub temal raskusjõud,

2) vertikaalselt üles lükkab teda vesi jõuga, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vee kaaluga.

Selgitame katsega, millistel tingimustel ujub keha.

50. Laboratoorne töö nr. 5. Kehade ujumistingimuste selgitamine.

T ö ö v a h e n d i d: kaalud, väikesed vihid, katseklaas, kuiv liiv, mensuur veega.

Tööjuhend.

1. Puistake katseklaasi kõige väiksem hulk liiva, mille juures katseklaas ujub vertikaalasendis. Pärast kaaluge katseklaas ühes liivaga. Kui kaal ei võrdu täisgrammide arvuga, siis lisage liiva juurde (täisgrammide arv on vajalik vaatluse hõlbustamiseks).

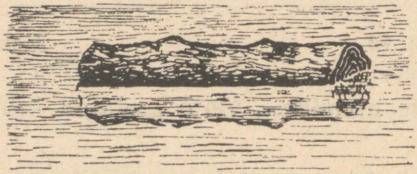
2. Määrake, kui palju vett kaalu järgi tõrjub välja ujuv katseklaas (teiste sõnadega, määrake üleslükkejõud).

3. Lisage katseklaasi mõni gramm liiva ja määrake jälle üleslükkejõud. Toimige nii 4—5 korda. Oma vaatluse tulemused märkige tabelisse.

Katse jrk. nr.	Katseklaasi kaal ühes liivaga	Üleslükkejõud

Võrrelge ujuva katseklaasi kaalu üleslükkejõuga. Vastake küsimusele, millistel tingimustel keha ujub.

Laboratoorse töö resultaadid näitavad, et keha ujub, kui ta kaal ja vedeliku üleslükkejõud on omavahel võrdsed, teiste



Joon. 85. Puupakk ujub vees.

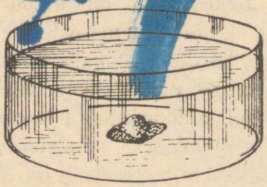
sõnadega, keha kaal on võrdne ujuva keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

Kui keha kaal on väljatõrjutud vedeliku kaalust suurem, siis vajub keha põhja.

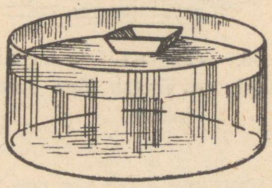
Keha, mis on valmistatud ainest väiksema erikaaluga kui vee erikaal, ujub alati vee peal, sest ta kaal on väiksem vee kaalust keha ruumala suuruses (joon. 85). Et ujuks keha, mis on valmistatud aineist, mille erikaal on suurem kui vee erikaal, on vaja kehale anda seesugune kuju ja mõõted, et

vee kaal tema ruumala suuruses oleks suurem keha enda kaalust. Väikeseks tombuks kokkukeeratud seatina leht (joon. 86) vajub vees põhja. Seatinast karbike, mis on valmistatud samast seatinalehest, võib ujuda vee peal (joon. 87).

Tähendab, laeva ehitamisel on vaja pöörata peamine tähelepanu laeva kaalule, suurusele ja kujule. Laev tuleb kalkuleerida nii, et ta kaal ühes masinate ja muu koormusega oleks võrdne vee kaaluga, mille tõrjub välja vees istuv laevaosa. Seda vees istuvat laevaosa nimetatakse *veealuseks*



Joon. 86. Seatinatükk vajub põhja.



Joon. 87. Seatinast karbike ujub.

osaks ja see eraldatakse *pealveeosast* värvilise vöödiga. Värvilist joont, harilikult punast, nimetatakse *koormuse- ehk süvisejooneks*, ja see märgib ära taseme, milleni võib laev täiskoormuse korral vette vajuda. Laeva vees asuva osa ruumala täiskoormuse puhul moodustab laeva veeväljasurve ja on laeva peamiseks iseloomustuseks. Kui öeldakse, et laeva veeväljasurve on 10 000 T, siis tähendab see, et ta kaal ühes koormusega on 10 000 T ja veealuse osa ruumala on 10 000 m^3.

Harjutus 23.

1. Mispärast ujub raske laev, aga vettekukkunud nael vajub põhja?
2. Laev sõidab jõest merre. Kuidas muutub selle üleminekuga laeva süvis (vees-istuvus)?

3. Püüst ujuk alloleva tinast raskusega lastakse algul vette, hiljem õlisse. Nii selles kui ka teises vedelikus ujuk ujub. Kummas vedelikus vajub ta sügavamale?

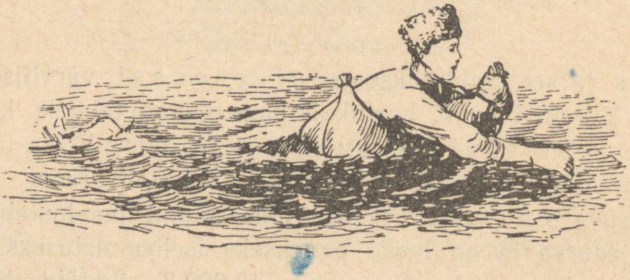


Joon. 88. Vana-assüüria kujutis inimesest, kes ületab jõge burdjukiga.

4. Elavhõbedaga anumasse visati raudmutter. Kas mutter vajub põhja või ujub elavhõbeda peal?

5. Korgist päästerõngas kaalub 12 kG. Kui suure koormuse suudab see rõngas vee peal hoida? (Korgi erikaal on 0,24 G/cm³.)

6. Joonisel 88 on antud vana-assüüria kujutis inimesest, kes ületab jõge burdjuki (loomanahast koti) abil. Joon. 89 näitab sama viisi, mida ka nüüdsel ajal mõnikord kasutatakse jõgede ületamiseks. Arvutada, kui suure koormuse hoiab vee peal selline burdjukk, kui ta ruumala on 80 dm³, kaal aga 0,8 kG.

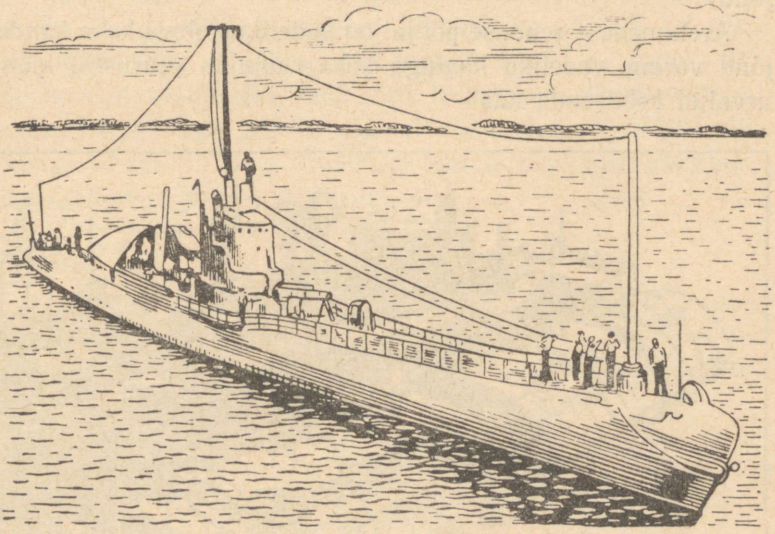


Joon. 89. Sama viis, mida mõningates kohtades kasutatakse ka nüüdsel ajal.

51. Allveelaev. Allveelaevaks nimetatakse sõjalaeva, mis võib sukelduda vee alla ja liikuda seal mistahes suunas.

Laeva alumises osas asetsevad pallastikambrid, mis on vajalikud laeva sukeldumiseks. Kuni pallastikambrid pole

täidetud veega, on laeva kaal veidi väiksem kui vee kaal kogu laeva ruumala suuruses ja ainult väike osa laeva korpusest on vee peal. Kui avada pallastikambrid, täituvad need veega ja laeva kaal saab peaaegu võrdseks veekaaluga kogu laeva



Joon. 90. Allveelaev.

ruumala ulatuses. Nüüd on kogu laev vajunud vee alla — veest paistavad ainult periskoobid [1].

Muutes horisontaalroolide kallakut, võib laeva panna liikuma kas kaldu alla ning laskuma vajalikku sügavusse, või kaldu üles ning tõusma sügavusele, mis lubab kasutada periskoope.

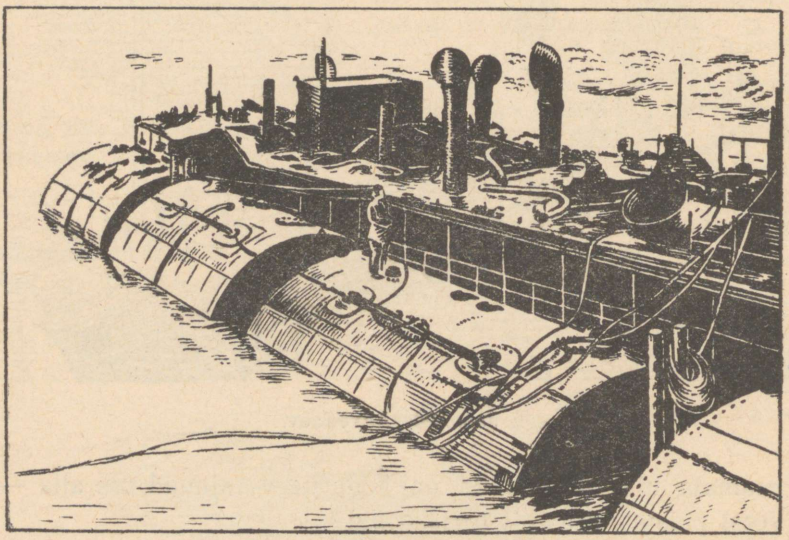
Selleks, et laeva tõsta pealvee-asendisse, aetakse vesi suruõhu-pallastikambritest välja.

52. Uppunud laevade ülestõstmine. Kui siduda suure korgi külge seatinakoormus ja vajutada kork ühes koormusega

[1] Riistad merepinna vaatlemiseks.

vee alla, siis niipea kui korgi lahti laseme, tõuseb ta veepinnale ja tõstab enda järel seatinakoormuse. Mida suurem on korgi ruumala, seda suuremat koormust suudab ta tõsta. Niisiis võib kõnelda vedelikku asetatud keha kandejõust (tõstejõud).

Archimedese seaduse põhjal on vedelikus oleva keha kandejõud võrdne vedeliku kaaluga keha ruumala suuruses, maha arvatud keha enda kaal.



Joon. 91. Jäälõhkuja «Sadko» ülestõstmine.

Vedelikus olevate kehade kandejõud leiab kasutamist uppunud laevade tõstmisel merepõhjast.

Vee alla lastakse suured veega täidetud metallvaadid — pontoonid. Need pontoonid kinnitatakse vee all, ühel või teisel viisil, uppunud laeva parda külge. Kui kinnitus on tehtud, aetakse pontoonidest suruõhu abil vesi välja, mille

tagajärjel laev kerkib veepinnale, kus teda võib hakata remontima.

Palju uppunud laevu on sel kombel üles tõstnud Eriülesannetega Veealuste Tööde Ekspeditsioon (Экспедиция подводных работ особого назначения, lühendatult ЭПРОН). Nii näiteks tõsteti 1933. a. sügisel Polaarmere põhjast sel viisil üles jäälõhkuja «Sadko», mis uppus 1916. a. (joon. 91). «Sadko» ülestõstmiseks valmistati 12 määratu suurt pontooni, igaüks kandejõuga 200 T. Samal viisil tõstis ЭПРОН üles Mustas meres 1914. a. uppunud kauba-reisilaeva «Merkuri» ühes lastiga ja palju teisi laevu.

Harjutus 24.

1. Arvutage 1 cm^3 korgi kandejõud (korgi erikaal on 0,24 G/cm^3). Arvutage, kui palju on vaja korki, et tõsta üles veega täidetud anuma põhjast suurt naela või mutrit. Teostage tõstmine. Oma arvestust näidake õpetajale.

2. Lodi, mille horisontaallõige on 400 m^2, vajub laadituna 75 cm sügavamalt vette. Oletades, et ta pardad on vertikaalsed, määrata lodja poolt peale võetud koormuse suurus.

53. Õhuasjandus. Kui õhupalli kaal ühes kesta ja koormusega on väiksem tema poolt väljatõrjutud õhu kaalust, siis tõuseb pall üles. Seepärast täidetakse õhupallid gaasiga, mille erikaal on õhu erikaalust väiksem.

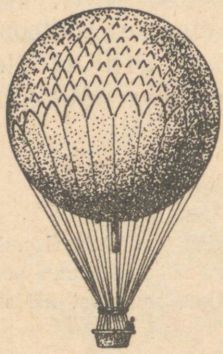
Normaalse õhurõhu ja 0^0 C temperatuuril kaalub 1 m^3 õhku 1,3 kG, valgustusgaas — 0,6 kG, heelium — 0,18 kG, vesinik — 0,09 kG.

1 m^3 õhu kaalu ja sama ruumala gaasi kaalu vahet nimetatakse 1 m^3 k a n d e j õ u k s. Järelikult on kandejõud:

valgustusgaasil — 1,3 — 0,6 = 0,7 kG
heeliumil — 1,3 — 0,18 = 1,12 kG
vesinikul — 1,3 — 0,09 = 1,21 kG

Suurimat kandejõudu omab vesinik, mistõttu teda on kasulik tarvitada õhupallide täitmiseks, kuid vesinik põleb ja see on suureks ohuks. Dirižaablite täitmiseks kasutatakse heeliumi või vesiniku ja heeliumi segu.

Harilik vabalennu õhupall, mida nimetatakse aerostaadiks, valmistatakse gummeeritud siidriidest ja täidetakse vesinikuga (joon. 92). Pallile on tõmmatud võrk, mille külge on seotud korv õhusõitjate ja mõõteriistade jaoks.

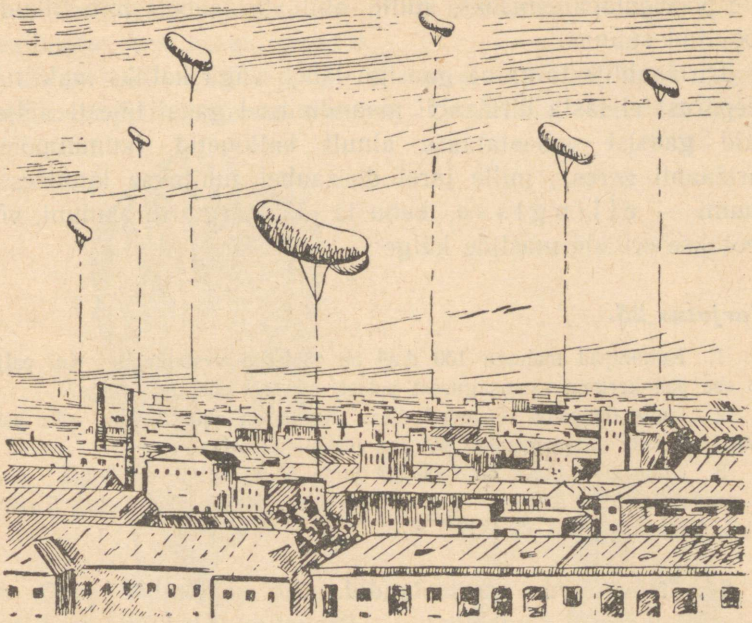


Joon. 92. Aerostaat.

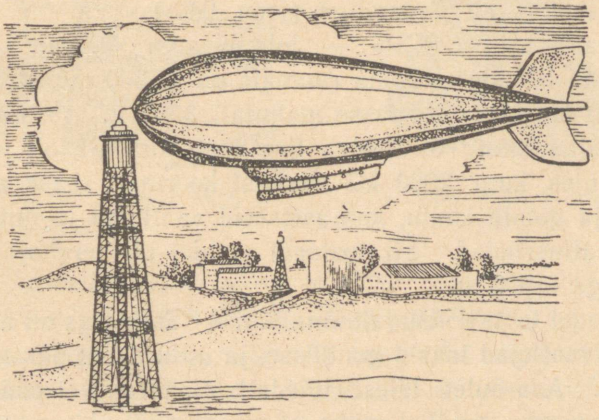
Gaasi väljalaskmiseks on klapp, mille kaudu võib lasta välja osa gaasi; seejuures pall hakkab laskuma. Vastupidi, kui õhusõitjad on saavutanud kõrguse, kus palli kaal võrdub väljatõrjutud õhu kaaluga ja pall kõrgemale enam ei tõuse, siis visanud alla teatud hulga pallastit (kuiva liiva, mis võetakse kaasa kottides), võivad õhusõitjad tõusta veel kõrgemale.

Peale õhupallide kasutatakse vabaks lennuks veel kinnitatavaid õhutõkke aerostaate (õhupalle), mida Suures Isamaasõjas kasutati laialt linnade kaitseks õhurünnakute vastu (joon. 93).

Õhupallid, välja arvatud kinnitatavad aerostaadid, lendavad õhus sinna, kuhu tuul neid kannab; juhitavad õhulaevad — dirižaablid — ilmusid siis, kui õnnestus valmistada kergeid võimsaid masinaid samasuguste propellerite pöörlemapanemiseks, nagu on lennukil. Dirižaablil on terava pära ja nüri esiotsaga pika sigari kuju (joon. 94). Ahtri külge on kinnitatud liikumatud pinnad — stabilisaatorid, mis ei võimalda dirižaablil pöörelda pikitelje ümber ja mis annavad talle püsivuse (stabiilsuse) ning roolid dirižaabli pööramiseks paremale ja vasakule, üles ja alla. Dirižaabli külge on kinnitatud gondlid reisijate jaoks. Gondlites asuvad ka mootorid propelle-



Joon. 93. Õhutõkke aerostaadid.



Joon. 94. Dirižaabel.

rite pöörlemapanemiseks, mille abil dirižaabel võib liikuda soovitud suunas.

Dirižaablite täitmine gaasiga läheb väga kalliks maksma, seepärast ei lasta dirižaabli maandumisel gaasi täiesti välja, vaid gaasist vabastatakse ainult ballonetid (kummipõied dirižaabli keres), mille järel dirižaabel juhitakse kinnisesse ruumi — e l l i n g i s s e, kuhu ta jääb järgmise lennuni, või seotakse eriliste mastide külge.

Harjutus 25.

1. Kummipall mahuga 100 dm^3 on täidetud vesinikuga. Kui palju on see pall kergem samasugusest pallist, mis on täidetud õhuga?
2. Laste õhupallid tõusevad üles. Kumb on suurem, kas selle palli kaal ühes teda täitva gaasiga või õhu üleslükkejõud?
3. Õhupalli ruumala on 1500 m^3 ja ta on täidetud vesinikuga. Kest ja gondel kaaluvad 250 kG. Kas on see pall suuteline üles tõstma 5 reisijat, kui igaüks kaalub 65 kG?

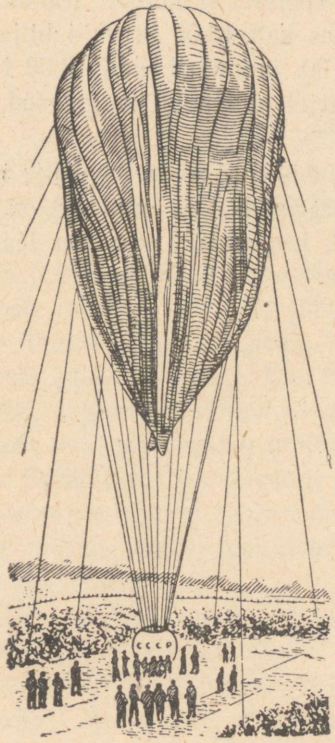
54. Nõukogude stratostaadid. 30. septembril 1933. a. kolm nõukogude spetsialisti — Prokofjev, Godunov ja Birnbaum — teostasid teaduslikul eesmärgil lennu atmosfääri ülemistesse kihtidesse, mida nimetatakse stratosfääriks, erilise õhupalliga — stratostaadiga (joon. 94-a).

Stratostaat «CCCP» — tohutu suur õhupall — ehitati kodumaa tehastes. Tema ruumala on 24 500 m^3, stratostaadi kest on kinnine. Kestasse mahutati 3200 m^3 vesinikku, mis teda täitis ainult osaliselt. See vesiniku hulk oli piisav, et tõsta üles kuni 2000 kG raskust koormat, kaasa arvamata kesta ja gondli kaalu, kus asetsesid vaatlejad ja mitmesugused vaatlusriistad. Stratostaadi gondel oli kerakujuline diameetriga ligi 2 m.

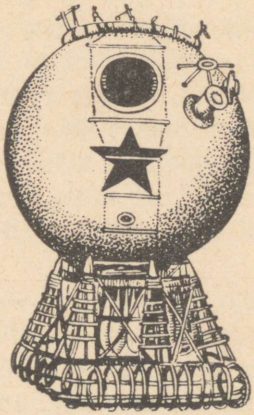
Gondel tehti koltšugalumiiniumist. Ta kestas oli ava, mille kaudu vaatlejad läksid gondlisse, ja mitu akent paksude klaasidega. Ava suleti täiesti tihedalt, nii et õhk ei pääsenud ei gondlisse ega gondlist välja. Seepärast jäi õhk gondlis kogu

aja ühesuguseks ja madal välisrõhk ei saanud tekitada kahju vaatlejaile, kes asusid gondlis.

Stratostaat «CCCP» tõusis 19 km, s. o. kõrgusele, milliseni veel keegi polnud kunagi tõusnud. Lennu ajal tehti rida väär-



Joon. 94-a. Stratostaat.



Joon. 94-b. Gondel.

tuslikke vaatlusi ning mõõtmisi ja stratostaat maandus õnnelikult Moskva lähedal, Kolomna tehaste juures.

30. jaanuaril 1934. a. kell 9.07 hommikul startis Moskva kohal Leningradi Osoaviahimi stratostaat «Osoaviahim I» stratosfääri teaduslikuks uurimiseks talve tingimustes.

Kell 11.59 saavutasid kolm julget stratosfääri uurijat Fedossejenko, Vassenko ja Ussõskin kõrguse 20 600 m ja saatsid sealt parteile ja töölisklassile oma võitlustervituse.

Kell 12.30 saavutas stratostaat «Osoaviahim I» kõrguse maksimumi 22 000 m ja hakkas seejärel laskuma. Raadioside stratostaadi ja maa vahel katkes kell 13.00 ja vaid hilja ööl tõi telegraaf teate, et samal 30. jaanuaril kell 16.00 tabas stratostaati avarii, mille tagajärjel hukkusid kangelased, kes ründasid stratosfääri.

Hukkunud seltsimehed kirjutasid uue ereda lehekülje inimkonna võitlusajaloosse loodusega. Nende nimesid, samuti nagu teiste kangelaste nimesid, kes andsid oma elu teaduse ja tehnika edu eest, ei unustata.

IV peatükk.

Liikumine ja jõud.

55. Mehaanilised liikumised. Kehade liikumist me näeme kõikjal: inimese liikumist tänaval, rongi liikumist rööbastel, keha langemist Maa peale, lennuki lendu, masina mitmesuguste osade liikumist, Kuu liikumist taevavõlvil jne.

Me räägime, et tänaval liigub inimene, sest me näeme, et inimese asukoht muutub majade suhtes, mida peame liikumatuiks. Samuti otsustame rongi liikumise kohta jaamade suhtes.

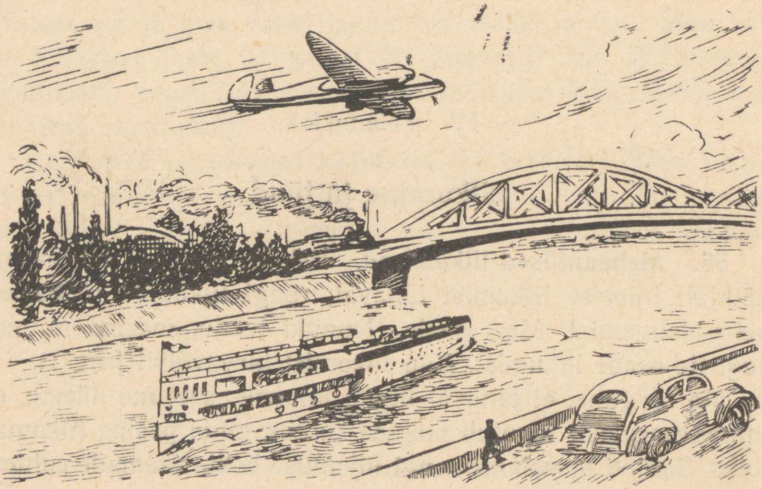
Me ei või midagi öelda keha liikumise kohta, kui me ära ei näita, milliste teiste, paigalseisvate kehade suhtes tema liikumist vaatleme.

Oletame, et istume seisvas rongis vaguni akna juures. Kõrvalteel seisab vastutulev rong. See varjab meie eest jaamahoone. Kostab vile. Meist mööduvad vastutuleva rongi vagunid. Meile näib, et hakkas liikuma meie rong. Kui aga kadus vastutuleva rongi viimane vagun, ning nähes jaamahoonet, me veendume, et sõitis mööda vastutulev rong, meie oma aga seisab veel.

Kui keha oma asendit Maa suhtes ei muuda, siis ütleme, et ta on paigal. Kuid ometi teame, et Maa ise liigub ümber Päikese. Järelikult on antud keha paigal vaid Maa suhtes, Päikese suhtes näiteks liigub ta aga ühes Maaga. Kuid, nagu tõestasid teadlased, liigub ka Päike ühes kõigi planeetidega

tähtede suhtes, mis samuti omavad maailma ruumis oma liikumist.

Nii ei suudaks meie kogu maailma ruumis leida sellist keha, mis oleks liikumatu.



Joon. 95. Mitmesuguste kehade liikumine.

Kõik kehad on suhtelises liikumises, iga meie poolt täheldatud paigalseis on suhteline.

Harjutus 26.

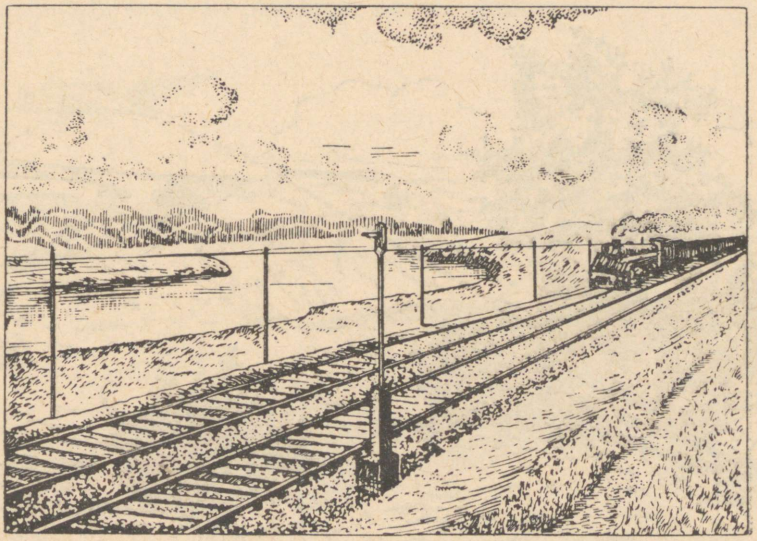
Läbi arutada alltoodud näited, näidates suhtelise liikumise ja suhtelise paigalseisu juhtusid.

1. Maanteel liigub hobune vankriga.

2. Päikesepaisteline ilm. Jõe kallas. Kaldal on puu. Veevool kannab edasi lootsikut, aga lootsikus istub inimene.

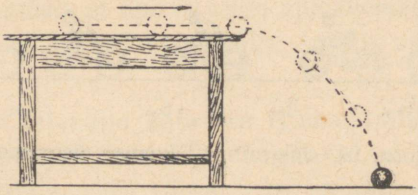
56. Sirgjooneline ja kõverjooneline liikumine. Joonisel 96 näeme sirgjoonelist raudtee lõiku. Eemalt on näha lähenev

rong. Ta liigub sirgjooneliselt. Sirgjooneliselt liiguvad tuuletu ilma puhul vihmapiisad, kroketipall pärast lööki jt.



Joon. 96. Raudtee sirgjooneline lõik. Eemal — lähenev rong.

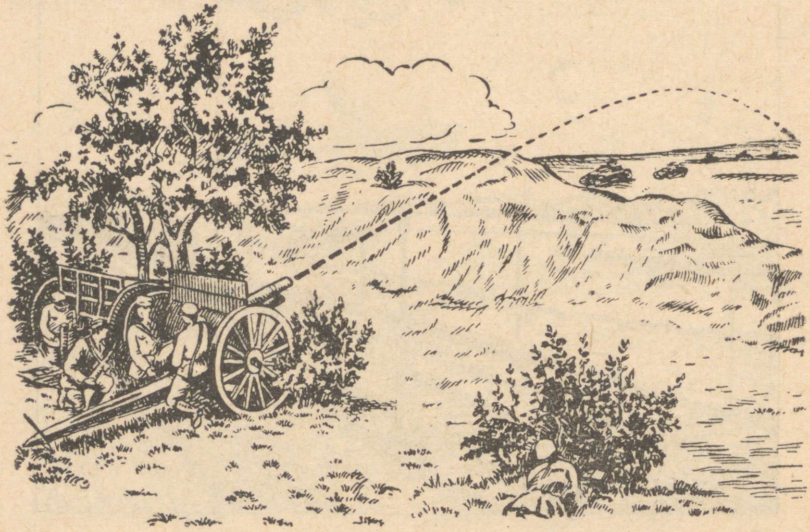
Kõverjooneliselt liiguvad pöörleva ratta kodarad, laualt kiirelt mahaveerev kuulike (joon. 97), kahurist väljalastud mürsk (joon. 98).



Joon. 97. Kuulike veereb laualt maha kõverjoont mööda.

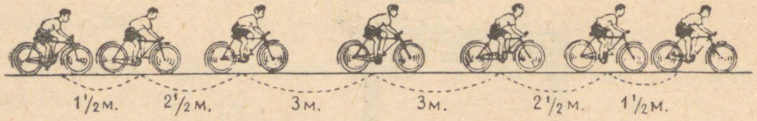
Kõverjooneliselt liiguvad kõik kehad, mis on visatud horisontaalselt või kaldu horisondile.

57. Ühtlane liikumine. Joonisel 99 on skemaatiliselt kujutatud jalgratturi liikumine teekonna algul, keskel ja lõpul. Sirgjoon on jalgratturi tee, sellel olevad lõigud aga ühesugus-



Joon. 98. Kahurist väljalastud mürsu trajektoor.

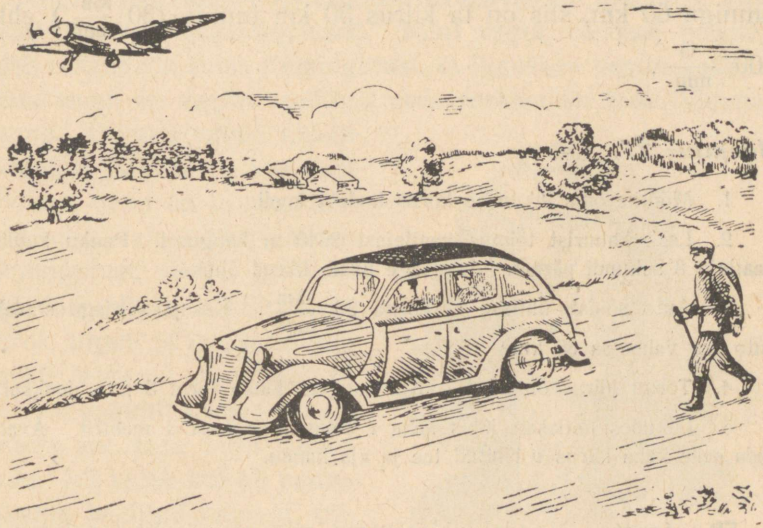
tel ajavahemikkudel läbitud teed. Me näeme, et jalgratturi liikumine teekonna algul ja lõpul erineb liikumisest teekonna keskel. Selles, keskmises osas, nagu näitab joonis, läbib



Joon. 99. Jalgratturi liikumise diagramm.

jalgrattur võrdsetel ajavahemikkudel võrdsed vahemaad. Sellist liikumist nimetatakse ühtlaseks liikumiseks. Liikumist, kus võrdsete ajavahemikkude jooksul keha läbib võrdseid teid, nimetatakse ühtlaseks.

58. Ühtlase liikumise kiirus. Maanteel sammub jalakäija, kihutab auto ja tee kohal õhus põriseb lennuk (joon. 100). Oletame, et kõik need kehad liiguvad ühtlaselt, kuid sellele vaatamata erinevad üksteisest nende liikumised.



Joon. 100. Inimene, auto ja lennuk liiguvad mitmesuguse kiirusega.

Auto liigub jalakäijast kiiremini, lennuk aga autost kiiremini. See tähendab, et ühe ja sama ajavahemiku jooksul läbib auto suurema vahemaa kui jalakäija, lennuk aga suurema kui auto.

Oletame, et jalakäija käib ära igas minutis 0,1 km, auto 1 km, lennuk aga 10 km. Siis räägitakse, et jalakäija kiirus on 0,1 km minutis, auto kiirus 1 km minutis, lennuki kiirus aga 10 km minutis.

Ühtlase liikumise kiirus näitab, millise vahemaa läbib keha ühe ajaühiku jooksul.

Ajaühikuks füüsikas võetakse sekund. Kui jalgrattur sõidab 5 sekundi jooksul 25 m, siis on ta kiirus $\frac{25\ \text{m}}{5\ \text{sek}} = 5\ \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ (loetakse — viis meetrit sekundis). Tihti võetakse ajaühikuks minut ja mõnikord ka tund. Kui näiteks rong sõidab kahe tunniga 60 km, siis on ta kiirus 30 km tunnis ($30\ \frac{\text{km}}{\text{tund}}$) ehk $500\ \frac{\text{m}}{\text{min}}$.

Harjutus 27.

1. Mõõtke oma liikumise kiirus kodust kooli.

2. Lask kahurist toimus vaatlejast 2640 m kaugusel. Pauku kuulis vaatleja 8 sekundi pärast. Arvutage hääle kiirus õhus.

3. Auto sõidab ühtlase kiirusega $30\ \frac{\text{km}}{\text{tund}}$. Kui pika ajaga sõidab auto ära vahemaa 80 km?

4. Tormi kiirus on $25\ \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kui kaugele jõuab torm 5 min. jooksul?

5. Liikudes ühtlaselt läbis keha t sekundi jooksul s meetrit. Avaldada selle keha kiirus v läbitud tee ja aja kaudu.

59. Inerts. Vaadeldes esemeid, mis meie suhtes seisavad paigal, märkame, et nad ei hakka iseenesest liikuma.

Lauale pandud raamat jääb kohale, kuni keegi asetab ta teise kohta. Rong seisab paigal nii kaua, kuni vedur hakkab teda vedama. Koorem ei tõuse iseenesest üles. Mürsk, mis on pandud kahuritorusse, ei lenda välja nii kaua, kuni teda ei tõuka välja püssirohu gaasid.

Toodud näited, millele igaüks võib lisandada uusi, on selle tõenduseks, et keha liikumapanemiseks on vajalik tema mõjutamine mingi teise keha poolt, teisiti öeldes, kehale peab mõjuma jõud.

Tihti võib näha, kuidas pärast hoovõtmist jalgrattur liigub pedaalidega töötamata, auto või tramm väljalülitud mootoriga, rong mittetöötava veduriga. Kroketipall ja pall laptuu-

mängus jätkavad liikumist, mille nad said löögist. Püssirohu gaasid tõukavad kahurist välja mürsu, mis lennates välja tohutu kiirusega, jätkab liikumist ka väljaspool kahurit, kus pole enam gaasi tõukavat toimet.

Jälgime horisontaalsel raudteel kaubavaguni liikumist, kus seda lükkavad edasi inimesed. Kuni vagun on veel paigal, tuleb rakendada suurt jõupingutust, et liigutada vagun kohalt. Mida enam on vagun laaditud, seda raskem on teda liikuma panna. On aga vagun kohalt tõugatud, hakkab ta aeglaselt liikuma, nüüd on ta edasilükkamiseks vaja vaid väikest jõupingutust, teistel juhtudel aga, kui talle anti küllaldane kiirus, liigub ta ise, ilma lükkavate inimeste osavõtuta. Et liikuvat vagunit seisma panna, selleks on teda vaja pidurdada. Nii raske kui oli panna liikuma laaditud vagunit, niisama raske on teda seisma panna.



Newton (1643—1727).

Liikuv keha säilitab oma liikumise. Et panna liikuv keha seisma, selleks on vaja rakendada jõudu.

Taoliste vaatluste põhjal tuldi järeldusele, *et kehad evivad omadust säilitada paigalolekut või ühtlast sirgjoonelist liikumist.* Seda kehade omadust nimetatakse inertsiks.

Inimkonna paljusajandiline kogemus näitab, et iga keha on inertne. Seepärast võib väita, et ***iga keha säilitab paigaloleku või ühtlase sirgjoonelise liikumise nii kaua, kuni teda ei mõjuta jõud.***

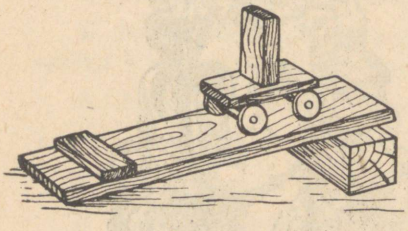
See väide võeti liikumisseaduste hulka XVII sajandil, mis määrati inglise teadlase Isaac Newtoni poolt ja on sel-

lest ajast tuntud esimese liikumisseaduse eh
inertsiseaduse nimetuse all.

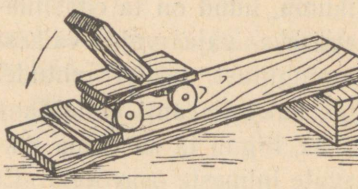
Paneme kergelt kallutatud lauale liikuma vankrikese, mi
lel seisab puuklots (joon. 101). Vankri teele asetame ming
eseme, et peatada liikuvat vankrikest.

Vankrikese seismajäämisel kukub klots ümber (joon. 102)

See katse demonstreerib inertsi nähtust küllalt häst
Vankri peatumisel jäi seisma ka klotsi alumine ots, sest klots
ja vankri vahel on hõõrdumine. Klotsi ülemine ots jätka



Joon. 101. Kalduasetatud laual liigub vankrike. Vankrikesel seisab puuklots.



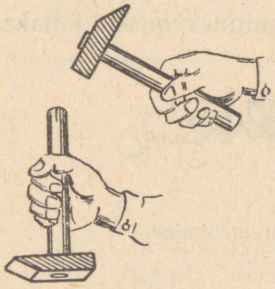
Joon. 102. Vankrikese põrkamis vastu tõket kukub puuklots.

inertsi tõttu endist liikumist, mistõttu klots kukub ümber. Täp
selt samuti langeme näoga ettepoole, kui uisutamisel milleg
taha kinni jääme. Täpselt samuti kalduvad trammi, auto j
rongi reisijad järsu peatumise puhul inertsi tõttu liikumis
suunas.

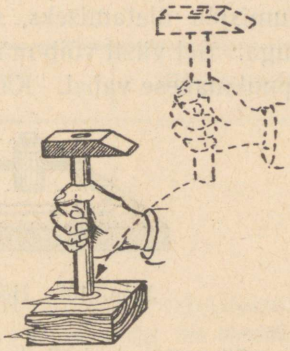
Eriti suur tähtsus on inertsil transpordis. Tegelikult o
liikuva auto, trammi või rongi peatamiseks vaja aega. Ei sa
kiiresti peatada ei autot ega rongi. Isegi kui tugeva pidu
abil mõjutada auto rattaid, liigub ta inertsi mõjul ikkagi tea
tud aja edasi. Kuid auto või rongi järsud peatused ei peat
veel inertsi tõttu liikumist jätkavaid reisijaid, mis võib oll
õnnetute juhtumite põhjuseks.

Harjutus 28.

1. Tooge näiteid liikumiste kohta, mis toimuvad inertsi tõttu.
2. Mispärast saab haamri panna varre otsa, kui lüüa varre otsa pihta (joon. 103)?
3. Joonisel 104 on näidatud haamri otsaajamise teine viis. Seletage.
4. Miks kukub komistav inimene? Kuhupoole?



Joon. 103. Haamri panemine varre otsa.



Joon. 104. Haamri varre otsa panemise teine viis.

5. Millel põhjeneb riiete vabastamine tolmust kloppimise teel? raputamise teel?
6. Hüpates kõrgelt jalgadele, painutab inimene põlvi. Seletada, mispärast.

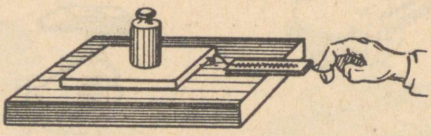
60. Hõõrdumine. Vaadeldes mitmesuguseid liikuvaid kehi, täheldame sageli, et nende liikumine aeglustub järk-järgult ja et see viimati lakkab. Peatub raudteel liikuv vagun, lakkab masina liikumine, kui lülitakse välja mootor, mis teda käima paneb.

Kuna igasugune liikumine muutub jõu mõjul, siis peab järeldama, et ka antud juhtudel liikumine lakkab mingisuguse jõu mõjul.

Jõudu, mis tekib ühe keha liikumisel teise keha pinnal ja mis takistab liikumist, nimetatakse hõõrdumisjõuks.

61. Hõõrdumisjõu mõõtmine. Et mõõta hõõrdumisjõudu, võib toimida järgmiselt.

Kinnitame väikese lauakese külge (joon. 105) dünamomeetri ja vedades sellega lauakest aeglaselt ning ühtlaselt teist pikka lauda mööda, mis on asetatud horisontaalselt, mõõdame tõmbejõu, mida näitab dünamomeeter. Kuna see tõmme kulub hõõrdumisjõu ületamiseks, siis on tõmbejõud võrdne hõõrdumisjõuga. Sel viisil võib määrata hõõrdumisjõudu mitte ainult kahe puulauakese vahel. Kasutades mitmesuguseid lauakesi ja



Joon. 105. Hõõrdumisjõu mõõtmine.

plaate, võib määrata hõõrdumisjõudu, mis tekib nende pindade vahel mitmesugustes tingimustes.

Liigutades mitmesuguseid horisontaalseid pindasid mööda mitmesuguste koormustega lauakesi, võime teha kindlaks, et erinevates tingimustes on ka hõõrdumisjõud erinev.

Harjutus 29.

1. Siduge raamatu ümber niit ja kinnitage niidi külge 20 cm pikkune kumminiit. Asetage raamat lauale ja tõmmake kumminiidist. Mõõtke venitatava kumminiidi pikkust raamatu ühtlasel liikumisel.

2. Asetage raamatu alla kaks silindrilist sulepead või kaks silindrilist pliiatsit. Mõõtke pinguli tõmmatud kumminiidi pikkust raamatu ühtlasel liikumisel «rullikestel». Võrrelge mõlema katse tulemusi.

62. Laboratoorne töö nr. 6. Töö eesmärk — selgitada, millistest põhjustest oleneb hõõrdumisjõud.

Katseriistu ja materjale: pikk siledaks hööveldatud laud (võib olla ka siledapinnaline töölaud); väike siledaks hööveldatud lauake, teine samasugune lauake, mille pindala on kaks korda suurem kui esimesel (lauakeste kaal on ühesugune), raudplaat suure laua jaoks, raudplaat ühe

väikese laua jaoks; koormusi; kaks ümmargust rulli; dünamomeeter; nöör; kartong; liivapaber; kartong pealekleebitud kaleviga.

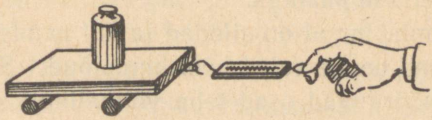
Töö juhend:

1. Määrake hõõrdumisjõud kahe laua vahel, kui ülemisel laual on mingi koormus.

Muutes ülemise lauakese koormust, määrake iga koormuse jaoks hõõrdumisjõud.

Järjekorra nr.	Koormus kG	Hõõrdumisjõud
1		
2		
3		
4		

2. Uurige järele, kas muutub hõõrdumisjõud, kui vahetatakse hõõrduvate pindade materjale. Töö selle osa jaoks kasutage teil olevaid mitme-



Joon. 106. Lauake rullikestel.

suguseid aluseid: kartongi, liivapaberit, kaleviga kleebitud kartongi, plekitükke.

3. Uurige hõõrdumist, pannes laua alla rullikesed (joon. 106). Tehke katsest vastavad järeldused.

63. Hõõrdumise tähtsus praktikas. Tehnikas on hõõrdumisel kahesugune osa: mõnikord on ta äärmiselt tarvilik ja teda püütakse suurendada, teistel kordadel on ta aga kahjulik ja temast püütakse igati vabaneda. See märkus puutub mitte ainult tehnikat, vaid ka igapäevast elu. Kui poleks hõõrdumist, ei saaks me midagi kätte võtta. Nagu libe kala libiseb käest, nii libiseksid käest hõõrdumise puudumisel kõik esemed, mida sooviksime tõsta.

Kiilasjää puhul on raske kõndida libedaid kõnniteid mööda. Et suurendada hõõrdumist taldade ja kõnnitee vahel, puistatakse kõnnitee liivaga üle. Kui poleks hõõrdumist, oleks käimine täiesti võimatu. Mõnikord käivad rööpail pöörlevad veduri rattad kiiresti ringi, liigutamata kohalt vedurit. Et suurendada hõõrdumist, raputab masinist rööpaile liiva. Et suurendada hõõrdumist tee ja autokummide vahel, tehakse kummidesse hambulised mustrid. Talvel, kui rataste libisemine jäisel teel on eriti suur, mähitakse autorataste ümber ketid.

Katse näitab, et koormuse suurenemisel suureneb ka hõõrdumisjõud.

Et arendada rongi liikumapanemiseks vajalikku tõmmet, peab vedur olema küllalt raske, sest ainult raske veduri puhul on olemas küllaldane hõõrdumine veduri rataste ja raudtee rööbaste vahel.

Et suurendada hõõrdumist rihmaratta ja rihma vahel, määritakse rihma erilise pastaga.

Kui hõõrdumispinnad on siledad ja kui nende vahel on õlikiht, siis väheneb nende vahel hõõrdumisjõud. Seepärast püütakse masina hõõrduvad osad teha võimalikult siledad, nende vahele pannakse õlimäärdeid. Mõningad masinad omavad seadiseid, mille abil määrimine toimub automaatselt.

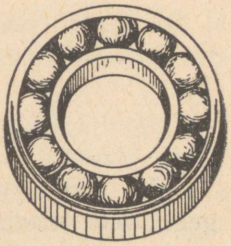
Väga tihti tehakse masinate laagrid erilistest materjalidest, mis erinevad oma pehmuse ja väga väikese hõõrdumise poolest. Selline metall on näiteks babiit.

64. Kuullaagrid. Raskete esemete edasinihutamiseks pannakse sageli nende alla rullid (joon. 107), asendades seega



Joon. 107. Palgi veeretamine rullidel.

liugumishõõrdumise veeremishõõrdumisega. Sellist asendust kasutatakse näiteks niinimetatud kuullaagrites. Neis pöörlev telg ei hõõrdu laagri liikumatu osa vastu, vaid veereb laagris telje ja laagri liikumatu osa vahele asetatud teraskuulidel. Kuullaagritega varustatakse mitmesugused masinad: autod, treipingid, tekstiilimasinad, elektrimootorid, jalgrattad, jõuülekande seadised jne. Kuullaagreid võib panna raudteevagunite telgedele, võllile, mille külge on kinnitatud lennuki propeller — ühe sõnaga kõikjale, kus soovitakse saada hõõrdumise suurimat vähenemist.



Joon. 108. Kuullaager.

Lihtsaima kuullaagri ehitus on kujutatud joonisel 108. Karastatud terasest sisemine rõngas asetatakse võllile, välimine rõngas paigutatakse kuullaagri jaoks valatud malmpesasse. Võlli pöörlemisel veereb sisemine rõngas välisrõngas olevail kuulikestel.

Moskvas ja Nõukogude Liidu teistes linnades on eritehased, mis on sisustatud tehnika viimase sõna järgi ja mis valmistavad kuullaagreid kõige mitmekesisemaid masinaid valmistavaile tehaseile.

V peatükk.

Töö ja energia.

65. Töö. Kui me tõstame mingit koormust, näiteks pangega vett kaevust, või paneme kartulikotti koormasse, siis teeme mehaanilist tööd. On arusaadav, et mida raskem on koormus, mida kõrgemale tuleb teda tõsta, seda suurema töö teeme.

Mehaanilist tööd tehakse mitte ainult keha tõstmisel, vaid ka kõigil juhtudel, kui rakendatud jõu mõjul toimub keha liigutamine.

Hobune veab vankrit; liikuv vasar lööb puusse naela; tööline tõstab ehitusel koormust; plahvatusel tekkiva tohutu suure gaasidehulga rõhk purustab kalju, paiskab suurtükist välja mürsu jne.

Kõigil loeteldud juhtudel tehakse tööd. Kui me tõstame koormust, siis rakendame jõudu, et ületada raskusjõudu. Kui hobune veab vankrit, siis pingutab ta jõudu, et võita vankri liikumise takistust. Mida raskem on hobusel vankri vedamine, mida rohkem ta rakendab jõudu ja mida pikem on tee, mida mööda ta vankrit veab, seda suurem on ilmselt ka hobuse poolt tehtud töö. Samasuguse järelduse võib teha ka kõigil muudel juhtudel, kui tehakse tööd. Järelikult sõltub töö hulk rakendatud jõu suurusest ja selle jõu mõjul keha poolt läbitud tee pikkusest.

Et osata mõõta töö hulka, on eelkõige vaja kindlaks määrata töö mõõduühik.

Tööühikuks võetakse selline töö, mille teeb 1-kilogrammine jõud 1 meetri pikkusel teel.

Seda tööühikut nimetatakse kilogramm-meetriks (lühendatult — kGm).

Oletame, et vankri liikumise takistusjõud on 30 kG ja hobune veab vankri 100 m kaugusele. Kui suure töö teeb seejuures hobune?

Arutleme nii: 1-kilogrammise liikumistakistuse ületamisel 1 meetri pikkusel teel tehakse töö 1 kGm. Et ületada 30 kG takistust 1 m pikkusel teel, on vaja teha töö 30 kGm. Kui aga hobune, arendades 30 kG jõudu, veab vankri 100 meetri kaugusele, siis on ka tema poolt tehtud töö 100 korda suurem. Seega on otsitav töö võrdne 30 kG × 100 m = 3000 kGm.

Vaatame teist näidet: oletame, et tõstes mingit koormust rakendame 10 kG suuruse jõu. Kui suure töö me teeme, tõstes selle koormuse püstloodis 2 m kõrgusele?

Arutanud samuti nagu esimeses näiteski, leiame, et meie poolt tehtud töö võrdub 10 kG × 2 m = 20 kGm.

Gaaside keskmine rõhumisjõud püssiraua kuuli põhjale on 1200 kG, püssiraua keermiku pikkus on 65 cm (0,65 m). Järelikult püssirauast kuuli väljapaiskavate gaaside töö võrdub

$$1200 \text{ kG} \times 0{,}65 \text{ m} = 780 \text{ kGm}.$$

Vaadeldud näiteist selgub, et tööhulga arvutamiseks on vaja rakendatud jõu suurus korrutada kaugusega, mille keha läbib jõu suunas.

Kui märgime jõu suuruse tähega F, keha poolt jõu mõju suunas läbitud teepikkuse tähega S, seejuures tehtud töö aga tähega A, siis võib eespool tähendatud sõltuvust märkida nii:

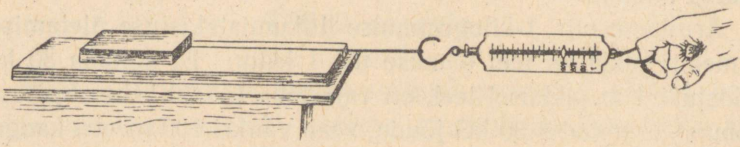
$$A = F \cdot S.$$

Saadud algebralist avaldist nimetatakse mehaanilise töö arvutamise valemiks.

Harjutus 30.

1. Joonisel 109 näidatud lauake liigub lauatükil ühtlaselt 60 cm kaugusele. Lugege ära, millist tõmbejõudu näitab dünamomeeter (dünamomeetri iga jaotis võrdub 100 grammiga) ja arvutage välja tehtud töö.

2. Puusaagija lükkab sae 50 cm kaugusele, kasutades 10 kG jõupingutust, kusjuures iga lükkega süveneb saag 3 mm võrra. Kui palju tööd on vaja, et saagida läbi 30 cm jämedune palk?



Joon. 109.

3. Kui suure kiirusega võib hobune vedada vankrit, rakendades 60 kG jõupingutust, kui ta minutis teeb tööd 3600 kGm?

4. 5-atmosfäärilise rõhu all käis kolb ära 0,5 m. Määrata auru töö, kui kolvi pindala on 300 cm^2.

66. Võimsus. Ühte ja sama mehaanilist tööd võivad erinevad jõumasinad teostada mitmesuguste aegadega. Kui näiteks tööline kulutab telliste kandmiseks uusehitise ülemisele korrusele mitu päeva, siis võib tõstekraana sama töö teostada mõne minutiga.

Ühe hektaari suuruse maatüki võib hobusega üles künda 10—12 tunniga, traktor aga teeb sama töö 40—50 minutiga.

Seega on erinevail jõumasinail erinev töövõime ehk võimsus.

Võimsust mõõdetakse tööhulgaga, mida tehakse ühe sekundi jooksul.

Kui tööd mõõta kilogramm-meetritega, siis on võimsuse ühikuks selline võimsus, mis võimaldab teha töö 1 kGm ühes

sekundis. Selle ühiku nimetus tähistatakse lühendatult nii: $1 \frac{kGm}{sek}$.

Kui jõumasin teeb ühe minutiga töö, mis on võrdne 30 000 kGm, siis on ta võimsus $\frac{30\,000\,kGm}{60\,sek} = 500 \frac{kGm}{sek}$. Märkides töö tähega *A*, aja tähega *t* ja võimsuse tähega *N*, võime avaldada võimsuse järgmise valemi kujul:

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

Tehnikas mõõdetakse masinate võimsust «hobujõududega» (lühendatult *HJ*).

1 hobujõud on võimsus 75 kGm/sek.

Nimetust «hobujõud» tuleb tunnistada ebaõnnestunuks [1]. Sõna «jõud» on tarvitatud sõna «võimsus» asemel ja pealegi tavaline hobune teeb märksa vähem tööd kui masin võimsusega 1 hobujõud sama aja jooksul.

Kestva töö puhul on hobuse võimsus umbes 0,4—0,6 *HJ*. Inimese töö võimsus kestva töö puhul on 0,1—0,05 *HJ*. Mitmesugused jõumasinad omavad kõige mitmekesisemat võimsust hobujõu kümnendikkudest (õmblusmasina elektrimootor) kuni sadade tuhandete hobujõududeni (turbiinid).

Harjutus 31.

1. Üks masin teeb ühe minuti jooksul töö 22 500 kGm, teine masin 8 minuti jooksul 28 800 kGm. Kumb masin omab suuremat võimsust?

---

[1] Võimsuse ühiku «hobujõud» saamislugu on järgmine. Algul kasutati aurumasinat vee väljapumpamiseks söekaevandustest.

Enne aurumasinat tehti see töö hobustega. Seepärast võeti hobust asendava aurumasina võimsuse ühiku kindlaksmääramisel võimsuse ühikuks hobuse võimsus, s. o. tööhulk, mille teeb hobune ajaühiku jooksul.

Arvates, et tugev hobune, arvestades meie ühikuis, võib anda 75 kGm sekundis, nimetas Watt 75 kGm võimsust sekundis «hobujõuks».

2. Määrata tõstemasina võimsus, kui masin tõstab 750 kG 3 m kõrgusele 10 sek. jooksul.

3. Teades, et inimene tarvitab käies rõhtsal teel jõupingutust, mis on võrdne ta enda kaalu $^1/_{20}$ osaga, arvutage võimsus, mida te arendate minnes koolist koju.

4. Elevaator tõstab tunnis 720 000 kG teri 25 m kõrgusele. Määrata selleks tööks vajalik võimsus.

5. 100 m sügavusse šahti koguneb minutis 4,5 m^3 vett. Kui suur peab olema selle vee ärapumpamiseks pumba võimsus?

67. Liikumatu plokk. Tehes tööd kasutame tihti mitmesuguseid mehhanisme, nagu: plokke, kange jne. Arutleme lähemalt, mida annab meile nende mehhanismide kasutamine.

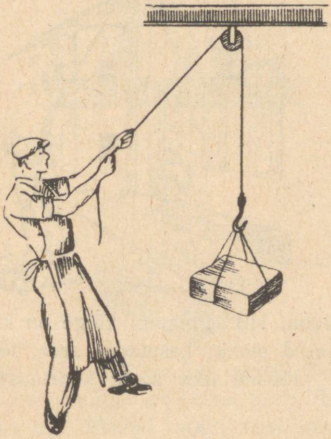
Et nööri abil tõmmata koormust alt üles, pole sugugi vaja tingimata nööri ülespoole tõmmata. Võime visata nööri üle mingi toe ja tõmmata nööri selles suunas, millises meil on mugavam. Koormus tõuseb sel juhul üles toe poole.

Et vähendada üle toe visatud nööri hõõrdumist, võib nööri märjaks teha või seebitada; võib toe selle koha, mille vastu hõõrub nöör, teha siledamaks, ümmargusemaks; lõpuks võib panna nööri üle rattakese, mis pöörleb nööri liikumisel.

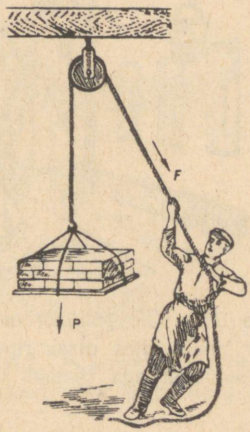
Telje ümber pöörlevat uurdega rattakest, mis on asetatud klambrisse, nimetatakse plokiks. Joonisel 110 on näidatud, kuidas sellist plokki kasutades tõstetakse üles koormusi. Ploki klamber on kinnitatud liikumatult üles, üle rattakese on pandud nöör. Nööri üks ots kinnitatakse ülestõstetava koormuse külge, teist otsa pidi aga tõmmatakse nööri allapoole. Ploki telg jääb liikumatuks. Sellist plokki nimetatakse liikumatuks (kinniseks) plokiks.

Arvutame töö, mille teostame, tõstes koormust liikumatu ploki abil, ja töö, mida teeksime, tõstes sama koormuse samale kõrgusele ilma plokita. Selleks on vaja mõõta jõudu, millega tõmmatakse nööri. Mõõtmised näitavad, et see on peaaegu võrdne ülestõstetava koormuse kaaluga (joon. 111) (jõud, mil-

lega tõmmatakse, on praktiliselt koormuse kaalust veidi suurem, sest kasutades plokki oleme sunnitud ületama tõstmisel tekkivat hõõrdumist). Tähendab jõud, mis tegid töö ühel ja teisel juhul, on võrdsed. Võrdsed on ka läbitud teed, sest kuivõrd liigub edasi nööri ots, millest tõmmatakse, niivõrd kerkib koormus. Seepärast on ka tehtud töö ühel ja teisel juhul üks ja sama.



Joon. 110. Liikumatu plokk.

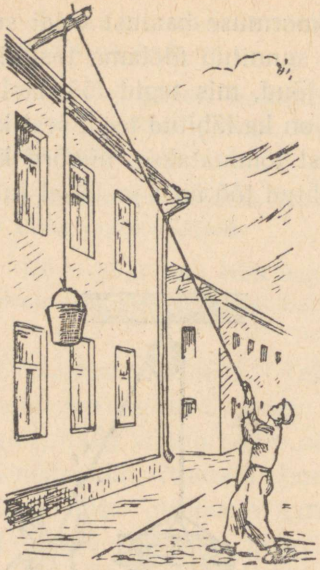


Joon. 111. Liikumatu plokk ei anna võitu töös. ($P = F$)

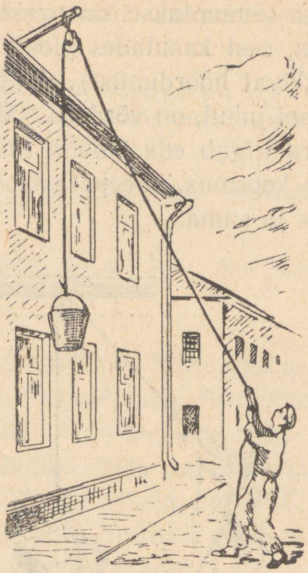
Järelikult ei anna liikumatu plokk meile mingisugust kasu ei jõus ega töös, kuid me võime seda kasutades muuta jõu suunda: meie tõmbame nööri kas allapoole või küljele, koormus aga läheb üles.

Harjutus 32.

1. Jooniseil 112 ja 113 kujutatakse koormuse tõstmise kahte juhtu. Millisel juhul ja mispärast on vajalik suurem jõupingutus?
2. Kas 75 kG raskune inimene suudab liikumata ploki abil üles tõsta 85 kG? Arutlege võimalikke juhtumeid.



Joon. 112. Üle põikpuu on visatud nöör, mille ühes otsas ripub koormus, teist aga tõmbab tööline.



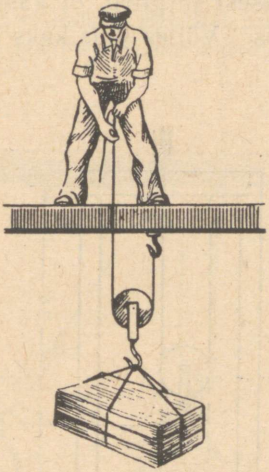
Joon. 113. Põikpuu külge on kinnitatud plokk; kasutades seda, tõstab tööline üles sama koormuse.

68. Liikuv plokk. Ploki abil võib koormust üles tõsta nii, nagu kujutatud joon. 114. Nööri üks ots on kinnitatud liikumatult, teist otsa pidi tõmmatakse ülespoole. Tekkinud aasas ripub plokk, mille külge on kinnitatud tõstetav koormus.

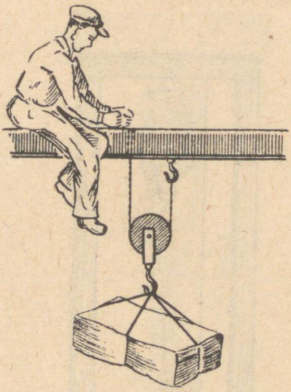
Jõud, millega tööline peab hoidma nööri, on võrdne jõuga, millega koormus pingutab nööri.

Kui tööline seob oma nööri otsa tala külge, siis jääb koormus kohale, kus ta oli, ja nagu varemgi pingutab mõlemat nööri osa ühtemoodi. Koormus on riputatud kahele nöörile, järelikult tuleb igale nöörile pool koormuse kaalu (joon. 115). On ilmne, et hoida ülal koormust, tuleb ka töölisel nöörile rakendada jõud, mis on võrdne koormuse poole kaaluga. Seda

järeldust võime kontrollida katsega. Kui tõstame üles ploki külge seotud koormuse (joon. 116), siis näitab dünamomeeter, mille rõngast hoiame käes, et koormust hoidev jõud on võrdne



Joon. 114. Tööline, kes seisab palgil, mille külge on kinnitatud üks nööri ots, tõmbab nööri teist otsa pidi, tõstes üles liikuval plokil rippuva koormuse.



Joon. 115. Mõlemad nööri otsad on kinnitatud palgi külge.

koormuse poole kaaluga. Ühes koormuse liikumisega, liigub ka plokk.

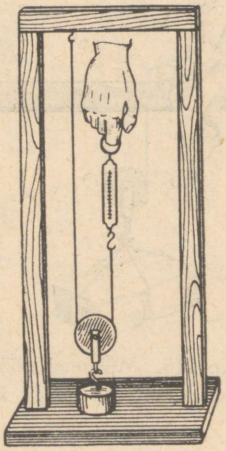
Sellist plokki nimetatakse liikuvaks plokiks.

Liikuva ploki abil võime tõsta üles koormuse, rakendades kaks korda väiksemat jõudu kui koormuse kaal. Meie võidame, nagu öeldakse, jõus kaks korda [1].

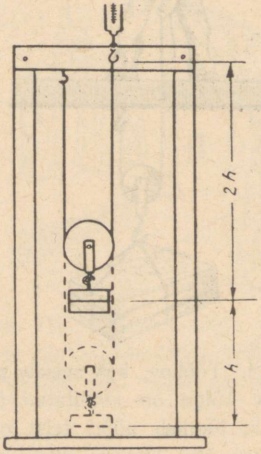
---

[1] Selline järeldus on õige sel juhul, kui hõõrdumine on väga väike, nii et me võime seda mitte arvestada.

Vaatleme, kas meie ei võida töös, kasutades liikuvat plokki. Laseme vihi kuni lauani ja hakkame seda tõstma dünamomeetri abil. Et tõsta koormust kõrgusele *h*, selleks on vaja nööri ots, mille külge on kinnitatud dünamomeeter, tõsta kõrgusele *2h* (joon. 117). Antud katsest järgneb, et kasutades liikuvat plokki meie ei võida töös. Võites jõus kaks korda, kaotame tee pikkuses kaks korda.



Joon. 116. Dünamomeetriga mõõdetakse jõudu, mis on vajalik koormuse tõstmiseks liikuva ploki abil.



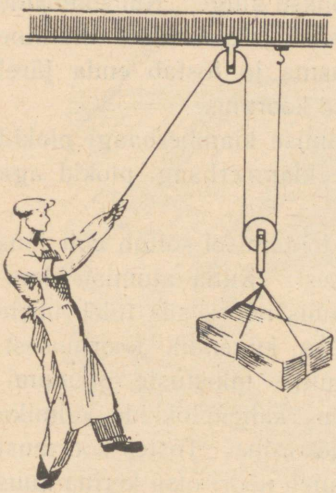
Joon. 117. Võites kaks korda jõus, kaotame sama palju korda läbitud tees.

Et võita koormuse tõstmisel jõus, kasutades liikuvat plokki, pole töölisel vajadust üle liikuva ploki pandud nööri tõmmata üles, nagu see on kujutatud joonisel 114. Kinnitanud liikumatu ploki tala külge ja pannud sellest üle liikuva ploki nööri vaba otsa, võib tööline tõmmata nööri allapoole, koormus aga tõuseb üles (joon. 118).

Harjutus 33.

1. Kui suur on võimleja jõupingutus enda ülestõstmisel, kui plokki kasutatakse nii, nagu näidatud joonisel 119?

2. Liikuva plokiga (joon. 118) tõstetakse 50 kG koormust. Kui suur jõud on rakendatud liikumatu ploki klambrile? Konksule, mille külge on kinnitatud nööri ots? Liikuva ploki klambrile?



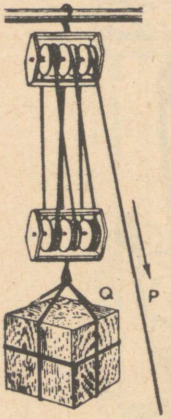
Joon. 118. Ühe liikuva ja ühe liikumatu ploki süsteem.



Joon. 119. Üle liikumata ploki on pandud nöör, mille ühes otsas on silmus, kuhu on asetatud võimleja jalg, teist otsa pidi tõmbab võimleja, tõstes iseennast.

69. Polüspast. Suurte koormuste ülestõstmisel võib ühe liikuva ploki poolt saadav võit jõus osutuda mitteküllaldaseks, seepärast kasutatakse neil juhtudel mitte ühte liikuvat plokki, vaid liikuvate ja liikumatute plokkide süsteemi — polüspasti ehk tali. Selline plokkide süsteem on kujutatud joonisel 120.

Iga plokkide-kolmik on paigutatud eraldi klamberhaaki. Ülemine klamberhaak on kinnitatud liikumatult ja tema alumise konksu külge on seotud nöör. See nöör haarab alumise klamberhaagi ploki, läheb siis ülemisele plokile ja sealt läbi alumise klamberhaagi keskmise ploki üle ülemise klamberhaagi keskmise ploki ja haarab lõpuks mõlemad äärmised plokid. Nööri vabasse otsa rakendatakse jõud, mille abil tõstame üles koormuse, mis on seotud alumise klamberhaagi alumise konksu külge. Kui tõmbame nööri vabast otsast, siis hakkab alumine klamberhaak tõusma ja tõstab enda järel tema külge seotud koormuse.



Joon. 120. Tali ehk polüspast.

Niisiis on alumise klamberhaagi plokid liikuvad, ülemise klamberhaagi plokid aga liikumatud.

Polüspastiga töötamisel sõltub võit jõus polüspasti ehitusest. Kuna alumist klamberhaaki hoiab kuus nööri, siis tuleb ühele nöörile ainult üks kuuendik koormusest. Igasuguste kahjulike takistuste puudumisel peab võit jõus kahe plokkide kolmiku puhul olema kuuekordne. Tõstes koormust polüspasti abil, tuleb nööri otsa kerida kuus korda pikemalt, kui on kõrgus, millele tõstetakse koormus. See tõestab veelkordselt kaotust teepikkuses võidu arvel jõus.

Hõõrdumise tõttu on plokkide juures võit jõus tegelikult märksa väiksem kui teoreetiliste arvestuste järgi.

Harjutus 34.

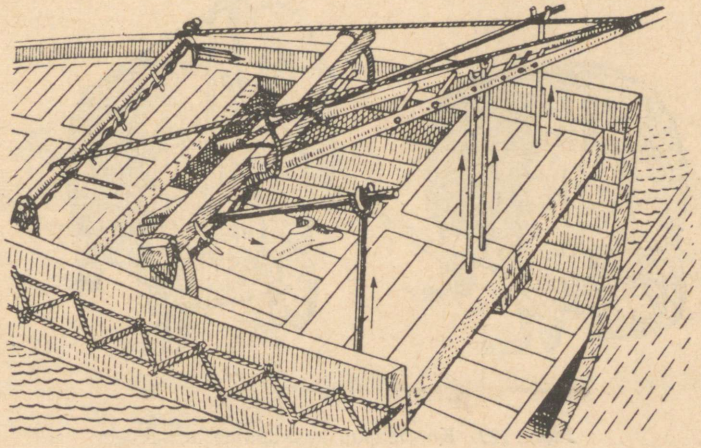
1. Näidake, kuidas joonisel 121 on kasutatud ära liikumata ja liikuva ploki printsiip.

2. Joonisel 122 kujutatakse «koormapuud», mida kasutatakse heinte kokkusurumiseks nende veol. Näidake, kuidas siin on rakendatud plokkide kombinatsiooni printsiipi.

3. Mõelge välja plokkide kombinatsioon, mille abil 20 kG jõudu rakendades võiks tõsta 160 kG koormust.

4. Nöör peab vastu 200 kG koormusele. Kas võib kasutades plokke, selle nööriga tõsta 1-tonnist koormust? Kuidas seda teha?

70. Kang. Väga tihti võib näha, kuidas tööline (joon. 123) suurt raskust tõstes paneb selle alla raudkangi või jämeda puu ja mõjudes oma jõuga ühele puu otsale, tõstab teise otsaga üles raskuse.



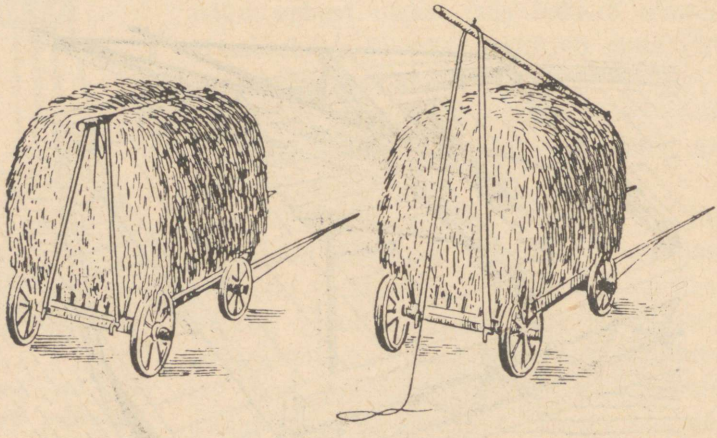
Joon. 121. Masti ülesajamise viis Vana-Assüürias.

Selle jõu mõjul, toetudes punktile *O*, pöörab end kang, ja tema teine ots, mõjudes raskusele, tõstab selle üles. Et tõsta üles raskust, on töölisel vaja kangi pöörata, rakendades kangi otsas jõupingutust (nagu näitab nool punkti *B* juures). Seda pidurdab töölise poolt tõstetava koormuse takistus, mis mõjub kangile (nagu näitab nool punkti *A* juures [1]).

[1] Jõudude suund on joonisel 123 kujutatud nooltega.

Kui töölise poolt rakendatav jõupingutus on küllaldane, et ületada takistuse mõju kangile, siis tööline tõstab koormuse üles ja teeb seega tööd.

Iga tahket keha, mis rakendatud jõu mõjul võib pöörduda liikumatu telje ümber, nimetatakse kangiks. Raudkang, millega tööline tõstab raskust, on kangi lihtsamaks kujuks. Arutleme, mida võidame, kasutades kangi. Võtame uurimiseks kõige lihtsama juhu, kus kangiks on varb ja mõjuvad jõud on



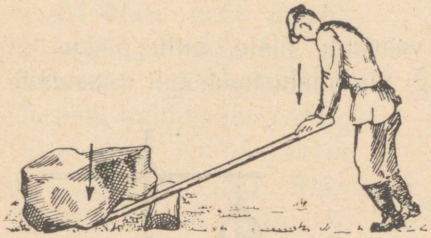
Joon. 122. Koormapuu kasutamine heinaveol.

temale risti. Sel juhul kaugust toetuspunktist kuni jõudude rakenduspunktideni nimetatakse jõudude õlgadeks [1].

Tõstes kangi abil mõnda rasket koormust, võime veenduda, et rakendatava jõupingutuse suurus sõltub mitte üksnes koormuse raskusest, vaid ka kangi õlgade pikkuste suhtest. Kui õlg, millele mõjub meie jõupingutus, on suurem õlast, millele

[1] Jõu õlaks üldjuhul nimetatakse toetuspunktist jõudude sihti kujutavale joonele lastud **ristjoone pikkust.**

mõjub koormus, siis tuleb tõstmiseks rakendada väiksemat jõudu, kui on koormuse kaal. Sel juhul võidame jõus. Ümberpöördult, kui õlg, millele mõjub meie jõud, on väiksem õlast, millele mõjub koormus, siis meie kaotame jõus: sel juhul tuleb rakendada suuremat jõudu, kui on koormuse kaal. Joon. 124 on kujutatud kangi kasutamise teine viis. Sel juhul toetub kang otsaga vastu maad. Joonisel 124 kujutatud kangi kau-



Joon. 123. Tööline kasutab kangi.



Joon. 124. Teine kangi kasutamise viis (teist liiki kang).

gused kangi otsast (toetuspunktist) kuni jõudude rakenduspunktideni on kangi õlad.

71. Kangi tasakaalu tingimused. Kangil võib tasakaalustada mistahes kahte jõudu. On vaid tarvis, et jõudude ja õlgade vahel oleks teatud sõltuvus. Kui õlale OA mõjub jõud P_1, õlale OB aga jõud P_2 (joon. 125 a ja b), siis jääb kang tasakaalu, kui $OA \cdot P_1 = OB \cdot P_2$.

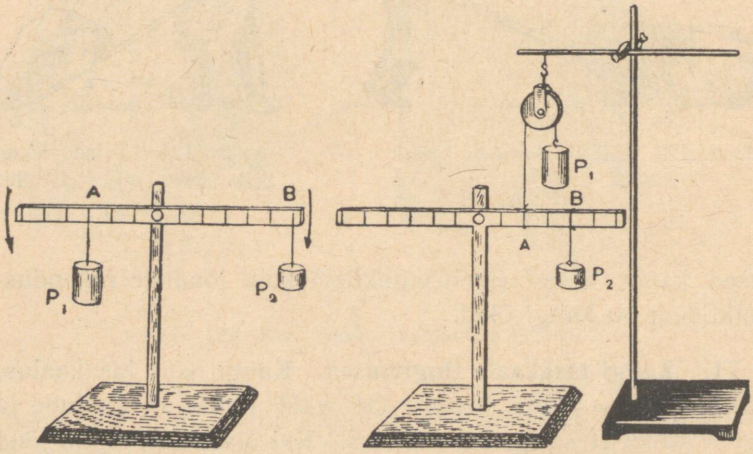
Kangi tasakaalu tingimusi võib määrata ka teisiti. Selleks teeme järgmise katse.

Riputades kangile mitmesuguse suurusega koormusi (võrdseid ja mittevõrdseid), taotleme koormuste sellist asendit, et kang jääks tasakaalu.

Tasakaalustanud kangi, mõõdame kangile mõjuvate koormuste õlad. Seesuguse katse tulemused on kantud tabelisse:

Vasakpoolne õlg		Parempoolne õlg	
Koormus (grammides)	Õlg (sentimeetrites)	Koormus (grammides)	Õlg (sentimeetrites)
100	20	50	40
200	5	50	20
50	30	100	15

Esimeses katses mõjus vasakule õlale, mille pikkus on 20 cm, jõud 100 G, ja et kangi tasakaalustada, tuli rakendada



Joon. 125 a, b. Kangide õlgadele rakendatud jõud.

50 G jõudu kaks korda pikemale õlale, s. o. õlale pikkusega 40 cm. Taolisi tulemusi saadi ka teistel katsetel.

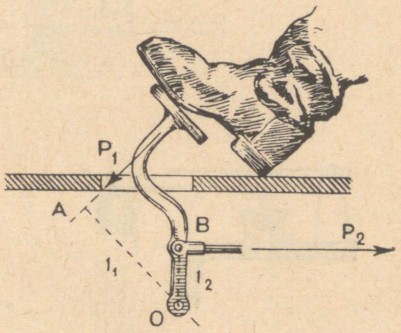
Mitu korda lühem õlg on väiksem pikemast õlast, niisama palju korda on lühemale õlale rakendatud jõud suurem pikemale õlale rakendatud jõust.

Järelikult, *kangi tasakaalustamiseks on vaja, et õlad oleksid pöördvõrdelised jõududega.*

Selle järelduse võib üles tähendada nii:

$$\frac{OA}{OB} = \frac{P_2}{P_1}$$

See reegel on maksev mitte üksnes sirge kangi, vaid mistaheskujulise kangi suhtes. Tarvitseb ainult meeles pidada, et jõu õlaks tuleb lugeda ristjoone pikkust, mis on tõmmatud toetuspunktist jõu sihti kujutavale joonele (joon. 126). Nii näiteks on jõu P_1 (joon. 126) õlaks OA, aga jõu P_2 õlaks OB.



Joon. 126. Jõudude õlad.

Harjutus 35.

1. Joonisel 127 on kujutatud kaitseventiili[1] läbilõige. Arvutage, kui suure raskuse peab riputama pikemale õlale, kui rõhk katlas on 12 at. Klapi pindala on 3 cm², klapi ja kangi kaalu arvesse ei võeta. Õlad mõõta joonise järgi.

2. Joonisel 128 on kujutatud tõstekraana. Arvutage, kui suurt koormust võib selle kraanaga tõsta, kui vastukaal on 1 t (joonise all kujutatud skeem annab juhendeid ülesande lahendamiseks).

3. Arvutage jõu suurus, mille rakendab tööline ukse tõstmiseks (joon. 129 a, b) kui $BO = 1$ m, $AO = 20$ cm, ukse takistus aga on 40 kG.

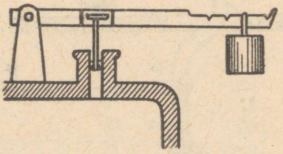
---

[1] Kaitseventiil on eriline seadis, mis paotab ava (näiteks aurukatlas), kui aururõhk katlas tõuseb üle normi. Kaitseventiil säästab aurukatelt võimaliku lõhkemise eest.

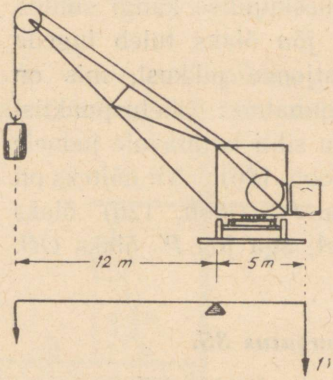
72. Kas kangi kasutamisel võidame töös? Et lahendada seda küsimust, korraldame katse.

Olgu meil 1 kG vaja tõsta 0,1 m kõrgusele. Kui see tõstmine teostada ilma kangita, siis on vaja sooritada töö:

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



Joon. 127. Kaitseventiil.



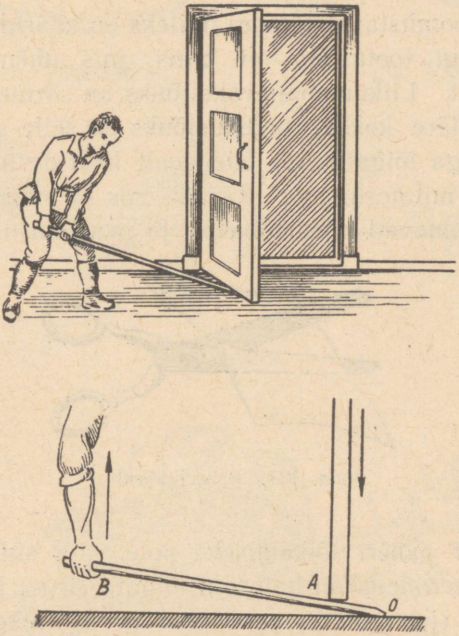
Joon. 128. Tõstekraana.

Sooritame selle töö, kasutades kangi, mille toetuspunkt on rakendatavate jõudude vahel, tasakaalustades 1 kG vihi 0,5 kilogrammise jõuga (joon. 130). Märkinud ära kangi mõlemate otste kõrgused, tõstame 1 kG vihi kõrgusele $h_1 = 0{,}1$ m. Mõõtes nüüd kauguse h_2, milleni laskus ots, millele mõjub jõud 0,5 kG, leiame, et see võrdub 0,2 m. Järelikult 0,5 kG jõu töö võrdub:

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

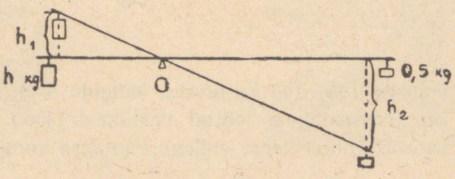
Näeme, et $A = A_1$. Teisiti öeldes, kangi abil ei võideta töös midagi. Kasutades kangi, võime võita kas jõus või tee-

pikkuses. Kui meie oma jõupingutuse rakendame pikemale õlale, siis võidame jõus, kuid kaotame niisama palju kordi



Joon. 129 a, b. Tööline tõstab ust kangiga.

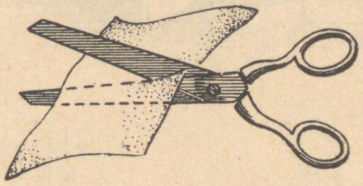
teepikkuses. Mõjudes jõuga lühemale õlale, võidame kauguses, kuid kaotame niisama palju jõus.



Joon. 130. Tööde võrdsus kangil.

73. Kangide näiteid tehnikas ja igapäevases elus. Kangide kasutamine on nii mitmekesine, et raske on loetella kõiki kangide kasutamise juhtumeid.

Väga iseloomustavaks kangi näiteks on käärid (joon. 131). Selle kangi toetustelg on kruvi, mis ühendab kääride mõlemat poolt. Liikumapanevaks jõuks on sõrmede jõud, mis pigistavad kääre kokku, takistusjõuks on selle aine takistus, mida kääridega lõigatakse. Olenevalt kääride ülesandest on nende ehitus mitmesugune. Käärid, mis on määratud paberi lõikamiseks, omavad pikki lõiketeri ja peaaegu niisama pikka



Joon. 131. Paberikäärid.

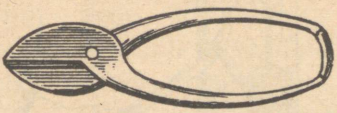
käepidet, sest paberi lõikamiseks pole vaja suurt jõudu ja pikkade lõiketeradega on hõlpsam lõigata sirget joont mööda. Plekikääridel (joon. 132) on käepide märksa pikem lõiketeradest, sest metalli takistus on niivõrd suur, et lühikese käepideme puhul ei piisa inimese jõust metalli lõikamiseks.

Eriti suur on erinevus traadilõiketangide õla pikkuses lõikava osa ja käepidemete vahel (joon. 133).

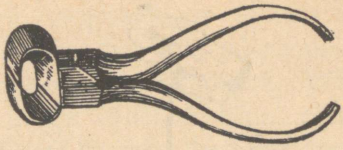
Edasi on jooniseil 134—143 kujutatud veel rida lihtsaid mehhanisme, mille tegevus põhjeneb kangi printsiibil.

Harjutus 36.

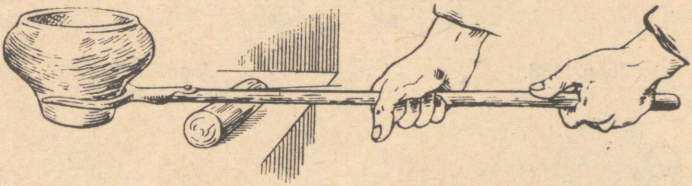
1. Leidke jooniseil 134—143 kujutatud kangide õlad ja toetuspunktid.
2. Milleks on kaevukoogule tehtud vastukaal (joon. 137)?
3. Millises asendis rõhub kepp, millega kantakse kompsu, õlale vähem (joon. 143)?
4. Joonisel 142 on kujutatud mõla; seletage mõla kui kangi tegevust.



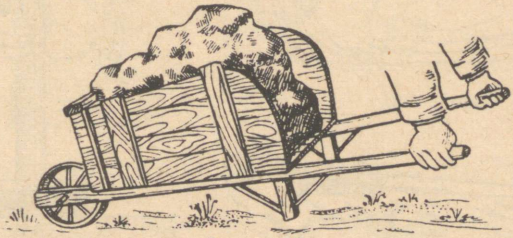
Joon. 132. Plekikäärid.



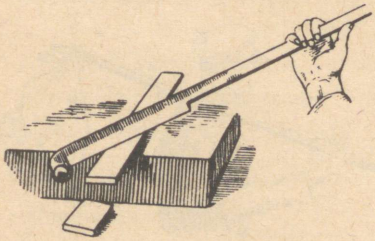
Joon. 133. Lõiketangid.



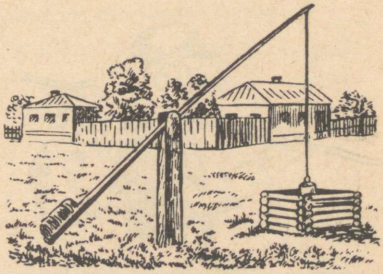
Joon. 134.



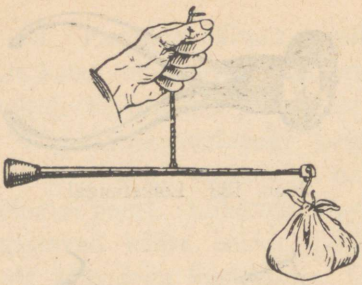
Joon. 135.



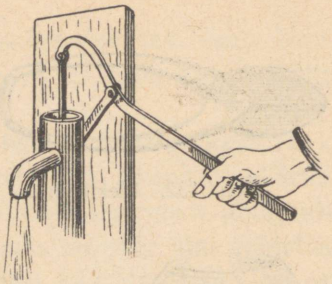
Joon. 136.



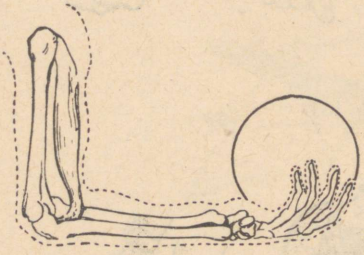
Joon. 137.



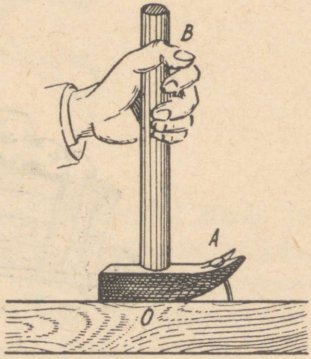
Joon. 138.



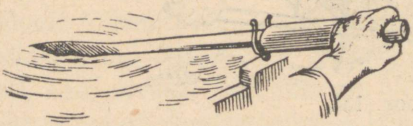
Joon. 139.



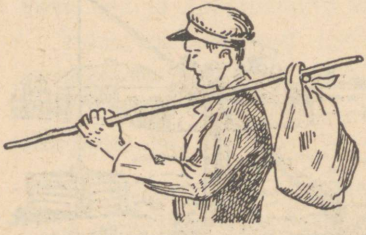
Joon. 140.

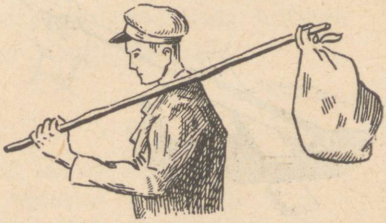


Joon. 141.



Joon. 142.

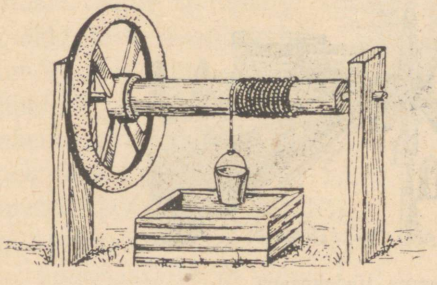




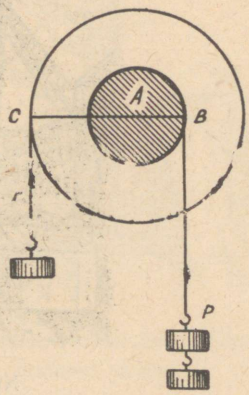
Joon. 143. Poiss kannab kompsu kepiga.
Rida tehnikas ja igapäevases elus kasutatavaid kange.

74. Pöör. Kaevupöör kujutab enesest teljele kinnitatud võlli. Selle võlli külge on seotud nöör, mis võlli pöörlemisel keritakse võllile ja mis tõstab üles kaevu lastud ämbri. Võlli pööramiseks tehakse võlli telje külge vänt või suur ratas (joon. 144), mille keskpunkt ühtib võlli telje keskpunktiga.

Vaatleme selle seadise tegevust, seepärast kujutame ta skemaatiliselt (joon. 145). Punkt A on pöörlemise keskkoht, kaugus AB — võlli raadius, AC — võlli pöörava ratta raadius.



Joon. 144. Pöör.



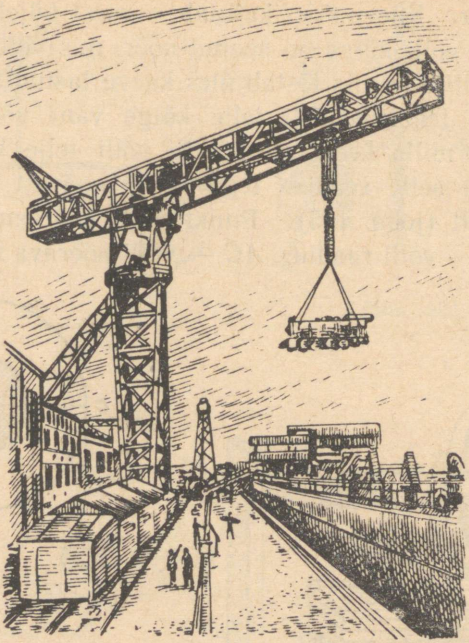
Joon. 145. Pööra skeem.

Jõud P on ämbri kaal ühes veega, jõud Q — pange tõstva inimese jõud. Kui läbi punktide C, A ja B tõmmata sirgjoon, siis saame joonise kangist, mille üheks õlaks on võlli raadius, teiseks õlaks aga ratta raadius; punkt A on toetuspunkt.

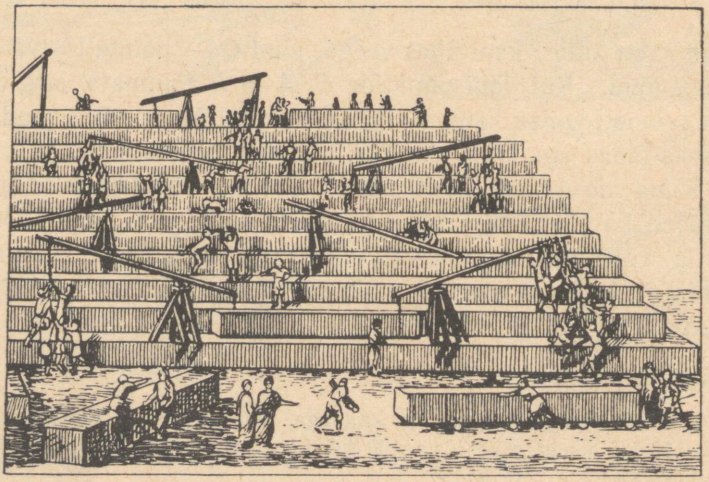
Kuna need raadiused pole võrdsed, siis järelikult pole võrdsed ka jõud, mis rakendatakse punktides C ja B. Mitu korda võlli raadius on väiksem ratta raadiusest, nii palju korda peab olema jõud Q väiksem jõust P, kui võll on tasakaalus.

Harjutus 37.

1. Kalkuleerige välja ning kujutage joonisel pöör, millega rakendades 10 kG jõudu, võib tõsta 150 kG koormust.



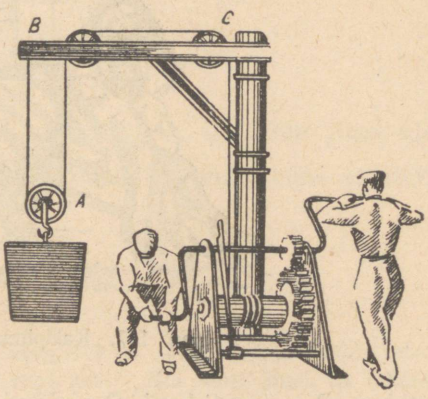
Nüüdisaegne tõstekraana.



Kangide kasutamine vanas Egiptuses.

2. Pööra võlli läbimõõt on 20 cm, vända pikkus on 50 cm. Kui suurt jõupingutust on vaja 12 kG raskuse veepange tõstmiseks?

75. Mehaanika põhireegel. Vaatlesime mõningaid lihtsamaid mehhanisme. Neid mehhanisme võib näha mitmesugustes tööriistades ja masinates, mida kasutatakse igapäevases elus ja tööstuses. Võtame näiteks tõsteseadise, mis on kujutatud joon. 146.



Joon. 146. Vintsi kombinatsioon liikuva ja liikumatu plokiga.

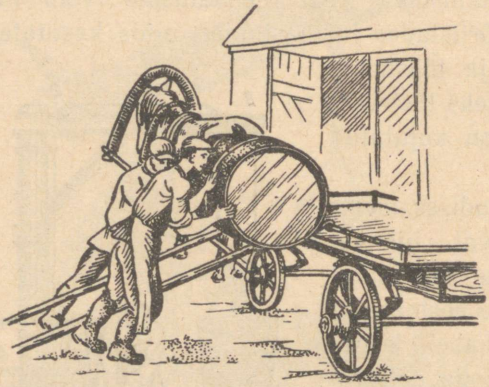
Selles seadises näeme meie tuttavat liikuvat plokki, kahte liikumatut plokki, mille eesmärgiks on muuta kahel korral jõudude suunda; allpool näeme vintsi, mis koosneb kahest pöörast. Esimeseks pööraks on vänt ja hammasratas; teiseks — hammasratas ja võll.

Tõime näitena ühe lihtsama juhu, kus kasutatakse meile tuttavate lihtsamate mehhanismide süsteemi.

Õppides tundma lihtsamaid mehhanisme, nägime, et nende kasutamine annab võimaluse muuta mõjuva jõu suurust ja tema suunda. Kuidas me nende mehhanismide kasutamisel ka muudaksime mõjuva jõu suurust, me täheldame kõikide mehhanismide juures üldist seadust: ***mitu korda meie võidame jõus, niimitu korda kaotame teepikkuses.*** Ükski mehhanism ei anna meile võitu töös. Seda järeldust nimetatakse mehaanika «kuldseks reegliks».

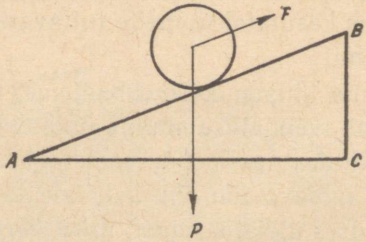
76. Kaldpind. Kaldpind on mehhanism, mida praktikas kasutatakse väga tihti. Joonis 147 näitab ühte tema kasuta-

mise viisi. Selle asemel, et vaati tõsta vankrile, veeretavad töölised teda kaldpalke mööda. Kujutame selle juhu skemaatiliselt (joon. 148). Siin BC on vankri kõrgus, AB — palkide



Joon. 147. Kaldpinna kasutamine.

pikkus, P — vaadi kaal, Q — jõud, millega töölised veeretavad vaati (iga kaldpinda võime alati kujutada skemaatiliselt täisnurkse kolmnurga kujul).



Joon. 148. Kaldpinna skeem.

Tööliste jõupingutuse Q kindlaksmääramiseks kasutame mehaanika kuldset reeglit.

Vaadi tõstmisel kõrgusele BC tehakse töö, mis on võrdne vaadi kaalu P ja kõrguse BC korrutisega, s. o. $P \cdot BC$.

Veeretades vaati aga kaldpalke mööda, töölised sooritavad töö $Q \cdot AB$.

Kuna mehaanika kuldse reegli põhjal ei saa ühegi mehhanismi abil võita töös, siis peavad need kaks tööd — $P \cdot BC$ ja $Q \cdot AB$ — olema võrdsed.

Märgime nende võrdsuse üles:

$$P \cdot BC = Q \cdot AB \text{ ehk } \frac{P}{Q} = \frac{AB}{BC}, \text{ s. o.}$$

kasutades raskuste tõstmiseks kaldpinda, võidame jõus nii mitu korda $\left(\frac{P}{Q}\right)$, kui mitu korda on kaldpinna pikkus suurem kõrgusest $\left(\frac{AB}{BC}\right)$.

Harjutus 38.

1. Liumäe pikkus on 20 m, kõrgus 4 m. Kui suur töö tuleb teha, et vedada sellele mäele 15 kG raskune kelk? Kui suurt jõudu on selleks vaja?

2. Vaat tõstetakse vankrile kaldpinna abil. Vaadi kaal on 100 kG, vankri kõrgus 1,2 m. Kaldplankude pikkus, mida mööda vaati tõstetakse, on 3 m. Määrata jõud, mis on vajalik selleks, et hoida vaati kaldpinnal.

77. Kasutegur. Kasutades töö juures mitmesuguseid mehhanisme, tuleb meil sooritada peale meile vajaliku töö veel teatud hulk kasutut tööd. Selgitame seda näitega.

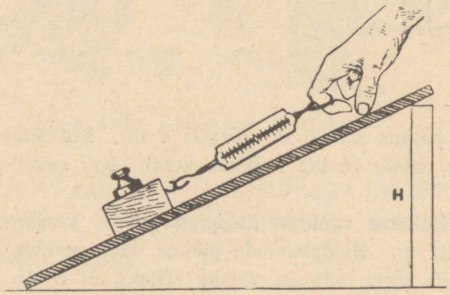
Tööline kannab telliskive maja teisele korrale. Et telliskive oleks mugavam kanda, laob tööline need kandelauale. Telliskivide igakordsel ülesviimisel tuleb töölisel teha ka tööd kandelaua üleskandmiseks ja tal endal tuleb üles tõusta. Mida raskem on kandelaud, seda suurem osa töölise tööst kulub kandelaua tarbetuks üleskandmiseks. Mida kergem on kandelaud, seda rohkem telliskive suudab tööline sama jõupingutuse abil sellega kanda, seda suurem osa töölise tööst läheb telliskivide kandmisel «kasulikuks» tööks. Tööline teeb veelgi rohkem kasulikku tööd, kui telliskivide ülestõstmiseks

kasutada mõnesuguseid mehhanisme, nii et tal endal pole tarvis üles tõusta.

Mullatööline pillub labidaga mulda. Tema töö läheb mitte üksnes kasulikuks tööks mulla ümberasetamisel, vaid ka vältimatuks labida kasutuks tõstmiseks ühes mullaga.

Ülalpool nägime, et iga mehhanismiga tuleb meil sooritada ülearust, kasutut tööd. Missuguse töö me näitena ka võtaksime, leiame, et kasulik töö moodustab alati ainult osa kogu sooritatud tööst.

Arvu, mis näitab, missuguse osa kogu tehtud tööst moodustab kasulik töö, nimetatakse kasuteguriks.



Joon. 149. Laboratoorse töö nr. 7 juurde.

Harilikult väljendatakse kasutegur protsentides. Oletame, et 40 kGm kasuliku töö saamiseks tuli meil teha töö 50 kGm. Kui suur on kasutegur?

Et määrata kasutegurit, on vaja teada saada, missuguse osa moodustab 40 kGm 50-st kilogramm-meetrist. Selleks on 40 kGm vaja jagada 50 kGm. Saame $\frac{40}{50} = 0{,}8$ ehk 80%. Tähendab kasutegur on 80%.

78. Laboratoorne töö nr. 7. Töö eesmärk — määrata kaldpinna kasutegur.

Töövahendid: 1 meetri pikkune ja 15—20 cm laiune hööveldatud laud, umbes 20 cm pikkune alus, puust platvorm haagiga dünamomeetri

kinnitamiseks, mitmesuguseid koormusi kaaluga 0,5 kG, 1 kG, 2 kG, koolidünamomeeter.

Tööjuhend:

Mõõtke kaldpinna pikkus ja kõrgus, ning liigutades ühtlaselt kaldpinda mööda koormusega platvormi, vaadake, kui palju näitab dünamomeeter (joon. 149). Mõõtmiste ning arvestuste tulemus kandke tabelisse.

Jrk. nr.	Tõmbejõud	Kaldpinna pikkus	Tõmbejõu töö	Koormusega platvormi kaal	Kaldpinna kõrgus	Kasulik töö	Kasutegur	Keskmine kasutegur
1.								
2.								
3.								

Tehke mitu katset erinevate koormustega, jättes muutmata kaldpinna pikkuse ja kõrguse. Arvutage välja kasutegur ning võtke selle keskmine väärtus.

79. Energia. Kui keha võib teha tööd, siis öeldakse, et keha evib energiat.

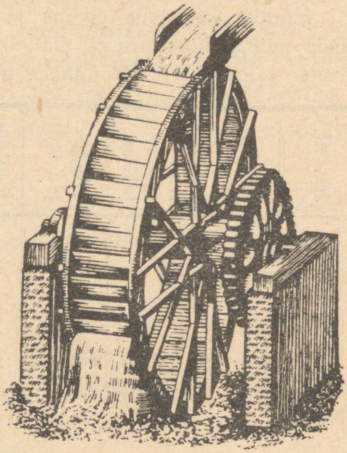
Nii näiteks evib energiat liikuv õhk — tuul. Rõhudes veski tiibadele, võib ta need panna liikuma, ja kuna veski tiivad on ühenduses ülekande-mehhanismi kaudu veskikividega, siis hakkavad liikuma ka veskikivid. Seejuures tehakse tööd. Kahurist väljalennanud mürsk teeb oma lennul tööd, ületades õhutakistust ja põhjustades oma teel purustusi. Järelikult ka temal on energia. Samuti omab energiat auru all teel seisev vedur. Vedades vaguneid teeb ta tööd takistuste ületamisel (hõõrumine, õhutakistus). Täpselt samuti omab töötegemise võimet tammi abil paisutatud vee energia.

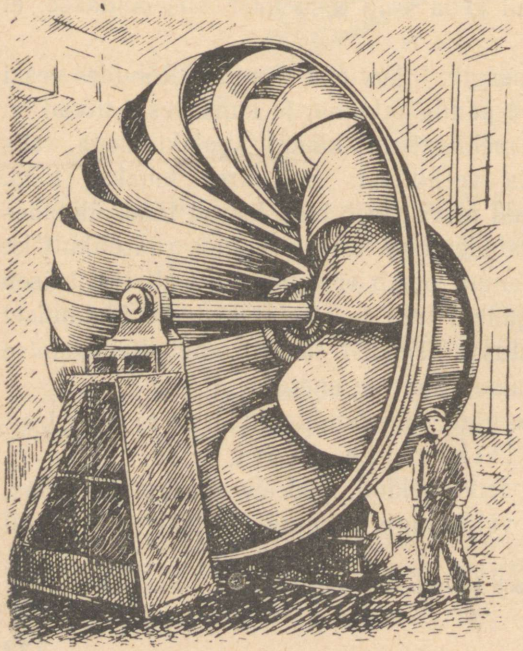
Liikuva keha energiat nimetatakse kineetiliseks[1] energiaks ehk liikumise energiaks.

Vee ja õhu vool, lendav kuul, pöörlev masina hooratas, langev haamer, avast väljatungiv aurujuga — kõik need kehad

[1] Kreekakeelsest sõnast *kinema*, mis tähendab liikumine.







Langev ning voolav vesi omab energiat, mida kasutatakse vesirataste ja turbiinide abil. Joonistel vasakul ja ülal on kujutatud vesirattad võimsusega kuni 100 000 HJ ja turbiin võimsusega kuni 36 000 HJ.

võivad teha tööd, tähendab, kõik nad omavad kineetilist energiat.

Et panna liikuma kella mehhanismi, tõmbame üles kella pommid või keerame üles vedru. Langedes paneb pomm kella mehhanismi liikuma.

Ülestõmmatud pomm võib teha tööd. Tähendab tal on energiat.

Ülestõmmatud pommi energia samuti nagu iga muu maast ülestõstetud koormuse energia, üleskeeratud vedru ja suruõhu energia on potentsiaalse energia näiteiks.

Sõna «potentsiaal» tuleneb sõnast «potents», mis tähendab «võime». Potentsiaalne energia on seesugune energia, mida määratakse kehade olekuga (pomm on üles tõmmatud, vedru on üles keeratud, gaas on kokku surutud jne.) ja mis võib ilmsiks tulla teatud tingimustes.

Ülestõmmatud kellapomm paneb üksnes siis kella mehhanismi liikuma, kui talle antakse võimalus langeda. Üleskeeratud kellavedru paneb kella mehhanismi käima, kui ta seejuures end lahti keerab. Kokkusurutud õhk võib panna liikuma mitmesuguseid kehi, kui ta seejuures paisub.

80. Energia jäävuse ja muundumise seadus. Mäe otsa viidud kelk evib potentsiaalset energiat. Mida kõrgem on mägi, millele kelgu viime, seda suurem on temas peituv potentsiaalne energia. Kui kelk laskub mäest alla, siis väheneb ta potentsiaalne energia, kuid see-eest liigub kelk ikka kiiremini — kasvab tema kineetiline energia.

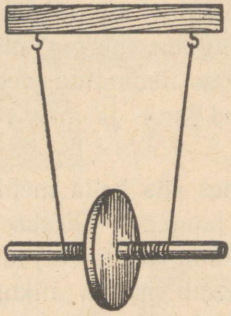
Laskunud mäest alla ja omades kineetilist energiat, jätkab kelk liikumist. Ta jääb seisma, kui kogu kineetiline energia on kulutatud hõõrdumise ja õhutakistuse ületamiseks. Mida suuremalt kõrguselt kelk alla lastakse, seda suurema vahemaa käib ta mäejalal kuni täieliku seismajäämiseni.

Järelikult, mida suurem potentsiaalne energia on kelgul

mäe tipul, seda suurem on tema kineetilise energia tagavara mäe jalal.

Kui liita mäest alla sõitnud kelgu kineetiline energia mäe jalal ja energia, mis kulus liikumise takistuse ületamiseks, siis oleks nende energiate summa täpselt võrdne kelgu potentsiaalse energiaga mäe tipul.

Tõstame marmorplaadi kohal üles teraskuulikese. Oma ülemises asendis omab kuulike teatud potentsiaalse energia tagavara. Mida kõrgemale tõstame kuulikese plaadi kohal, seda suurema energia tagavara anname kuulikesele.



Joon. 150. Maxwelli pendel.

Kui kuulike hakkab langema, siis väheneb tema potentsiaalse energia tagavara, kuid ühes sellega kasvab kuulikese kineetiline energia.

Löögi momendil vastu plaati on kuulikesel ainult kineetiline energia; pärast lööki vastu plaati tõuseb ta üles sama kõrguseni, milliselt alustas langemist [1].

Selle ülestõusmise juures väheneb üha kuulikese kiirus, tema kineetiline energia väheneb, kuid kuulike tõuseb üha kõrgemale — tema potentsiaalne energia suureneb.

Kui kuulike pärast lööki vastu plaati tõuseb endisele kõrgusele, siis tähendab see, et tema kineetiline energia võrdub löögi momendil langemise tõttu ärakulutatud potentsiaalse energiaga.

Samasuguseid nähtusi võime täheldada riista juures, mis on kujutatud joonisel 150 ja mida nimetatakse Maxwelli pendliks. Tõstame üles pendli, kerides niidi teljele. Üles-

[1] Õhutakistuse tõttu kulub osa kuulikese energiat selle takistuse ületamiseks ja tegelikult tõuseb kuulike väiksemale kõrgusele.

tõstetud pendlil on teatud potentsiaalne energia. Kui pendel lahti lasta, siis hakkab ta pööreldes langema. Vastavalt langemisele väheneb pendli potentsiaalne energia ja selle asemel kasvab kineetiline energia. Langemise lõpul on pendlil selline kineetilise energia tagavara, et ta tõuseb endisele kõrgusele. Langeb uuesti ja tõuseb jälle. Selles katses tekkis pendlis potentsiaalse energia arvel kineetiline energia ja kineetilise energia arvel potentsiaalne energia. Potentsiaalse ja kineetilise energia summa jääb aga takistuse puudumisel pendli mistahes asendis muutumatuks. Pendli liikumise takistuse olemasolu korral kulutatakse ta energia järk-järgult takistuse ületamiseks ja pendel jääb lõpuks seisma. Kuid see energia, mis oli pendlil katse algul, nagu näitab selle nähtuse hoolikas uurimine, ei kadunud, vaid muutus teisteks, keerukamaiks energiavormideks, millega tutvume füüsika kursuse edasisel õppimisel.

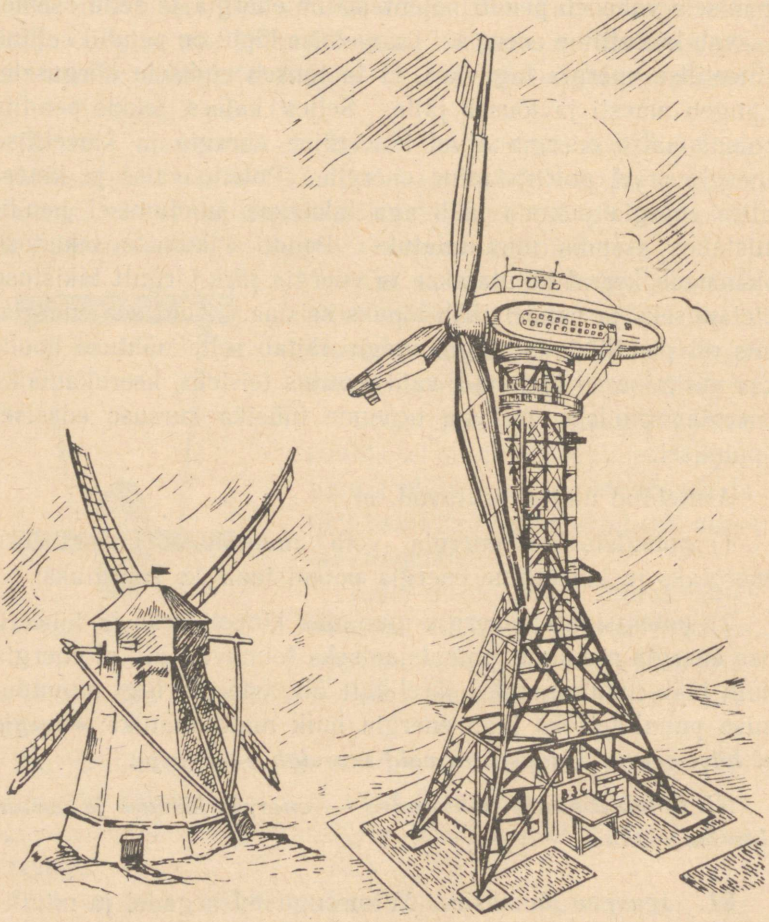
Aruteldud näited osutavad, et:

1) potentsiaalne energia võib muunduda kineetiliseks energiaks ja kineetiline energia potentsiaalseks energiaks;

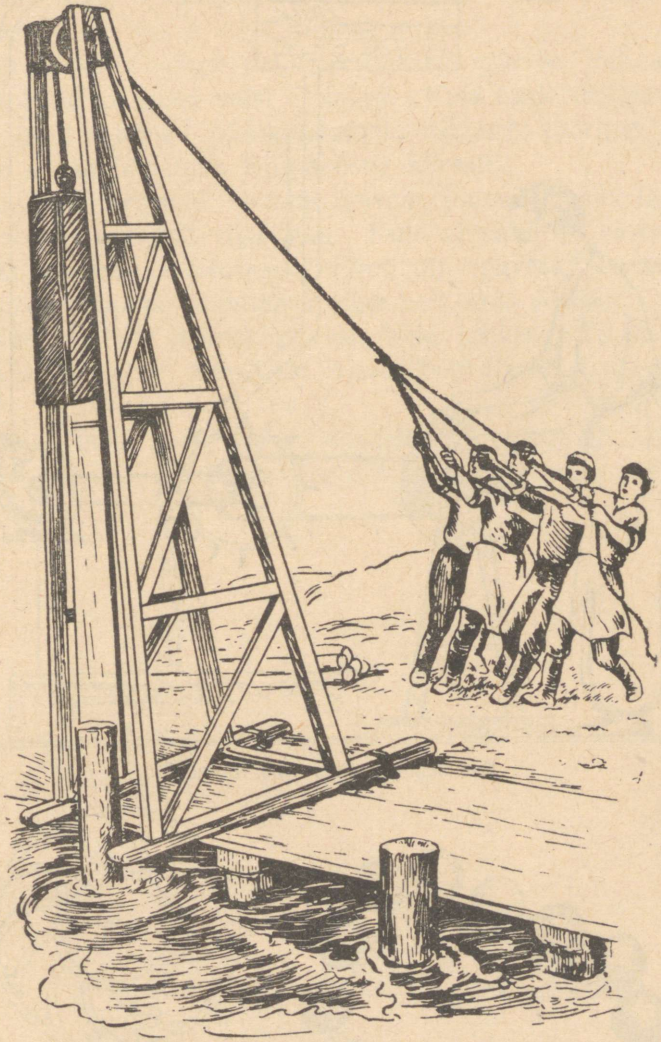
2) potentsiaalse energia muundus kineetiliseks ja kineetilise energia muundus potentsiaalseks toimuvad nii, et energia hulk jääb muutumatuks, järelikult ühe energia liigi muundumise puhul teiseks jääb energia hulk muutumatuks: ***energia ei hävi ega teki uuesti, ta vaid muudab oma kuju.***

Nii kõlab looduse põhiseadus — energia jäävuse ja muundumise seadus.

81. Igavene jõumasin. Mitmesugustel aegadel ja mitmesugustes maades oli leidureid, kes püüdsid ehitada «igavest jõumasinat» — masinat, mis olles kunagi käima pandud, teeks tööd ja jätkaks liikumist iseenesest kui just mitte «igavesti», siis vähemalt seni, kui masin ära kulub, ammutamata seejuures kuskilt energiat.

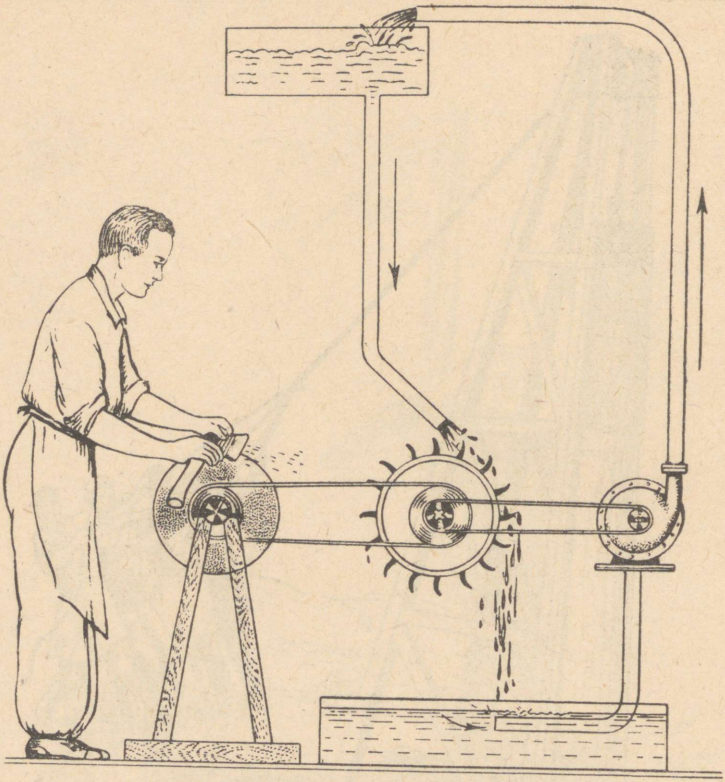


Tuuleveski ja nüüdisaegne tuulejõuseadeldis BƏC.

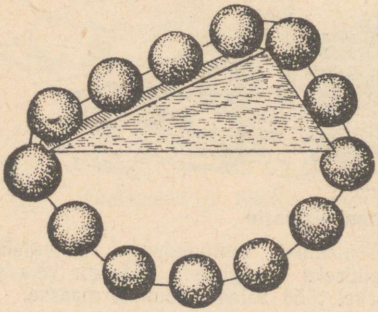


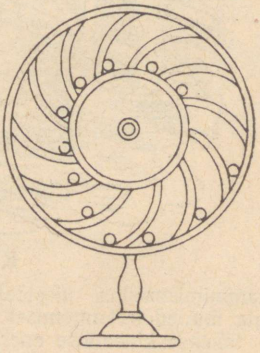
Käsirammimismasin.

Käsirammimismasina ülestõstetud malmist rammimisnuia potentsiaalne energia muundub langemisel kineetiliseks energiaks. Löögiga vaia pihta tehakse kineetilise energia arvel tööd vaiade löömisel maasse.



Kas selline seadis võib töötada?





2 igavese jõumasina projekti.

«Igavest jõumasinat» nimetatakse ladina keeles, milles varemalt kõik teadlased kirjutasid oma tööd, *perpetuum mobile.*

Mõeldi välja väga palju keerukaid igavese jõumasina mehhanisme, paljusid neist ehitatigi. Kuid ükski mehhanism mitte ainult ei teinud tööd kulutamata seejuures energiat, vaid temale antud liikumine lõppes üsna kiiresti.

Kui oleks võimalik ehitada igavene jõumasin, siis tähendaks see, et energiat võib luua. Kuid viimane on vastuolus energia jäävuse seadusega. Järelikult igavese jõumasina ehitamise võimatus kinnitab veelkordselt seda seadust.

Ei saa ehitada jõumasinat, mis teeks rohkem tööd, kui on kulutatud energiat. Seepärast ei saa ühegi jõumasinaga võita töös.

Niisiis, meie poolt varem vaadeldud «mehaanika kuldne seadus» tuleneb vahetult energia muundumise ning jäävuse seadusest.

VI peatükk.

Algteadmisi häälest.

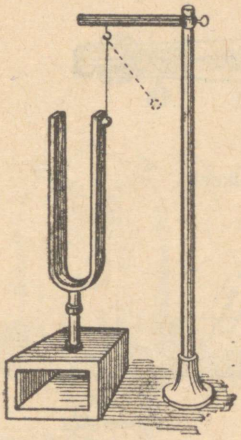
82. Hääle tekkimine. Hääleks nimetame selliseid füüsilisi nähtusi, mida tajume oma kuulmisorgani abil. Kui helisevale helihargile lähendada niidi külge kinnitatud teraskuulike, siis võib kuulikese pillutamise järgi helihargi poolt täheldada, et helihargi harud võnguvad (joon. 151). Niipea kui helihargi harud lakkavad võnkumast (kuulike lakkab hüplemast), lõpeb ka helihargi helisemine. Ka helisev klaas võngub (joon. 152).

Et pillikeel hakkaks helisema, on teda vaja panna värisema, võnkuma. Meie saavutame selle, kas tõmmates poognaga mööda keelt või lüües teda millegagi. Vaatleme tähelepanelikult värisevat keelt: ta on keskelt jämedamaks muutunud ja tema piirjooned on vähem selged. Keele kuju on muutunud seepärast, et ta võngub kahe äärmise asendi vahel (joon. 153). Keele võnked on niivõrd kiired, et meie ei saa jälgida ta liikumist. Kui helisevale keelele lähendada pabeririba otsake, siis hakkab ribake keele tõugetest hüplema. Kuni võngub keel, kuuleme häält; peatame keele, lõpeb ka hääl.

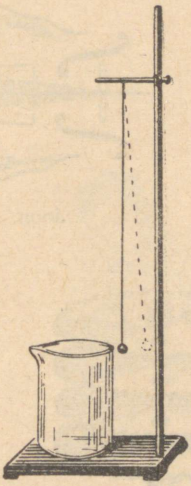
Asetame käe rääkimise ajal kõrile ja me avastame võnkeid, mis ilmnevad ühes meie häälega ja lõpevad, kui meie vaikime.

Vaatlused ja katsed näitavad meile, et hääle-allikaks on kõigil juhtudel võnkuvad materiaalsed kehad: inimeste ja loomade hääleorganid, pasunad, pillikeeled, masinate osad jne.

83. Tooni kõrgus. Lööme klaveri kahele klahvile või paneme helisema kitarri kaks erinevat keelt — siis saame erinevad helid: üks on madalam, teine kõrgem. Mehe hääl toob kuuldavale madalamaid helisid kui naise hääle helid, bass on tenorist madalam, sopran aldist kõrgem. Helisid eristatakse tooni kõrguse järgi.



Joon. 151. Kuulikese tagasipõrkumine helisevalt kammertoonilt.

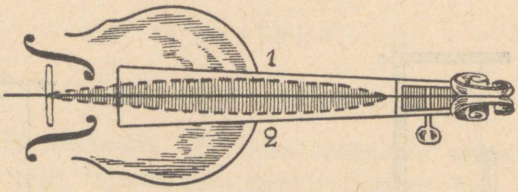


Joon. 152. Kuulikese tagasipõrkumine helisevalt klaasilt.

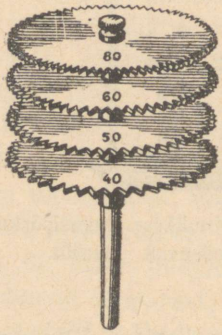
Kinnitame naela külge, mis on löödud mingisse liikumatusse alusesse, peenikese vask- või terastraadi otsa. Pingutades kergelt traadi vaba otsa, paneme ta võnkuma. Traadi võnkumine on silmaga nähtav, kuid häält ei kuule. Pingutades traati järk-järgult tugevamini, märkame, et võnkumine muutub sagedamaks ja traat hakkab helisema. Mida rohkem traati pingutame, seda tihedamaks silmanähtavalt muutuvad võnked ja seda «kõrgem» on heli. Võtame teljel pöörleva hammasratta (joon. 154). Paneme ta pöörlema ja puudutame hambakesi mingi õhukese plaadikesega (näiteks tihedast kar-

tongist, joon. 155). Kui plaadikesest möödub hambake, kaldub plaadike kõrvale, kui möödub sälk, sirgub plaadike. Lõpptulemusena on plaadike pandud võnkuma.

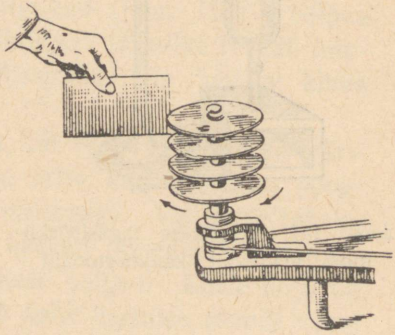
Mida kiiremini pöörame ratast, seda sagedamad on plaadikese võnkumised ja seda kõrgem tekitatud toon.



Joon. 153. Helisev viiulikeel.



Joon. 154.



Joon. 155.

Võngete arvu 1 sekundis nimetatakse võnke-sageduseks.

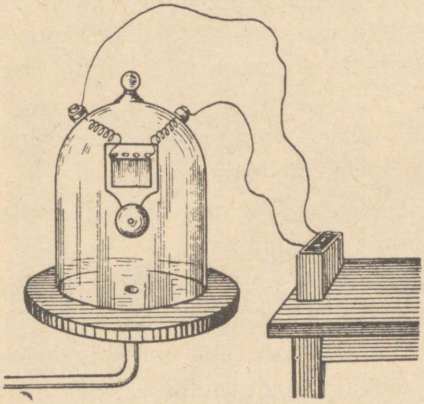
Meie katsed näitavad, et *tooni kõrgus oleneb hääleallika võnkesagedusest.* Mida suurem on võnkesagedus, seda kõrgem on toon.

Madalatel ja kõrgetel toonidel on piirid. Enamik inimesi kuuleb madalaid hääli alates 16—30 võnkest sekundis. Kõrgeid hääli aga kuuleme meie 30 000—40 000 võnkeni sekundis.

Inimese hääle toonide piirid kõiguvad 64 (madala bassi toon) ja 1300 (soprani ülemine toon) võnke vahel sekundis.

Klaveri madalaimal noodil («la») on 27,5 võnget, kõrgeimal («do») aga on 4096 võnget.

84. Hääle levimine. Hääl levib helisevalt kehalt kõrvani harilikult õhu kaudu. Kas on häält kuulda, kui heliseva keha ja kõrva vahel pole õhku?



Joon. 156. Elekterkõlisti õhupumba kupli all.



Joon. 157. Hääle levimine nööri mööda.

Asetame õhupumba kupli alla elekterkõlisti ja paneme ta helisema. Sel määral, kuidas kupli alt õhku välja pumbatakse, muutub hääl ikka nõrgemaks ja nõrgemaks ja kaob lõpuks peaaegu täiesti. Vastupidi, kui laseme kupli alla õhku, tugevneb kõlisti hääl (joon. 156).

Kuid häält juhib mitte üksnes õhk. Paneme heliseva helihargi haru vastu ühte laua otsa, kõrva aga vastu teist laua otsa, siis kuuleme läbi laua väga selgesti helihargi häält. Isegi nii tasane hääl nagu kella tiksumine on kuulda, kui kell asub laua ühel otsal ja laua teise otsa vastu panna kõrv.

Seome supilusika peenikese nööri keskkohta, nööriotsad asetame kõrvadesse ja lööme lusikaga vastu lauda. Lusika võnkumine andub kõrvale edasi nööri mööda ja meie kuuleme lusika tugevdatud helinat.

Kõigil on hästi teada, et maad mööda, eriti aga raudteerööpaid mööda kanduvad hääled kauge maa taha. Surudes kõrva vastu maad või rööbast, võime kuulda kaugelt tuleva rongi hääli või galoppi sõitva hobuse kapjade plaginat.

Lastes laevalt vette erilised kuuldetorud, võib vees kuulda allveelaeva mootori müra või teise laeva kruvi tööd, aga ka võtta vastu majaka veealuse kella signaale udu puhul. Neil juhtudel levib hääl vees.

Vedelikud juhivad häält hästi. Kalad kuulevad kaldalt häält ja samme, see on kaluritel hästi teada.

Niisiis levib hääl tahkeis, vedelais ja gaasilistes kehades, kuid ei saa levida tühjas ruumis (vaakumis).

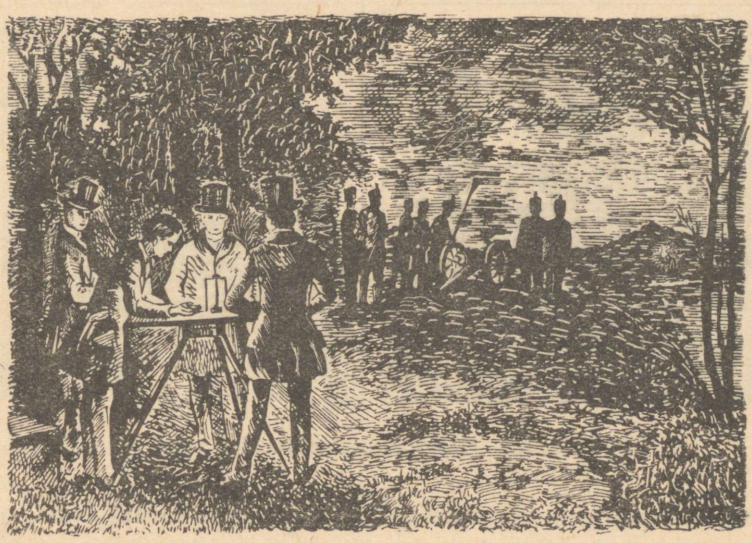
Katsed näitavad, et mitmesugused tahked kehad juhivad häält erinevalt. Pehmed ja urbsed kehad on halvad hääle juhid. Kui taskukell on rõivaste taskus, siis on ta ümbritsetud pehme riidega ja meie ei kuule ta tiksumist. Et kaitsta mingit ruumi kõrvaliste häälte sissetungimise vastu, kaetakse seinad, põrand ja lagi häält mitteläbilaskva materjali kihiga (vilt, vaibad, pressitud kork, urbsed kivid, seatina). Hääl, jõudnud selliste kihtideni, kustub kiiresti.

Mida suurem elastsus on keskkonnal, seda paremini levib temas hääl.

85. Hääle levimise kiirus. Lihtsad vaatlused näitavad, et hääl levib keskkonnas teatud kiirusega. Kui vaatame püssilaskmist kaugelt, siis näeme algul pahvatust ja tuld, alles teatud aja pärast kuuleme pauku. Pahvatus tekib samal ajal, kui tekib esimene hääle võnge. Mõõtnud ajavahemiku (t sekundit) hääle tekkimise (pahvatuse ilmumise moment) ja momendi vahel, millal hääl jõuab kõrvani, ja teades kaugust

(s meetrit) meist kuni hääleallikani, võime kergesti määrata hääle levimise kiiruse ($v = \frac{s}{t}$ m/sek) (joon. 158). Täpsed mõõtmised näitavad, et hääle kiirus on õhus 0° ja normaalse õhurõhu puhul 332 m/sek.

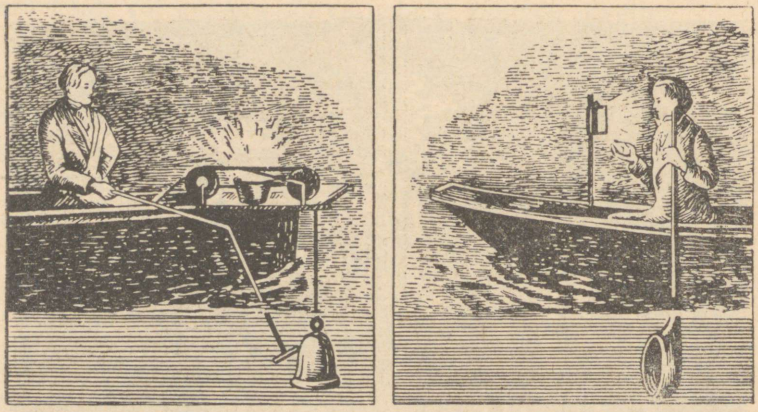
Katse hääle kiiruse määramiseks vees tehti esmakordselt 1827. aastal Genfi järvel (joon. 159). Üks vaatlejaid laskis



Joon. 158. Vanaaegne gravüür, mis kujutab hääle levimise kiiruse määramist õhus.

oma paadist vette kella, pani selle vee all helisema ja tekitas paadis samaaegselt püssirohu pahvatuse. Teine vaatleja, kelleni vahemaa oli täpselt mõõdetud, nägi teises punktis algul püssirohu pahvatust, alles siis kuulis läbi vettelastud kuuldetoru kella helinat. Mõlemad ajamomendid märkis ta ära sekundimõõtjaga. Pärast arvutati hääle kiirust samuti, nagu seda tehti hääle kiiruse määramisel õhus. Selgus, et hääle kiirus vees on 1450 m/sek.

Hääle kiiruse määramiseks tahketes kehades võib kasutada pikki vesivarustuse torusid. Torustiku ühes otsas tekitatakse hääl tugeva löögiga. Hääl levib osalt torustikus oleva õhu kaudu, osalt aga toru ennast mööda. Torustiku teises otsas kuuleb vaatleja kahte häält: algul saabub hääl toru mööda, siis õhu kaudu. Teades ajavahemikku mõlema hääle



Joon. 159. Hääle kiiruse määramine vees.

saabumise vahel, torustiku pikkust ja hääle kiirust õhus, on kerge arvutada hääle levimise kiirust torustikus. Seesuguste vaatluste järgi leiti, et hääle kiirus malmis on 10,5 korda suurem kui õhus.

Hääle kiirus mitmesugustes keskkondades:

Õhk	(0°)	332 m/sek.
Vesi	. . . . .	1450 „
Raud	. . . . .	4900 „

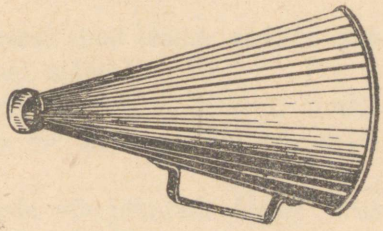
Hääle kiirus sõltub keskkonna omadustest, kus ta levib, kuid ei sõltu hääle enda omadustest. Antud keskkonnas levivad kõik hääled ühe ja samasuguse kiirusega.

Elastsed keskkonnad juhivad häält paremini ja hääle kiirus on neis suurem kui väikese elastsusega kehades.

86. Hääle peegeldumine. Kaja. Kui hääl kohtab oma teel mingit takistust (mäed, mets, sein jne.), siis peegeldub ta ja meie kuuleme peegeldunud häält, mida nimetatakse kajaks.

Mitte iga häälepeegelduse juures pole kaja kuulda. Selleks peab olema kaugus meie ja peegeldava takistuse vahel küllalt suur.

Kui peegeldav sein on meist, oletame 170 m kaugusel, siis kuuleme kaja sekundi pärast. Kui aga sein on 340 m kaugusel, siis on kaja kuulda 2 sekundi pärast. Kui hääl peegeldub lähedal olevailt takistustelt, meie kaja ei kuule, sest siis sulab kaja esialgse häälega ühte ja tugevdab teda. Seepärast tunduvad meile hääled siseruumis tugevamaina kui vabas õhus.



Joon. 160. Ruupor.

Ruupori abil (joon. 160) võib häälele anda teatud suuna. Seda kasutatakse näiteks käskluste andmisel kauge maa taha.

87. Hääle levimine õhus. Mis toimub siis õhus hääle levimisel? Teame, et õhk on elastne keha. Kui õhk kokku suruda ja siis rõhumine lõpetada, võtab õhk uuesti oma esialgse ruumala. Helisev keha paneb võnkuma õhuosakesed, mis temaga vahetult kokku puutuvad. Liikumapandud õhuosakesed suruvad naabruses olevaile õhuosakestele ja panevad neid samuti võnkuma nagu helisev kehagi. Need võnked tulevad järk-järgult meie kõrvani, panevad võnkuma kuulmenaha ja meie kuuleme häält.

Samal viisil kandub hääl edasi elastsete, tahkete ja vedelate kehade kaudu.

Harjutus 39.

1. Missugusel kaugusel tuleb olla peegeldavast seinast, et kuulda kaja 3 sek. järel pärast hääle tekkimist?

2. Miks kehakultuuri päevadel, millest võtab osa väga palju kehakultuurlaste rühmi, antakse käsklusi mitte häälega, vaid nähtavate signaalidega.

3. Kui kaugel toimus välgulöömine, kui kuulsime müristamist 5 sek. pärast välgu löömist?

4. Kui suur on mere sügavus, kui selle sügavuse uurimisel laeva veealuse kella hääl peale peegeldumist mere põhjas jõudis merepinnale 2,5 sek. pärast?

SOOJUS.

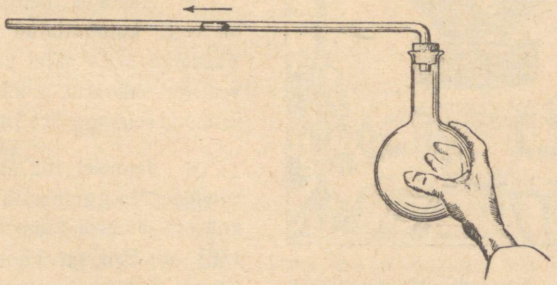
VII peatükk.

Kehade soojuspaisumine.

88. **Sissejuhatus.** Igapäevasest elust teame, et kehi võib soojendada suuremal või vähemal määral.

Aistmise teel eraldame soojad kehad külmadest; muude võtete abil (§ 92, 93 ja 94) võime me täpsemalt kindlaks määrata kehade soojusastet.

Kuid mis tähendab soojendada või jahutada keha? Mis on soojus? Need on rasked küsimused. Et vastata neile küsimustele, on vaja õppida tundma paljusid soojusnähtusi ning uurida rida aineomadusi. Katsed näitavad, et peaaegu kõik kehade omadused muutuvad soojendamisel ühel või teisel määral. Muutuvad kehade mõõted, tihedus, värvus; kehad

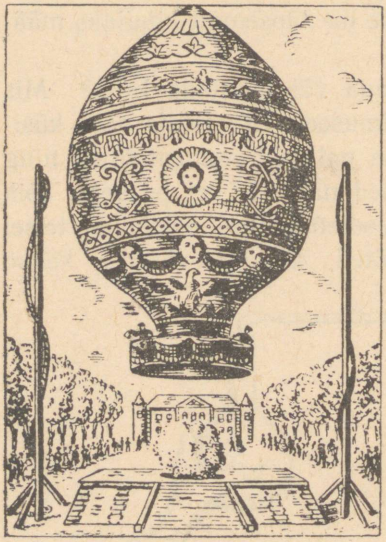


Joon. 161. Õhu paisumine keedupudelis.

võivad soojenemisel tahkest olekust minna üle vedelasse olekusse, vedelast olekust aga gaasilisse olekusse jne. Mõningaid neist nähtusist me vaatlemegi.

89. Õhu paisumine soojenemisel. Võtame korgiga suletud keedupudeli, mille korki läbib täisnurkselt painutatud klaastoru. Torusse on aetud värvitud veetilk.

Soojendame keedupudelit kätega (joon. 161). Värvitud veetilk nihkub vasakule. Tähendab, õhu ruumala soojenedes suurenes. Kui õhku keedupudelis jahutada, nihkub veetilk torus paremale, näidates, et õhu ruumala jahtudes väheneb. Me saaksime samad tulemused, kui keedupudelis oleks mitte õhk, vaid mingi muu gaas. Järelikult soojenedes gaasid paisuvad, jahtudes aga tõmbuvad kokku.



Joon. 162. Vendade Montgolfier'de õhupalli tõusmine.

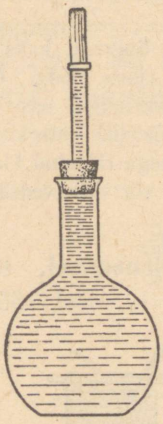
Harjutus 40.

1. Valage klaasi vett. Võtke 0,25-liitrine pudel ning jahutage teda tublisti. Asetage pudel kaelapidi vette ja hoidke pudelit mõni minut pihkude vahel. Tehke katsest ja saadud tulemustest joonis ja andke vastav seletus.

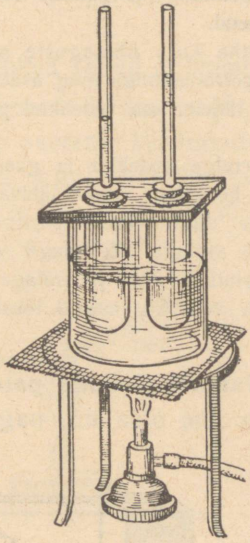
2. Asetage taldrikule, millel on vett, kummutatud palav klaas. Vaadelge seda mõni aeg, jälgides veetaset taldrikul ja klaasis. Tehke joonis ja seletage ära katse tulemus.

3. Joonisel 162 on kujutatud vendade Montgolfier'de (loe: mongolfjee) õhupalli tõusmine 21. nov. 1783. a. Pall on täidetud palava õhuga. Seletage, mispärast palava õhuga täidetud pall tõuseb üles.

90. Vedelikkude paisumine soojenemisel. Täidame veega või mõne muu vedelikuga keedupudeli ja suleme ta korgiga, mida läbib klaastoru (joon. 163). Märgime kummirõngakesega vedeliku taseme torus. Soojendades keedupudelit märkame, et vedeliku tase torus tõuseb. Keedupudeli jahtudes vedeliku tase langeb. Tähendab, vedelikud paisuvad soojenedes nagu gaasidki, jahtudes aga tõmbuvad kokku.



Joon. 163. Vedeliku paisumine.



Joon. 164. Vedeliku ja gaasi paisumise võrdlus.

Harjutus 41.

1. Võtke kitsa kaelaga suur rohupudel ja valage sellesse kuni kaela keskkohani petrooleumi. Märkige ära petrooleumi tase. Asetage pudel sooja vette ja märkige 5—10 minuti pärast ära petrooleumi uus tase.

Seejärel asetage pudel külma vette ja märkige jällegi ära petrooleumi tase.

Kirjutage lühike aruanne, varustades seda joonisega, millel petrooleumi tasemed on ära näidatud.

2. Kas võib kauplusest petrooleumi ostes nõu täis valada, kui seda tuleb kodus hoida soojas ruumis?

91. Laboratoorne töö nr. 8. Töö eesmärk — **võrrelda mitmesuguste vedelikkude ja gaaside soojuspaisumist.**

Töö juhend.

1. Täitke kaks ühesuguste mõõdetega katseklaasi ühekõrguselt üks vee, teine petrooleumiga ning asetage nad kuuma vee nõusse.

Pange tähele, kas vedelikud paisuvad ühesugusel soojendamisel ühteviisi.

2. Võrrelge vedeliku ja gaasi paisumist. Sulgege kaks ühesugust katseklaasi korkidega, mida läbivad klaastorud (joon. 164). Üks katseklaas täitke nagu varem piirituse või petrooleumiga, teise katseklaasi torusse aga asetage tilk mingit vedelikku. Mõlemad katseklaasid kinnitage koos statiivi külge ja asetage nad sooja veega täidetud klaasi. Tilga liikumise ja vedeliku taseme tõusu järgi saab võrrelda vedeliku ja õhu paisumist.

92. Tahkete kehade paisumine soojenemisel. Kinnitame raudvarva ühe otsa nii, nagu näidatud joonisel 165. Varva



Joon. 165. Varva paisumine soojenemisel.

teise otsa paneme õlekõrrest läbi torgatud nõelale. Varva soojenemisel pöörab end nõel ühes õlekõrrekesega. Nõela pööramise põhjus seisab selles, et varb soojenemisel paisub, mistõttu ta vaba ots nihkub edasi, pöörates ka nõela.

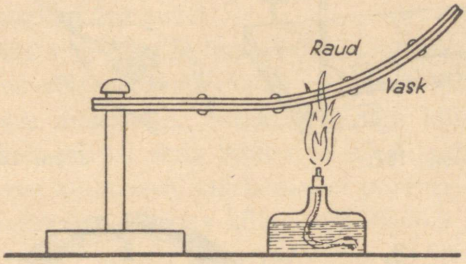
Sama nähtust paneme tähele, kui raudvarva asemel võtame mistahes muust tahkest ainest varva. Järelikult tahked kehad paisuvad soojenemisel samuti nagu gaasid ja vedelikudki.

Soojendame kokkuneeditud vask- ja raudplaadi riba.

Soojenemisel kooldub riba, mis on kinnitatud statiivi külge, vasest poolega allapoole, nii nagu näitab joonis 166. Riba kooldub nii seepärast, et ühesugusel soojenemisel paisub vaskplaadike rohkem kui raudplaadike. Jahtumisel sunnib vaskplaadike, tõmbudes kokku rohkem kui raudne, koolduma riba vastupidises suunas.

Järelikult erinevaist aineist tahked kehad ei paisu ühteviisi.

Võtame riista, mida kasutasime vedeliku soojuspaisumise tundmaõppimiseks (joon. 163), ja asetame keedupudeli kiiresti palavasse vette. Me märkame, et algul vedeliku tase keedupudelis veidi langeb ja hakkab siis tõusma. See tuleb sellest,



Joon. 166. Bimetallplaadike.

et keedupudel algul soojenes ning paisus ja seejärel hakkas soojenema keedupudelis olev vedelik. Vedeliku tõusmine aga üle esialgse taseme on seletatav sellega, et vedelik paisub rohkem kui tahke keha — klaas.

Vaadelnud soojenemise mõju tahketele, vedelatele ja gaasilistele kehadele, tuleme järeldusele:

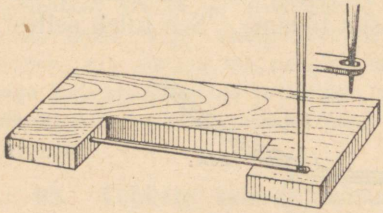
Kõik kehad soojenemisel paisuvad, jahtumisel aga tõmbuvad kokku.

Ühesugusel soojenemisel ühed kehad paisuvad rohkem, teised vähem.

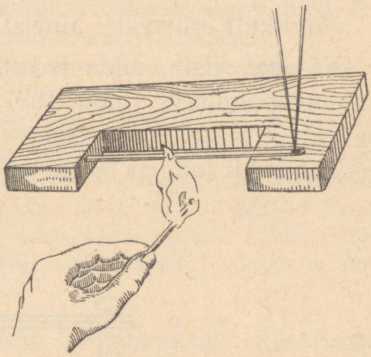
Harjutus 42.

1. Valmistage tahkete kehade soojuspaisumise jälgimiseks järgmine riist:

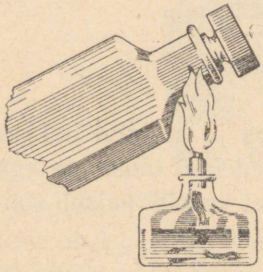
Võtke väike lauake mõõdetega 10 cm × 5 cm × 2 cm ja tehke ta ühesse ääresse väljalõige (joon. 167). Lauakese ühte väljaulatavasse ossa torgake suur sukanõel nii, et ta teine ots asetseks teisel väljaulatuval osal



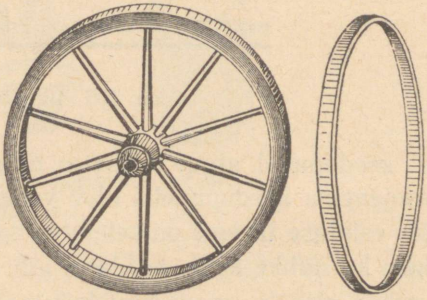
Joon. 167.



Joon. 168.



Joon. 169.



Joon. 170. Ratas ja raudrehv.

silmaga ülespoole. Asetage vertikaalselt läbi sukanõela silma peenike nõel ja torgake sellega kõrvuti väljaspool silma vertikaalselt teine nõel. Soojendage suurt nõela ühe-kahe (kokkupandud) tikuga ja jälgige silma läbiva vertikaalse nõela liikumist (joon. 168).

Mõtelge järele, kuidas ehitada mistahes muu konstruktsiooniga riist, ainult et ta hakkaks töötama tingimata juba tikuga soojendamisest.

2. Et võtta pudelilt tugevasti kinnijäänud klaaskorki, on vaja pudeli kaela väljastpoolt tulel soojendada (joon. 169). Mispärast võib see soojendamine korgi äravõtmist hõlbustada?

3. Mispärast soojendab sepp tugevasti raudrehvi, enne kui ta selle paneb ratta põiale?

4. Tooge näiteid kehade paisumisest soojenemisel ja nende kokkutõmbumisest jahtumisel.

93. Temperatuur. Katsudes käega kütmata ahju, märkame, et ahi on külm. Kui hakkame ahju kütma, siis soojeneb see: muutub külmast soojaks ja pärast palavaks. Sõnadega külm, soe, palav iseloomustame soojuse mitmesugust astet, kehade erinevat temperatuuri. Palava ahju temperatuur on kõrgem kui külma ahju temperatuur. Talvel on õhu temperatuur õues madalam kui suvel.

Sageli otsustame kehade temperatuuri üle nahatunde järgi. Kuid seejuures võib kergesti eksida. Paneme näiteks parema käe palava vee anumasse, vasaku käe aga külma vee anumasse. Pannes pärast seda mõlemad käed korraga kolmandasse, sooja vee anumasse, märkame, et parema käe tundmist mööda on vesi selles anumas külm, aga vasaku käe tundmist mööda näib sama vesi olevat palav.

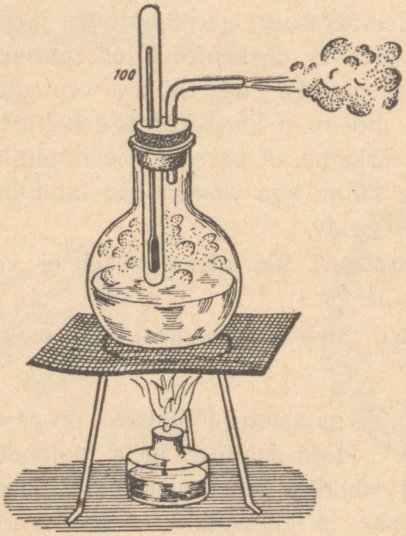
Tähendab, kehade temperatuuri üle otsustamisel ei või nahatunnet alati usaldada.

Keha tõelise temperatuuri määramiseks kasutatakse eririistu — termomeetreid.

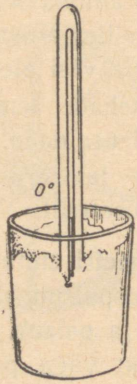
94. Termomeetri ehitus. Termomeetri töötamine on rajatud kehade soojuspaisumisele. Mida enam on keha soojendatud, seda enam ta paisub. Termomeeter valmistatakse klaastorust, milles on väga peenike ja kogu pikkuses ühesugune kanal. Sellise toru üks ots ühendatakse kera- või silindrikujulise reservuaariga. Reservuaar ja osa torust täidetakse elavhõbedaga. Siis soojendatakse reservuaari üle keeva vee temperatuuri niipalju, et elavhõbe hakkab paisudes toru ülemisest lahtisest otsast üle voolama; seejärel joodetakse toru ots kinni.

Kui toru ja selles olev elavhõbe jahtuvad, siis tõmbub elavhõbe rohkem kokku kui toru ja langeb toru alumisse ossa. Elavhõbeda peal tekib torus õhutühi ruum.

Sel viisil valmistatud riist asetatakse keeva vee aurusse (joon. 171). Seejuures omandab termomeeter auru temperatuuri. Elavhõbe tõuseb torus teatud kõrgusele, mis märgitakse kriipsukesega torule või mõnikord lauakesele, mille külge kinnitatakse riist. Selle kriipsukese juurde pannakse arv 100. Seejärel asetatakse termomeeter sulavasse jäässe, kus ta saab jää temperatuuri (joon. 172), elavhõbe jahtub torus ja langeb teatud tasemeni,



Joon. 171. Vee keemispunkti (100°) kindlaksmääramine.



Joon. 172. Jää sulamispunkti (0°) kindlaksmääramine.



Joon. 173. Laboratooriumi termomeeter.

mis märgitakse samuti kriipsukesega ja tähistatakse arvuga 0.

Vahemaa 0-st kuni 100-ni jagatakse 100-ks võrdseks osaks, mida nimetatakse kraadideks [1], ja nende jaotiste märkimist jätkatakse ülalpool 100 ja allpool 0. Punkte 0 ja 100 nimetatakse termomeetri põhipunktideks. Temperatuuri 0^0 nimetatakse jää sulamispunktiks, 100^0 aga vee keemispunktiks.

Temperatuure alla 0^0 kirjutatakse ja loetakse lisades märgi — või sõna «miinus». Näiteks -15^0 loetakse: «miinus 15^0» ehk «15^0 alla nulli». Kirjeldatud viisil valmistatud skaalat nimetatakse sajakraadiliseks skaalaks, sellise skaalaga termomeetreid aga Celsiuse termomeetreiks (joon. 173), teadlase nime järgi, kes tegi termomeetri ehitamise alal palju tööd. Kui tahetakse näidata, et temperatuuri on mõõdetud sajakraadilise skaala järgi, asetatakse kraadide arvu järele ladina täht C, näiteks 20^0 C. Edaspidi kasutame ainult seda temperatuuride skaalat.

Termomeetrid, mida kasutatakse mitmesuguseiks otstarbeiks, omavad erinevalt ehitatud skaalasid.

Väga madalate temperatuuride mõõtmiseks ei saa kasutada elavhõbedat, sest elavhõbe külmub -39^0 temperatuuril. Elavhõbe asendatakse mingi muu vedelikuga, millel on madalam külmumistemperatuur, näiteks piiritusega, mille külmumistemperatuur on -114^0.

Temperatuuri mõõtmine termomeetriga põhjeneb sellel, et termomeeter omandab mõõdetava keha temperatuuri.

Vedeliku temperatuuri mõõtmisel ei tule temperatuuri vaatamiseks termomeetrit vedelikust välja võtta, vaid tuleb vaadata nii, et termomeeter jääb vedelikusse.

Mõõtes toa õhu temperatuuri, ei tohi me termomeetrit riputada kütteradiaatori või palava ahju lähedusse.

---

[1] Ladinakeelne sõna *gradus* tähendab s a m m.

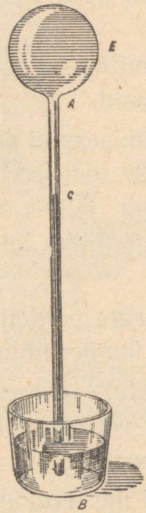
Välisõhu temperatuuri mõõtmiseks asetatakse termomeeter varjulisse kohta, et vältida selle vahetut soojenemist päikesekiirtest.

Harjutus 43.

1. On antud kaks termomeetrit, mille reservuaarides on võrdne hulk elavhõbedat, kuid nende torude sisemised diameetrid on erinevad.

Kas elavhõbe tõuseb ühesugusele tasemele nii selles kui teises termomeetris, kui need mõlemad asetada keeva vee aurusse?

2. 1825. aasta ülikooliõpikus, mis on kirjutatud professor Ivan Dvigubski poolt, on antud XVI sajandi termomeetri kirjeldus (joon. 174).



Joon. 174. XVI sajandi termomeeter.



Joon. 175. Meditsiiniline termomeeter.

Väikese läbimõõduga klaastoru *A*, mille tipus on kuulike *E*, on asetatud lahtist otsa pidi värvitud vedeliku anumasse. Kuulikese *AE* soojendamisega aetakse sellest osa õhku välja (mispärast?).

Soojendamise lõpetamisel tõuseb värvitud vedelik toru mööda üles (mispärast?) näiteks kuni *C*-ni.

Kuidas töötab selline termomeeter? Millist mõju avaldab sellise termomeetri näitudele atmosfäärirõhu muutumine?

95. Meditsiiniline termomeeter. Meditsiinilisel termomeetril (joon. 175) on skaala 34° kuni 42°, mis vastab elava inimese keha temperatuuri kõikumisele. Kuna keha temperatuuri täpne määramine on haige ravimisel väga tähtis, on meditsiiniline termomeeter jaotatud kraadi kümnendikkudeks. Et termomeetri jaotised oleksid suured ja et neid võiks selgesti loetavalt jaotada kraadi kümnendikkudeks, tehakse termomeetri reservuaar võrreldes termomeetri kitsa kanaliga väga suur. Suure elavhõbeda hulga vähene soojenemine annab elavhõbedasambas nähtava muudatuse.

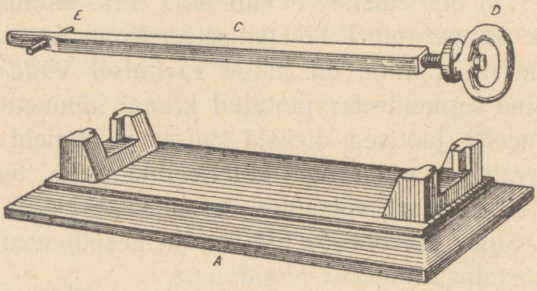
Et termomeeter saaks näidata keha temperatuuri, selleks paigutatakse ta kuni 10 minutiks kaenla alla. Seejuures tõuseb elavhõbe, kuid kui termomeeter kaenla alt ära võtta, siis ei lähe elavhõbe reservuaari tagasi. Selle põhjuseks on asjaolu, et toru alumisse otsa punkti *A* juurde on tehtud kanali kitsendus, millest elavhõbe paisudes läheb kergesti läbi, jahtudes aga katkeb selle kitsenduse juures ega lähe tagasi reservuaari. Järelikult näitab kehast eemaldatud termomeeter kõrgeimat temperatuuri, mille ta saavutas soojenedes keha mõjul. Et elavhõbe läheks uuesti reservuaari, on tarvis termomeetrit tugevasti raputada, võttes kinni nupust (harilikke mittemeditsiinilisi termomeetreid ei tarvitse raputada).

96. Kehade soojuspaisumise suuruse hinnang. Tahked kehad paisuvad soojenemisel väga vähe. Selle üle võib otsustada järgmise tabeli järgi, kus on ära tähendatud, kui palju pikeneb soojenemisel 1° võrra antud aine iga meeter tahkes olekus:

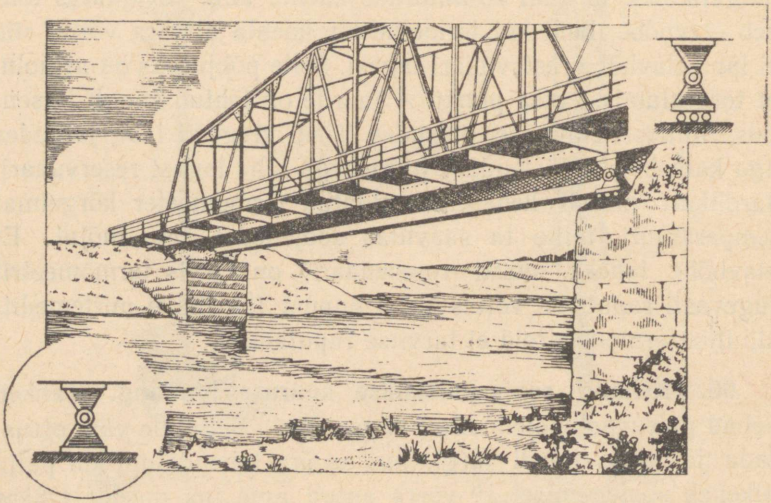
klaas . . . . . 0,010 mm võrra,
raud . . . . . 0,012 „ „
valgevask . . . . . 0,019 „ „
alumiinium . . . . . 0,024 „ „

Kuid isegi sel vähesel muudatusel on tehnikas suur tähtsus.

Asetame tugevasse malmalusesse *A* (joon. 176) tugevasti kuumutatud terasvarva *C*. Kinnitame selle varva kõvasti aluse

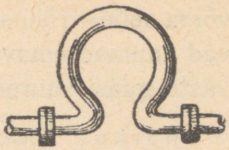


Joon. 176. Kokkutõmbumine jahtumisel.



Joon. 177. Silla kandekaare parempoolne ots on asetatud rullidele.

külge ühelt poolt jämeda ümmarguse malmpulgaga *E*, teiselt poolt mutriga *D*. Jahtudes terasvarb *C* lüheneb ja murrab katki malmpulga *E*.



Joon. 178. Kompensaator.

Tohutuid jõude, mis tekivad kehade paisumisel ja kokkutõmbumisel, on tarvis tehnikas arvestada.

Raudteeröövbaste mahapanemisel jäetakse nende otste vahele väike vahe; suuri sildu kinnitatakse ainult ühest otsast, teine seisab rullidel (joon. 177). Aurujuhtmesse pannakse kõverdatud torud — kompensaatorid, mis võtavad enesele aurujuhtme torude pikenemise, painduvad ja hoiavad seega aurujuhtme terve (joon. 178). Mõningatel juhtudel leiab soojuspaisumise ja kokkutõmbumise jõud tehnikas otsest kasutamist; nii asetatakse rehv rattale soojendatud olekus. Kui rehv jahtub, siis surub ta ratta tugevasti kokku.

Raua ja betooni [1] ühesugune paisumine lubab teha raudbetoonehitisi [2].

Vedelikud paisuvad tunduvalt rohkem kui tahked kehad. 1 liiter toatemperatuuriga vett suureneb ruumalalt 0,0032 l võrra, kui seda soojendada 1^0 võrra. On täiesti arusaadav, et kui soojendada mingit kinnist anumat täitvat vedelikku, siis võib ta rõhk purustada anuma.

Gaasid paisuvad veel rohkem kui vedelikud. Soojendamisel 1^0 võrra suureneb gaasi ruumala $^1/_{273}$ osa võrra ruumalast, mida omab gaas 0^0 puhul.

Kui gaas on kinnises anumas, siis ei saa ta ruumala suureneda, mistõttu gaasi soojenemisel suureneb ta rõhk $^1/_{273}$ osa

---

[1] Betoon — liiva, kiviprügi, tellisepuru, kruusa jne. segu tsemendi ja veega.

[2] Raudbetoon — ehitusmaterjal, raua ja betooni ühend.

võrra sellest rõhust, mida gaas omas 0^0 puhul. Gaasi sisaldavad anumad omavad harilikult küllaldaselt tugevust, et pidada vastu gaasi suurendatud rõhule.

Märkus: Rida koduseid katselisi harjutusi, mis on paigutatud käesolevasse raamatusse, on võetud S. F. Pokrovski töödest.

VIII peatükk.

Aine molekulaarne ehitus.

97. Aine ehitus. Juba kauges minevikus, kaks ja pool tuhat aastat tagasi tekkis õpetus, millele vastavalt kõik meid ümbritsevad kehad koosnevad väikseimaist osakestest, mida on võimata vahetult vaadelda; need osakesed on lakkamatus liikumises ja mõjutavad üksteist vastastikku. Nende osakeste liikumise iseloomu ja vastastikuse mõjuga seletatakse paljusid soojusnähtusi ja aine omadusi. Et tutvuda selle õpetusega, vaatleme mõningaid katselisi fakte.

Terasetükist võib valmistada terasplaadikesi ja isegi väga õhukesi lehekesi, mille paksus on 0,003 mm. Kullatükikese võib valtsida leheks, mille paksuseks on 0,0001 mm. Selline kullaleht on niivõrd õhuke, et temast tungivad läbi isegi valguskiired.

Vedelatest kehadest võib saada veelgi õhemaid kihte. Rasvatilk võib veepinnal levida kihina, mille paksus on 0,000001 mm. Need nähtused osutavad, et need osakesed, millest koosneb aine, on väga väikesed.

Teised katsed näitavad, et kehi võib jaotada osakesteks. Suhkrutüki võib saagida või lõhkuda üksikuteks tükikesteks; iga tükike lõhutakse tangidega veel väiksemateks osakesteks. Uhmris võib jahvatamise teel suhkrutükikesi muuta suhkrupuudriks — tolmsuhkruks, kusjuures iga üksik tolmukübeke on väga väike osake, mis säilitab kõik suhkru omadused. Tolm-

suhkrut võib lahustada vees, kusjuures igas veetilgas leiduvad mõned suhkruosakesed. Iga tahket keha võib peenendada väikesteks osadeks ühel või teisel viisil. Viilides viiliga rauatükki, saame väikesed rauaviilmed. Mida peenem on viili hammastik, seda peenemad on saadavad viilmed. Iga viilmekübeke on väike rauatükike. Täpselt samuti võib jaotada väga väikesteks tilgakesteks vedelikku.

Väikseimad osakesed, millest koosnevad kõik kehad, nimetatakse molekulideks [1].

Molekul kujutab endast antud aine väikseimat osakest. Kuigi molekuli mõõted mitmesugustel ainetel on erinevad, on nad kõigil aineil väga väikesed.

Molekulide diameetrid moodustavad kümnemiljondikke osi millimeetrist. Kui asetada ritta üksteise kõrvale 10 000 000 molekuli, siis see rida on 1—10 mm pikkune.

Õhu või muu gaasi 1 kuupsentimeetris on 0° ja 760 mm rõhu puhul 27 000 000 000 000 000 molekuli.

Me teame, et jahtumisel väheneb keha ruumala. Täpselt samuti väheneb keha ruumala kokkusurumisel.

Neid nähtusi on kerge seletada, kui oletada, et molekulid on igas kehas üksteisest eraldatud vahemikkudega.

Keha soojenemisel suurenevad vahemikud molekulide vahel; seejuures suureneb keha ruumala — keha paisub.

98. Molekulidevaheline külgetõmme. Kui kehad koosnevad molekulidest, mis on üksteisest eraldatud vahemikkudega, siis mis sunnib molekule kokku hoiduma? Miks tahke keha, mis koosneb üksikutest molekulidest, mitte üksnes ei pudene, vaid vastupidi, tuleb rakendada suurt jõupingutust, et eraldada ühte kehaosa teisest?

See on seletatav sellega, et molekulide vahel on vastastikune külgetõmme (kohesioon).

---

[1] *Molekul* (ladinakeelne sõna) tähendab aine väikseim osake.

Iga molekul tõmbab külge kõiki naaber-molekule ja need tõmbavad külge teda ennast.

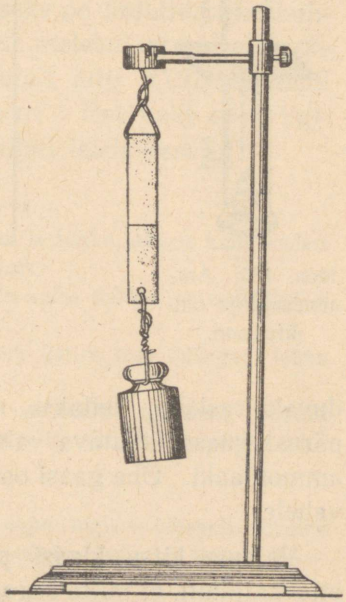
Et tõmmata katki traaditükki, killustada klaasi, murda teraspuuri, selleks on vaja eraldada üksteisest molekule, on vaja ületada nende külgetõmmet.

Molekulidevaheline külgetõmme on ainult siis olemas, kui molekulid on üksteisele väga lähedal.

Kaks elavhõbekerakest või kaks veetilka liituvad ühiseks tilgaks, kui kerakesed või tilgad teineteisega kokku puutuvad.

Kaks seatinatükki liituvad ühte, kui ühendatud osi lõigati äsja ja siledasti, ja nad mitte ainult ei tule teineteise küljest lahti, vaid nende külge võib isegi riputada küllaltki suure raskuse (joon. 179).

Niisiis keha üksikute osakeste vahel on olemas külgetõmbejõud. Kuid kui oletada, et keha osakeste vahel on olemas ainult külgetõmbejõud, siis peaksid osakesed nende jõudude mõjul lähenema vahetu kokkupuutumiseni ja keha poleks võimalik suruda kokku välisjõudude abil. Katse näitab, et kokku suruda võib iga keha, tähendab — osakesed asetsevad mitte tihedalt ligistikku, vaid teatud kaugusel üksteisest. On kindlaks tehtud, et molekulide vahel peale külgetõmbejõudude võivad ilmneda ka eemaletõukejõud. Osakeste lähenemisel suurenevad need eemaletõukejõud ja seda tunduvamalt, mida tugevamini me osakesi üksteisele lähendame. Keha

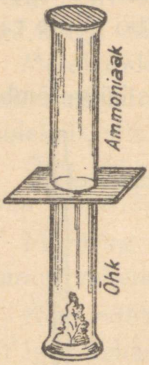


Joon. 179. Külgetõmme seatinast silindrite vahel hoiab rasket vihti.

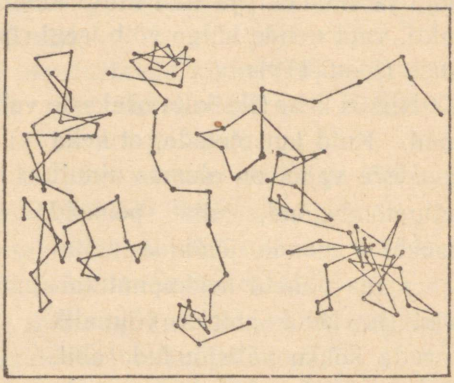
venitamisel saavad ülekaalu külgetõmbejõud, mis teotsevad osakeste vahel.

99. Molekulide liikumine. Kui tuppa tuuakse mingi lõhnav keha, siis levib lõhn toas väga kiiresti. See tähendab, et lõhnava keha poolt eraldatud molekulid ei jää paigale, vaid liiguvad igas suunas, levides kogu toas.

On täidetud kaks teineteisest vaheseinaga lahutatud anumat: ülemine — ammoniaagi gaasiga, alumine — õhuga (joon. 180). Ja vaatamata sellele, et õhk on ammoniaagist tun-



Joon. 180. Ammoniaagi ja õhu difusioon.



Joon. 181. Browni liikumine.

duvalt raskem, leitakse mõlemas anumas mõne aja järel pärast gaase lahutava vaheseina äravõtmist nii õhku kui ka ammoniaaki. Ühe gaasi osakesed tungisid teise gaasi osakeste vahele.

Valame kitsa klaasi põhja vasevitrioli lahust, peale aga ettevaatlikult, et mitte segada, — veekihi. Puhas vesi on vasevitrioli lahusest kergem ja jääb selle peale. Jätnud klaasi mitmeks päevaks rahulikult seisma, märkame, et vasevitrioli

osakesed tungivad veekihisse ja värvivad aegamisi kogu vee vasevitriolisiniseks.

Ühe keha osakeste iseeneslikku tungimist teise keha osakeste vahele nimetatakse d i f u s i o o n i k s.

Difusiooni näeme mitte üksnes vedelikkudes ja gaasides, vaid ka tahketes kehades.

Kui hästipuhastatud seatinaplaati suruda tugevasti vastu kuldplaati, siis mõne nädala pärast liituvad plaadid tugevasti ühte. Kui plaadid lõigata põigiti katki, siis ilmneb, et seatina osakesed on tunginud enam kui 1 mm sügavuselt kullasse ja ümberpöördult. Järelikult olid kulla ja seatina osakesed liikumises.

Meie poolt vaadeldud nähtused osutavad, et iga keha molekulid on alalises liikumises.

Õpetust aine ehitusest, mille aluseks on kujutlus molekulidest ja nende liikumisest, nimetatakse molekulaar-kineetiliseks teooriaks. Seda õpetust arendas laialt juba XVIII sajandil suur vene teadlane M. V. Lomonossov. Ent vaid alles ligikaudu 100 aastat tagasi läks ta kindlalt teadusesse.

Harjutus 44.

Valmistage vasevitrioli küllastunud lahus ja täitke sellega kuni poolest saadik mensuur, katseklaas või harilik teeklaas.

Lahuse peale valage ettevaatlikult anuma seina mööda, et vedelikud ei seguneks, samapalju puhast vett.

Asetage anum vedelikuga tasasele kohale, kattes teda millegagi tolmu eest.

Kirjutage üles katse alguse kuupäev ja mõõtke iga kahe ööpäeva pärast ühel ja samal kellaajal, mitme sentimeetri võrra tõusis sinine värv ülespoole.

Katse lõpul kirjutage lühike aruanne.

100. Browni liikumine. XIX sajandi algul inglise botaanik Brown (loe: braun) pani tähele ühte väga huvitavat nähtust, mis sai Browni liikumise nimetuse.

Kui segada vette veidi mingit lahustumatut ainet (tõrva, värvi või mingit hästi peeneks tambitud ainet), siis on selle aine paljud osakesed vees hõljuvas olekus.

Kui vaadelda veetilka ühes nende väikeste osakestega mikroskoobi all, siis võib näha, et osakesed on alalises liikumises. Sel liikumisel on väga korrapäratu iseloom. Ja mida väiksemad on osakesed, seda kiiremini nad liiguvad (joon. 181).

Seda nähtust seletatakse sellega, et mikroskoobis nähtamatud veemolekulid liiguvad lakkamatult mitmesugustes suundades ja põrkuvad seejuures kokku vette riputatud värviosakestega.

Mikroskoobis nähtavad värvi osakesed kujutavad seejuures vee molekulide liikumist, ainult tunduvalt väiksema kiirusega.

Browni liikumine osutab sellele, et molekulid liiguvad korrapäratult — kaootiliselt.

Browni liikumist võib tähele panna ka gaasides. Selleks on vaja asetada mikroskoobi alla klaasseintega väike karbike, mis on täidetud suitsuga. Valgustades suitsu küljelt, võib tähele panna, et suitsu osakesed liiguvad korrapäratult.

IX peatükk.

Soojuse edasiandumine.

101. Soojuse edasiandumine. Elus paneme alati tähele soojuse üleminekut ühelt kehalt teisele.

Nii näiteks selleks, et soojendada veega täidetud teekannu, asetame me ta palavale pliidile. Kui aga see teekann seisab laual, siis jahtub ta aegapidi — kaotab soojust. Selle soojuse saavad endale teekannu ümbritsevad kehad.

Kõetud ahi soojendab toa õhku ja kõiki esemeid, mis asetsevad toas. Seejuures ahi ise jahtub aegamisi.

Palavasse teesse asetatud metall-lusikas, saades soojust teest, soojeneb.

Katse näitab, et soojus läheb üle alati enam soojendatud kehadelt vähem soojendatud kehadele.

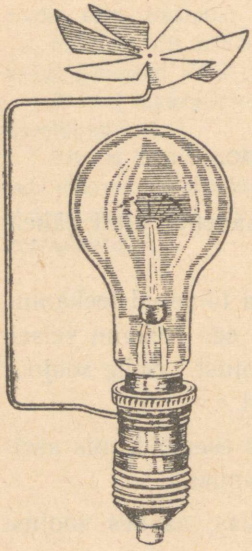
See soojuse üleminek kestab seni, kuni kehade temperatuurid võrdsustuvad.

Soojuse levimine ühtedelt kehadelt teistele toimub kolmel erineval viisil, mida me ka järgemööda vaatleme.

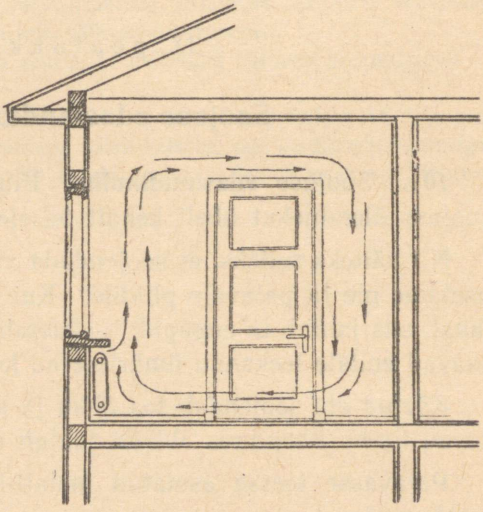
102. Konvektsioon. Asetades käe keskkütte radiaatori, pliidi või põleva elektrilambi kohale, märkame, et nende kohal tõusevad üles sooja õhu joad. Väike tuuleratas, mis on asetatud küünla leegi või elektri-laualambi kohale, hakkab tõusva sooja õhu voolust liikuma (joon. 182). Käterätikud, mis kui-

vavad pliidi kohal, kõiguvad tõusva õhu tõttu. Toas toimub õhu tsirkulatsioon[1] (joon. 183).

Õhk, puutudes kokku sooja ahjuga, soojeneb. Soe õhk kui kergem tõrjutakse raskema, veel soojenemata külma õhu poolt



Joon. 182. Tuuleratas lambi kohal.



Joon. 183. Õhu konvektsioonvoolude suund toas.

üles. Sel viisil vahetub soe õhk ahju juures külma õhu vastu. Toas toimub sooja ja külma õhu liikumine (ümberasetumine), mille tulemusena ta temperatuur muutub ühtlaseks ning tõuseb.

Samasuguseid nähtusi paneme tähele, kui soojendame vedelikku alt (joon. 184).

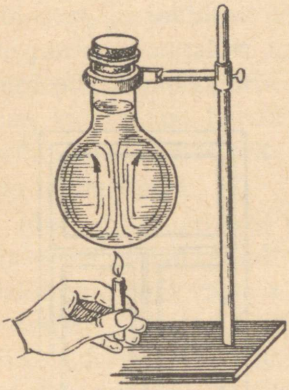
Vedeliku soojenenud osakesed kui kergemad tõrjutakse raskemate külmemate osakeste poolt üles.

---

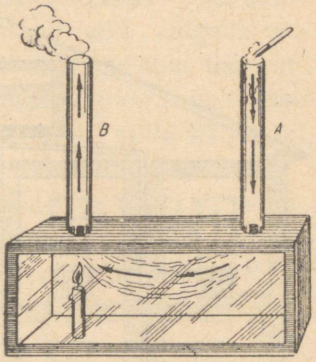
[1] *Tsirkulatsioon* (ladinakeelne sõna) tähendab ringvool, ringkäik.

Külm vesi, laskudes alla, soojeneb soojusallika kaudu ja surutakse allalaskuva vähem sooja vee poolt uuesti üles.

Selline sooja ja külma vedeliku ringvool soodustab kogu massi kiiremat ning ühtlasemat soojenemist.



Joon. 184. Tsirkulatsioon vee soojendamisel.

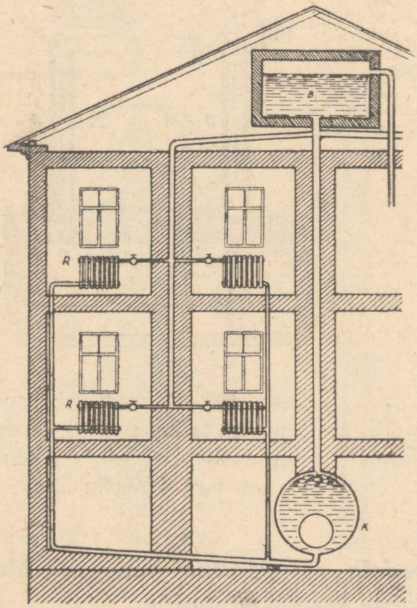


Joon. 185. Külmem õhk koos suitsuga laskub toru *A* kaudu alla, kastis soojeneb ta ja tõuseb toru *B* kaudu üles.

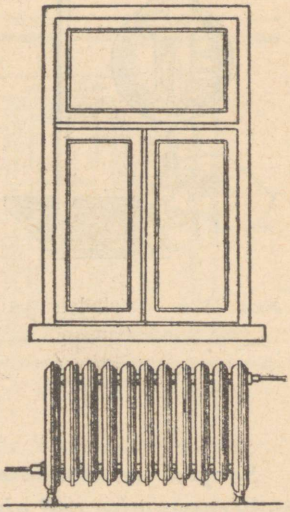
Soojuse edasiandumist vedela või gaasilise aine kihtide ümberasetumise teel nimetatakse konvektsiooniks.

103. Millest tekib tõmbus. Palavad gaasid ahjulõõrides on kergemad kui väline õhk. Nende rõhk on väiksem kui välisõhu rõhk. Seepärast läheb välisõhk alt küttekoldesse, tekitades tõmbust. Mida palavamad on gaasid, mida kõrgemad on korstnad, seda suurem on soojade gaaside ja õhu sammaste kaalude vahe, seda tugevam on tõmbus. Joonisel 185 kujutatud katse selgitab tõmbeprotsessi tekkimist korstnas. Külm õhk laskub alla toru *A* kaudu ja tõrjub kastis oleva sooja õhu toru *B* läbi välja.

104. Vesikeskküte. Vesiküte on ehitatud järgmiselt. Hoone keldriruumi on paigutatud kinnine katel *K* (joon. 186), milles soojendatakse vett. Katla ülemisest osast läheb sirge veetõusutoru pööningule. Seal muutub ta väikse kaldega toruks, millest lähtub allapoole läbi hoone tubade rida verti-



Joon. 186. Vesikütte skeem.



Joon. 187. Radiaator.

kaalseid torusid. All suubuvad kõik need torud teise kaldtorusse, mis viib alt katlasse. Vertikaalsete torudega ühendatakse torud, mis viivad tubades asuvate radiaatoriteni *R* — erikujuliste malmkarpideni, mis on mitmekaupa ühendatud (joon. 187). Kogu küttevõrk täidetakse veega. Kütmise tõttu katlas soojenenud vesi surutakse külma vee poolt vertikaaltoru mööda pööningule, kust satub kaldtorusse ja voolab sealt laiali torusid mööda, mis viivad kõigi korruste radiaatoriteni.

Vee ülejääk, mis tekib paisumisest soojenemise tõttu, juhitakse võrdlemisi kitsast toru mööda eri paisumispaaki *B*, mis asub pööningul. Katla edasisel kütmisel läheb katlast kaldtorusse juba palav vesi.

Palav vesi soojendab radiaatoreid, andes neile osa oma soojusest, ja jahtudes neis, tuleb tagasi katlasse. Radiaatorite juurde pannakse kraanid, mille abil võib sulgeda vee juurdepääsu radiaatorile ja katkestada seega üksiku toa kütmise, kui see on läinud liiga soojaks. Mõnikord pannakse karbitaoliste radiaatorite asemele laiad torud, mille küljes on rida malmribisid.

Mis tähtsus on neil radiaatori karpidel ja ribidel? Võibolla oleks olnud ainult torude asetamisest küllalt? Sellele küsimusele võib vastata samuti küsimusega: missugune tuba on soojem — kas väikese või suure ahjupindalaga tuba? Vesiküttes suurendavad radiaatorite karbid ja nende külge valatud ribid tublisti kõetavat pindala.

Keskkütte radiaatorid pannakse harilikult akende alla.

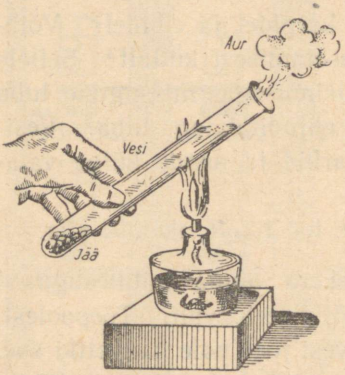
105. Kuidas tekib tuul. Maakera pinna mitmesugused osad soojenevad päikesekiirte mõjul erinevalt. Tõepoolest, liiv jõekaldal on suvel palav, aga vesi jões pole kaugeltki soe. Lahtised kohad soojenevad tugevamini kui kohad, mis on kaetud tiheda taimestikuga. Soojenenud maapinnast soojenevad õhu alumised kihid. Selle tulemusena tekib konvektsioon ja õhk sooritab ringvoolu. Õhumasside horisontaalne liikumine pole midagi muud kui tuul.

106. Soojusejuhtivus. Kui paneme lusika palavasse teeklaasi, siis muutub ka lusika vars väga kiiresti palavaks. Soojus, mille saab teesse lastud lusika ots, kandub ühtede metalliosade kaudu edasi naabruses olevaile metalliosadele. Konvektsiooni puhul liikus soojendatud vesi ise. Antud juhul jäävad lusika osad oma kohtadele, kuid soojus andub edasi ühelt osalt naabruses olevale.

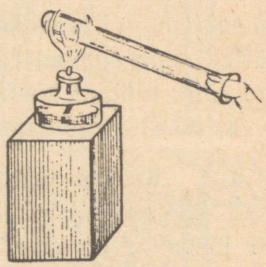
Soojuse edasiandumise nähtust keha ühelt osalt teisele nimetatakse soojusejuhtivuseks.

Uurime seda nähtust lähemalt, tehes rea katseid. Paneme tulle puust kepi otsa, see hakkab põlema, kuid teine ots, mis on tulest väljas, jääb külmaks. Tähendab, puu juhib soojust halvasti.

Asetame piirituslambi leegisse peenikese klaaspulgakese. Piki klaaspulka kinnitame vahakuulikesed. Meil tuleb kaua oodata, kuni vahakuulikesed kepikese küljest maha kukuvad. Järelikult ka klaas juhib soojust halvasti.



Joon. 188. Vesi on halb soojusejuht.



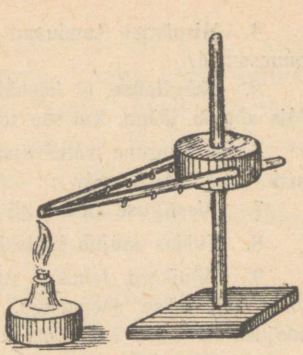
Joon. 189. Õhk on halb soojusejuht.

Võtame katseklaasi veega (joon. 188), asetame sellesse jäätükikese, mille peal on koormus, et jää vajuks põhja, ja hakkame soojendama katseklaasi ülemist osa. Vesi hakkab varsti keema, kuid jää katseklaasi põhjas sulab väga vähe. Tähendab vesi juhib soojust halvasti, samuti nagu puu ja klaaski.

Joonisel 189 on kujutatud katse, mis näitab õhu halba soojusejuhtivust. Kuiv katseklaas pannakse sõrme otsa ja soojendatakse teda, hoides katseklaasi leegis põhjaga üles-

poole. Sõrm seejuures soojust peaaegu ei tunnegi.

Kinnitame statiivil asuva korgi külge vask- ja raudtraadi nii, et traatide vabad otsad puutuksid kokku (joon. 190). Kinnitame traatide külge vahaga mõned naelakesed ja juhime ühendatud traatide otsad piirituslambi leegisse. Märkame, et naelakesed hakkavad varsti järk-järgult traatide küljest maha langema, kusjuures vasktraadi küljest langevad nad märksa varem kui raudtraadi küljest.



Joon. 190. Vase ja raua soojusejuhtivus.

Meie katse näitab, et nii vask kui ka raud on üldiselt head soojusejuhid, kusjuures vask juhib soojust paremini kui raud.

Niisiis katsed näitavad meile, et erisuguste kehade soojusejuhtivus on erisugune. Ühed kehad juhivad soojust hästi, teised halvasti. Head soojusejuhid on metallid, parimad nendest on hõbe ja vask. Puu, klaas ja nahk juhivad soojust halvasti. Kõige halvemini juhivad soojust vill, karvad, linnusuled, paber, kartong, asbest, kork ja teised urbsed kehad.

Soojusejuhtivus on väike kõigil vedelikkudel, välja arvatud elavhõbe. Gaasid juhivad soojust veel halvemini kui vedelikud. Vill, vatt, udusuled ja karusnahk on halvad soojusejuhid sellepärast, et nende kiudude vahel on õhk. Õhk, mis on kahe akna vahel, hoiab tuba kiire jahtumise eest.

Harjutus 45.

1. Mispärast asetatakse vintpüssi raud puust «pesasse» ja kaetakse puust liistuga?
2. Mispärast sügav kohev lumi kaitseb talivilja oraseid külmumise eest?
3. Mispärast õled, heinad ja kuivanud lehed juhivad halvasti soojust?

4. Mispärast tunduvad pakase käes metallesemed külmemana kui puuesemed?

5. Räägitakse, et kasukas «soojendab». Kas see väljendus on õige? Mis sünnib jääga, kui see toas katta kasukaga?

6. Missugune vateeritud tekk on soojem — uus või vana äravajunud tekk? Mispärast?

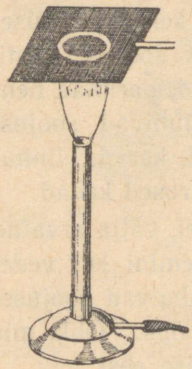
7. Missuguse katuse all on talvel soojem — õlg- või plekk-katuse all?

8. Kuidas mõjub katlakivi vee soojendamisele?

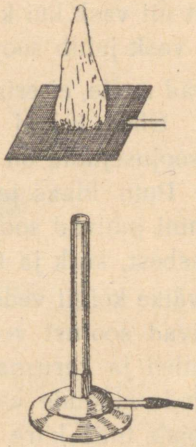
9. Mõnikord tehakse majaseinad kahekordseist vineerseintest, mille vahe täidetakse saepuruga. Miks on selliselt ehitatud sein halvemaks soojusejuhiks kui see sein, mille vahel on ainult õhk?

10. Mis tähtsus on topelaknail, mis pannakse ette talveks?

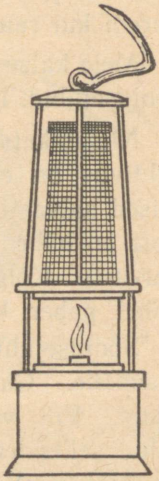
11. Mispärast lõhkevad paksud teeklaasid palavast veest, õhukestes klaasides aga võib vett keeta?



Joon. 191. Leek on vaskvõrgu all.



Joon. 192. Leek on vaskvõrgu peal.

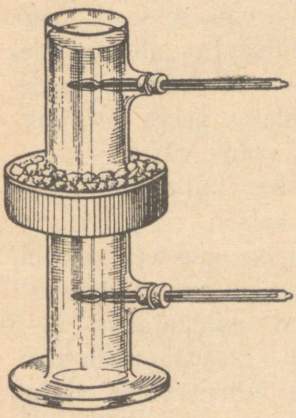


Joon. 193. Kaevuri lamp.

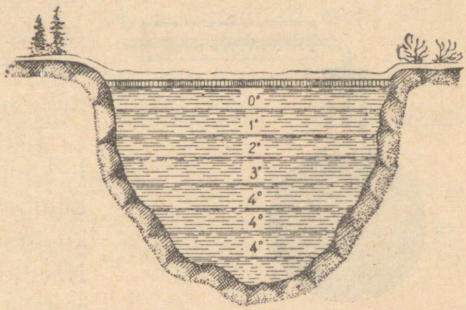
107. Kaevanduselamp. Kui hoida gaasilambi (või ka piirituslambi) leegi kohal tihedat vaskvõrku (joon. 191), siis gaas pealpool võrku ei põle. Võib ka vastupidi süüdata gaasi võrgu peal, nii et leek ei levi võrgu alla (joon. 192).

Kui lambi leek ümbritseda vaskvõrguga (joon. 193), siis kaevanduses tekkinud põlev-gaas, sattunud lampi, põleb selles ära. Väga hea soojusejuhtivuse tõttu alandab võrk põlemissaaduste temperatuuri kiiresti; need, minnes ümbritsevasse õhku, mis sisaldab plahvatavat gaasi, ei süüta seda. Seesuguseid lampe kasutati kaua kaevandustes. Kasutatakse neid mõningates kaevandustes nüüdki veel.

108. Vee soojuspaisumise iseärasus. Silindrikujulisel anumal on küljepinnas kaks ava erineval kõrgusel (joon. 194). Avadesse on pandud kaks termomeetrit. Anumasse on vala-



Joon. 194.



Joon. 195. Vee temperatuur kinnikülmunud järves.

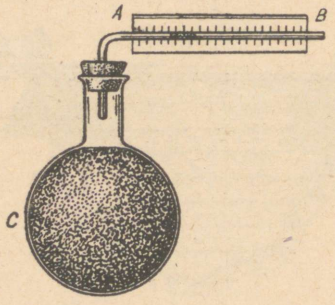
tud vesi. Keskel on võrk jää jaoks. Pannud võrku jää, jahutame vett anumas ja vaatleme termomeetrite näitusid. Algul märgib madalamat temperatuuri alumine termomeeter, mis osutab jahtunud vee allalangemisele, kuid alates 4° näitab madalamat temperatuuri ülemine termomeeter, alumine termomeeter aga jätkab 4° temperatuuri näitamist.

Järelikult vesi paisub mitte üksnes soojenemisel üle 4°, vaid ka jahtumisel alla 4°.

See näitab, et veel on 4° puhul kõige suurem erikaal.

Vee paisumisel on suur tähtsus vees elavate olendite elu alalhoidmiseks. Tõepoolest, talvel sügavates veekogudes vesi ülal jahtudes laskub alla — põhja. See külma vee allalaskumine kestab ainult seni, kuni vesi muutub külmemaks kui 4°. Sel juhul lõpeb jahtunud vee allalangemine ja vesi külmub järk-järgult jahtudes pealt kinni. Teatud paksusega jääkiht kaitseb oma halva soojusejuhtivuse tõttu veekogus kogu veemassi külmumast. Seetõttu ei külmu küllalt sügavates veekogudes vesi põhjani (joon. 195).

109. Kiirgamine. Asetame korgi abil väikesesse tahmaga kaetud keedupudelisse *C* (joon. 196) täisnurga all kõverdatud toru *AB*. Juhime sellesse torusse väikese värvitud vedeliku sambakese. Tehes toru juurde skaala, saame riista — termoskoobi, mille abil teeme mõningad katsed.



Joon. 196. Termoskoop.

Lähendame oma termoskoobile kuni 1 m kauguseni tugevasti kuumutatud vihikujulise 2—5 kilogrammi raskuse malmitüki. Näeme, et termoskoobis asetub vedeliku sammas *A* poolt *B* poole. Nähtavasti soojenes keedupudelis õhk ning paisus.

Mil kombel kandus vihi soojus edasi termoskoobile? Konvektsiooni teel ei võinud see toimuda, sest vihi poolt soojendatud õhk tõuseb üles. Kuna õhk on väga halb soojusejuht, siis järelikult ei ole siin mingit tähtsust ka soojusejuhtivusel. Asetame termoskoobi ja vihi vahele kartongi- või plekitüki. Me märkame, et vedelikusambake läheb varsti tagasi oma endisse asendisse. Termoskoop ei saa nüüd enam vihilt soojust.

Teame, et Maa saab Päikeselt tohutul hulgal soojust. Kuid on täpselt kindlaks tehtud, et atmosfääri ülemistes kihtides on õhk tugevasti hõrendatud ja et veel palju kaugemal on Maa ja Päikese vahel õhutühi ruum.

Tähendab, Päikese soojus ei saa kanduda edasi ei konvektsiooni ega soojusejuhtivuse teel, järelikult ta kandub edasi muul viisil.

Uurimused näitavad, et ***kui mingi keha kaotab soojust mitte konvektsiooni ja soojusejuhtivuse teel, siis ta kiirgab välja selle soojuse.***

Kui keegi seisab meie ja heledasti põleva lõkke vahel, siis ei tunne meie lõkke soojust, sest soojuskiired ei tule meieni. Tähendab, ka meie katses termoskoobiga kiirgas soojendatud viht soojust.

Anum kuuma veega jahtub, saates välja kiiri, kuid sama anum külma veega soojeneb päikesekiirte käes.

Kui asetame kiirte teele kartongi, siis ei lase kartong kiiri läbi (ta on neile läbitungimatu) ja soojeneb ise. Seda nägime ka oma katses termoskoobiga.

Kui asetada soojuskiirte teele peegel, siis võib tähele panna, et peegel peegeldab kiiri ja soojeneb ise väga vähe.

Kõik need nähtused osutavad, et soojuskiired levivad sirgjooneliselt.

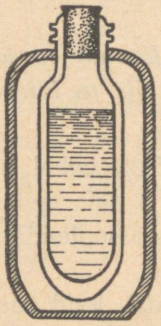
Soojuse edasiandumist kiirte näol nimetatakse kiirgamiseks.

Heledad läikivate pindadega kehad peegeldavad kiiri ja soojendavad seetõttu märgatavalt vähem kui tumedate mattpindadega kehad, mis neelavad kiiri; kuid need viimased kehad kiirgavad ka rohkem soojust ja järelikult ka jahtuvad kiiremini.

110. Termos. Elus on sageli tarvis hoolitseda selle eest, et palav supp, tee, kohv jne. säilitaks võimalikult kaua soojust. Mõnikord aga tuleb hoolitseda, et näiteks seesugused

ained nagu jäätis, tarretis jne. saaksid ümbritsevatelt kehadelt võimalikult vähem soojust.

Kõigil neil juhtudel valmistatakse erilised seadised — termosed, millel on pudeli, kasti, kapi jne. kuju. Sõltumata kujust on termostel kahekordsed seinad, mille vahel on puuvill, vatt või mingi soojust halvasti juhtiv aine või lihtsalt seinte vahelt eemaldatakse õhk.



Joon. 197. Termos.

Joonisel 197 on kujutatud termos vedelike jaoks.

Nagu joonisest näha, koosneb seesugune termos kahekordsete seintega klaaspudelist. Klaasi sisemine pind on hõbetatud ja pudeli seintevahelisest ruumist on õhk välja pumbatud, pärast seda on klaas kinni joodetud. Seintevaheline õhutühi ruum ei juhi peaaegu sugugi soojust. Et kaitsta klaasi vigastuste eest, paigutatakse pudelid kartong- või metallkestasse. Pudel korgitakse hariliku korgiga ja kruvitakse pealt kinni metallkuplikesega, mida võib kasutada jooginõuna.

Harjutus 46.

1. Mispärast soojeneb peegel vähe, kui ta peale langevad päikesekiired?
2. Mispärast on termospudeli klaasosa sisemine pind hõbetatud?
3. Mispärast kantakse suvel heledaid riideid?
4. Missugune teekann jahtub kiiremini — läikiv või tahmunud?
5. Mispärast sulab määrdunud lumi linnades kiiremini kui puhas lumi põldudel?
6. Mispärast asetatakse vesikütte radiaatorid toas alla, mitte aga üles?
7. Toatemperatuuriga vette pandi ülalt metallanum jääga. Kas jahtub vesi?
8. Mispärast tehakse kuuma vee paakide kraanide käepidemed puust?
9. Vesivarustuse torud mähitakse külmades kohtades vildiga ja kaetakse laudadega. Mispärast tehakse seda?

10. Mispärast sulab lumi paksu õlekihi all aeglaselt?

11. Kas soojeneb vesi, kui asetada vee peale vasest kausike põleva piiritusega?

12. Õhk juhib soojust halvasti. Mispärast aga jahtuvad õhus palavad esemed?

13. Mispärast kaetakse stratostaadi kest hõbedase värviga?

X peatükk.

Keha mass ja kaal.

111. Keha mass. Kõike seda, millest koosneb füüsiline keha, nimetatakse aineks. Raud ja vask, savi ja liiv, vesi ja õhk, puu ja petrooleum — kõik need on mitmesugused ained. Aine hulga mõõduks kehas on ta mass. On arusaadav, et ühe liitri vee mass on 1000 korda suurem kui 1 cm^3 vee mass, 100 ühesuguse naela mass on 100 korda suurem ühe samasuguse naela massist, — ühe sõnaga, samasuguste kehade massid on seda suuremad, mida suuremad on nende kehade ruumalad.

Kuid võib omavahel võrrelda ka erisuguste kehade masse, näiteks malmitüki massi klaasi vee massiga, puutükiga, toaõhu massiga jne.

Kahe keha massid loetakse võrdseiks, kui nad kangkaaludel tasakaalustuvad.

Kui ühe keha mass võtta massiühikuks, siis ka teise keha mass, mis on tasakaalus esimesega, on samuti võrdne ühikuga.

112. Massi ja kaalu ühikud. Massi ühikuks on võetud meile juba tuntud (VI kl. füüs. § 14 joon. 19) plaatina ja iriidiumi sulamist silinder, mida säilitatakse Rahvusvahelises Kaalude ja Mõõtude Büroos. Selline massiühik nimetatakse kilogramm-massiks (lühendatult — kg). Ligikaudselt on ta võrdne 1 dm^3 puhta vee massiga 4^0 juures.

Praktikas valmistatakse massi etaloonid mitmesuguse suurusega vihtide näol.

Et mõõta mingi keha massi, on tarvis see keha kaalul vihtidega tasakaalustada. Vihtide kehaga tasakaalustatud mass ongi võrdne keha massiga.

Kaalu ühikuks võetakse jõud, millega Maa tõmbab külge 1-kilogrammilist massi.

Seda kaaluühikut nimetatakse kilogramm-kaaluks (lühendatult — 1 kG). Nagu näitavad katsed, on 1 kg massi kaal Maa mitmesugustes kohtades erinev, näiteks Moskvas 1 kg massi kaalub 1,0009 kG, Leningradis — 1,0013 kG, ekvaatoril aga 0,9980 kG. Kuid, nagu näitavad toodud arvud, on need erinevused ühe ja sama keha kaalus Maakera mitmesugustes kohtades tähtsusetud. Tähendab arv, mis väljendab keha kaalu kG-des ja G-des on ligikaudselt võrdne arvuga, mis väljendab selle keha massi kg-des ja g-des.

Nii näiteks, kui keha mass on 2,5 kg, siis võib ta kaalu pidada võrdseks 2,5 kG; 100-grammise massiga keha kaalub ka umbes 100 G.

Niisiis, kaalumisega kangkaaludel määrame me keha massi ning teades massi võime ligikaudselt määrata ta kaalu.

XI peatükk.

Soojuse mõõtmine.

113. Soojushulga ühikud. Et ahi soojaks kütta, on vaja selles ära põletada küllaldane hulk puid. Kui puid panna vähe, siis soojeneb ahi nõrgalt ja toas on külm.

Iga puuhalg annab põledes ahjule teatud hulga soojust. Mida rohkem põleb ära puid, seda rohkem soojust saab ilmselt ahi ja seda rohkem ta soojeneb. Kuid soojuse hulga üle ei saa otsustada ainult temperatuuri järgi. Tõepoolest, tuline triikraud, mida ei või puudutatagi, ei küta ometi külma tuba soojaks, kuna soe ahi või vesikütte radiaatorid soojendavad tuba hästi.

Soojendame kahe ühesuguse piirituslambi abil kahte anumat. Ühes anumas on 1 liiter vett, teises 2 liitrit. Märkame, et teises anumas soojeneb vesi vähem, kuigi ühesugused piirituslambid annavad ühesuguseid soojushulki.

Erinevate veehulkade soojendamiseks ühe ja sama kraadini on nõutavad erinevad soojushulgad.

Et osata soojust arvestada, tuleb kokku leppida, missugust soojushulka võtta ühikuks.

Soojushulga ühikuks on võetud selline soojushulk, mis on vaja anda 1 g veele, et tõsta ta temperatuuri 1° võrra. Seda ühikut nimetatakse kaloriks (cal).

Tehnikas, kus on tegemist suurte soojushulkadega, kasu-

tatakse suuremaid ühikuid — kilokaloreid. 1 kilokalor on võrdne 1000 kaloriga.

Kilokalor (kcal) on soojushulk, mis on vaja anda 1 kg veele, et tõsta ta temperatuuri 1° võrra.

Kujutelles selgesti, mis on kalor, pole raske arvutada soojushulka, mis on vajalik ükskõik millise veehulga soojendamiseks.

Lahendame mõned näited.

1. Kui palju on vaja kaloreid, et soojendada 5 g vett 25° võrra?

1 g vee soojendamiseks 1° võrra kulub 1 cal.
5 „ „ „ 1° „ „ 5 cal.
5 „ „ „ 25° „ „ 125 cal.

2. Mitu kalorit on vaja, et soojendada 100 g vett 15° kuni 50°?

Eelkõige määrame kindlaks, mitme kraadi võrra soojeneb vesi.

Vee temperatuur oli 15°, seda on vaja soojendada kuni 50°; Järelikult vee temperatuur tõuseb $50^{\circ} - 15^{\circ} = 35^{\circ}$ võrra.

Arutelles selle ülesande lahendamisel samuti, nagu on näidatud eespool, leiame, et 100 g vee soojendamiseks 35° võrra on vaja 3500 cal.

Harjutus 47.

1. Kui lumehange valada ankrutäis sooja vett, siis sulab märksa rohkem lund, kui valades sinna klaasitäis keevat vett. Mispärast?
2. Kui palju kaloreid on vaja 275 g vee soojendamiseks 20° kuni 40°?
3. Kui suurt veehulka võib soojendada 15° kuni 35°, andes sellele 8000 cal?
4. Missuguse temperatuurini soojeneb 300 g vett, mille temperatuur on 20°, kui vesi saab 600 cal?
5. Milline temperatuur oli 25 kg veel, kui temperatuur pärast seda, kui vesi oli saanud 300 kcal, tõusis 30°-ni?
6. Kui palju on vaja soojust, et soojendada 300 m^3 suurune veekogu 10° võrra?

7. Hästi õhutatava laboratooriumi soojendamiseks kulub tunnis ligi 1000 kcal. Kui palju vett on vaja anda igas tunnis keskkütte radiaatoreisse, kui vesi läheb radiaatoreisse temperatuuriga 80° ja väljub neist temperatuuriga 72°?

114. Soojusmahtuvus. Soojendades kahel ühesugusel piirituslambil kahte anumat, milledest ühte on valatud 1 kg vett, teise aga on pandud 0,5 kg vett ja tükk seatina massiga 0,5 kg, märkame, et teises anumas soojenevad vesi ja seatina kiiremini kui esimeses. Siit järgneb, et seatina soojendamiseks teatud kraadide arvuni on vaja vähem soojust kui sama vee hulga soojendamiseks sama kraadide arvuni.

Võtame kolm laia katseklaasi ja asetame neisse: esimesse 100 g seatina-haavleid, teise 100 g raualaaste või rauapuru, kolmandasse aga 100 g alumiiniumitükikesi. Soojendame kõiki kolme katseklaasi keevas vees kuni 100°. Kuni katseklaasid soojenevad, võtame kolm teeklaasi ja valame igaühesse 100 cm^3 toatemperatuurilist (15°) vett. Kui katseklaasid ja nende sisu on soojenenud, puistame ühte teeklaasi kuumutatud haavlid, teise rauapuru, kolmandasse alumiiniumitükikesed. Segades vett, märkame, et vesi soojenes klaasides ebaühtlaselt.

Seatinahaavlid soojendasid vee peaaegu kuni 18°, s. o. 3° võrra. Rauapuru soojendas vee peaaegu kuni 23°, tähendab 8° võrra. Alumiiniumitükikesed soojendasid vee peaaegu kuni 30°, järelikult 15° võrra.

Sellest katsest võime järeldada:

Ühesuguse temperatuurini soojendatud mitmesuguste metallide võrdsed hulgad annavad veele jahtudes mittevõrdseid soojushulki.

Arvutanud, kui palju annab soojust ära igaüks neist metallidest jahtudes 1° võrra, leiame, et seatina annab veele peaaegu 3,1 cal, raud umbes 11 cal ja alumiinium 21 cal.

Võrreldes saadud tulemusi, tuleme järeldusele, et jahtudes

ühe ja sama kraadide arvuni, annavad erinevad ained ära erineva hulga soojust.

Katsed näitavad, et ka mitmesuguste ainete võrdsete hulkade soojendamiseks ühe ja sama kraadide arvuni on vajalik erinev soojushulk: nii näiteks nõuab alumiinium peaaegu 7 korda enam soojust kui niisama suur hulk seatina.

Soojushulka, mis on vajalik keha soojendamiseks 1° võrra, nimetatakse antud keha soojusmahtuvuseks.

Katsete alusel võime järeldada, et soojusmahtuvus 100 g seatinal on 3,1 cal, 100 g raual — 11 cal ja 100 g alumiiniumil — 21 cal.

On täiesti arusaadav, et soojusmahtuvus sõltub mitte üksnes keha aine omadustest, vaid ka antud keha massist. Et soojendada suurt raudkatelt, on vaja rohkem soojust kui väiksemamõõtelise katla soojendamisel sama temperatuurini.

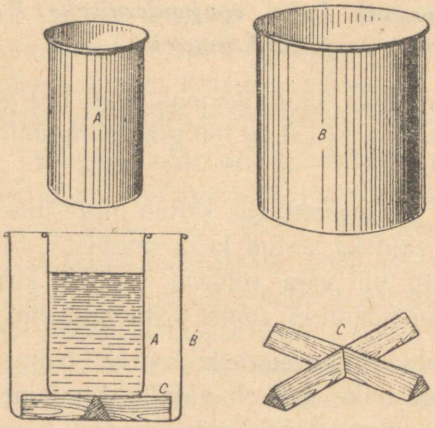
Et oleks võimalik võrrelda mitmesuguste ainete soojusmahtuvust, arvutatakse soojushulk, mis on vajalik 1 g aine soojendamiseks 1° võrra, ja nimetatakse seda suurust aine erisoojuseks. Erisoojust mõõdetakse kalorites grammi ja kraadi kohta ($\frac{cal}{g \cdot kraadi}$). Kalori definitsioonist järgneb, et vee erisoojus on 1 $\frac{cal}{g \cdot kraadi}$.

Erisoojuste tabel $\frac{cal}{g \cdot kraadides}$ **või** $\frac{kcal}{kg \cdot kraadides}$.

Alumiinium	0,21	Klaas	0,15
Seatina	0,03	Puu	0,57
Vask	0,09	Piiritus	0,58
Tsink	0,09	Õli	0,4
Valgevask	0,09	Vesi	1,0
Raud, Malm, Teras	0,11	Petrooleum	0,5

115. Tahkete kehade erisoojuse määramine. Soojushulga mõõtmiseks mitmesuguste soojusprotsesside puhul kasutatakse erilist riista — kalorimeetrit.

Kalorimeeter koosneb kahest anumast *A* ja *B*, mis on valmistatud õhukesest valgevaskplekist (joon. 198). Seesmine anum on asetatud nii, et tema ja välimise anuma vahele jääb õhukiht; välimise anuma põhja on pandud alustena korgi- või puutükikesed (ristjalg *C*).



Joon. 198. Kalorimeetri ehitus.

Tahkete kehade erisoojus määratakse järgmisel viisil. Valatakse kalorimeetrisse teatud hulk vett, mõõdetakse selle temperatuur ja lastakse sellesse vette uuritav keha, mis on soojendatud teatava temperatuurini (üle kalorimeetris oleva vee temperatuuri). Vesi kalorimeetris soojeneb, vette lastud keha aga jahtub seni, kuni vesi kui ka keha on ühesuguse temperatuuriga.

Teades vee ja uuritava aine massi, nende algtemperatuuri ja ühist temperatuuri pärast katset, võib arvutada aine erisoojuse.

N ä i d e. 200-grammine metallitükk, soojendatud kuni 100°, lasti 400 grammi vette, mille temperatuur oli 12°. Selle tagajärjel tõusis vee temperatuur kalorimeetris kuni 20°. Leida antud metalli erisoojus.

L a h e n d u s. 400 g vett soojenes 8° võrra, milleks kulus $1 \cdot 400\ (20 - 12) = 3200$ cal. Järelikult niisama palju kaloreid andis ära metall, mis jahtus 80° võrra. Metallitükk kaotas

jahtudes iga kraadi kohta $\frac{3200}{80}$ cal ja metalli iga gramm kaotas jahtudes 1° võrra $\frac{3200}{80 \cdot 200} = 0{,}2$ cal.

Järelikult, antud metalli erisoojus on $0{,}2 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}}$.

Harjutus 48.

Metallitükk, mille temperatuur oli 100° ja mass 1000 g, lasti 200 cm^3 vette, mille temperatuur oli 100°. Vee temperatuur tõusis kuni 21°. Milline on antud metalli erisoojus?

116. Laboratoorne töö nr. 9. Töö eesmärk — **määrata aine erisoojus.**

Kasutades eelmises paragrahvis toodud katse kirjeldust ja erisoojuse määramise viisi, koostada plaan, kuidas teie laboratooriumi tingimustes saab määrata raua, vase, portselani või mingi muu aine erisoojust.

Kui erisoojuse määramiseks tuleb võtta suuri esemeid, siis on tarvis ese panna soojendamiseks keevasse vette ja hoida selles mitte vähem kui 10—15 minutit. Ese tuleb soojendajast üle viia kalorimeetri vette väga kiiresti.

117. Kuidas arvutada keha soojendamiseks vajalikku soojushulka?

Lahendame näited:

1. Kui palju on vaja soojust 400 grammi vase soojendamiseks 20° võrra?

Erisoojuste tabelist teame, et 1 g vase soojendamiseks 1° võrra on vaja 0,09 cal. Järelikult 400 grammi vase soojendamiseks 1° võrra on vaja soojust 400 korda rohkem, s. o. 36 cal.

400 grammi vase soojendamiseks 20° võrra on vaja soojust 20 korda rohkem, s. o. 720 kalorit.

2. Kui palju on vaja kaloreid, et soojendada 2 kg rauda 18° kuni 345°?

Tabelist leiame, et 1 kg raua soojendamiseks 1° võrra on vaja 0,11 kcal, 2 kg raua soojendamiseks 1° võrra on vaja 0,22 kcal.

Kuna aga meilt nõutakse raua soojendamist mitte 1^0 võrra, vaid $345 - 18 = 327^0$ võrra, siis on kokku vaja 71,94 kcal.

Kõigis toodud näiteis, et arvutada mingi keha soojendamiseks tarvisminevat soojust, korrutame me antud aine erisoojuse keha massiga ja kraadide arvuga, mille võrra keha soojenes.

Kui märkida tähega Q soojushulka, tähega c erisoojust, tähega m soojendatava keha massi, tähega t_1 keha algtemperatuuri, ja tähega t_2 keha lõpptemperatuuri, siis võib keha soojendamiseks kuluva soojushulga arvutamise eeskirja märkida üles järgmise valemi kujul:

$$Q = cm\,(t_2 - t_1).$$

Harjutus 49.

Kaks ühesugust vaskkuulikest, mis olid soojendatud ühe ja sama temperatuurini, visati: üks veeklaasi, teine klaasi, kuhu on valatud niisama palju petrooleumi. Kumb soojeneb kõrgema temperatuurini — vesi või petrooleum?

2. 300-grammise massiga vaskkastrul mahutab 1 liitri vett. Kui palju on vaja soojust, et selles kastrulis soojendada vett 15^0-st kuni 100^0?

3. Kui palju vajatakse soojust, et soojendada 1 m^3 liiva (erikaal 1,5) 10^0-st kuni 70^0 (liiva erisoojus on 0,2)?

4. Kui palju on vaja kaloreid, et soojendada toaõhku 0^0-st kuni 22^0? Toa ruumala on 60 m^3, õhu erisoojus on 0,24 $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}}$, õhu erikaal on 0,0013 G/cm^3.

5. Arvutada, mitme kraadi võrra soojeneb 500 grammi vett, kui lasta sellesse 500 g vaske, mis jahtub vees 80^0-st kuni 20^0.

118. Kütuse kütteväärtus. On teada, et erisugused kütused annavad põledes erinevaid soojushulki.

Mitmesuguste kütuste hindamiseks ning võrdlemiseks on tähtis teada, kui palju soojust saab teatud hulga, näit. 1 kg kütuse põlemisest.

Soojushulka, mis eraldub 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse kütuse kütteväärtuseks.

Mitmesuguste kütuste kütteväärtus on toodud järgmises tabelis:

Mitmesuguste kütuste kütteväärtus $\frac{\text{kcal}}{\text{kg-des}}$.	
Kuivad puud umbes	3000
Turvas	3400
Pruun süsi	4000
Kivisüsi	7000—7500
Piiritus	7200
Puusüsi	8000
Antratsiit	8000
Nafta, Petrooleum, Bensiin	11 000
Vesinik	34 000

Harjutus 50.

1. Kui palju soojust eraldub 15 kg puusõe täielikul põlemisel? 200 g piirituse põlemisel?
2. Kui palju on vaja põletada puid, et saada 36 000 kcal?
3. Mitme kraadi võrra oleks olnud võimalik soojendada 2 kg vett 10 g piirituse täielikul ärapõlemisel, kui piirituse põlemisel tekkinud soojus oleks tervenisti läinud vee soojendamiseks?

119. Laboratoorne töö nr. 10. Töö eesmärk — **arvutada soojushulk, mille saab vesi soojenedes piirituslambil 1 g piirituse ärapõlemisel.**

Tööjuhend. Valanud mingisse metallnõusse teatud hulga teadaoleva temperatuuriga vett, soojendame vett piirituslambil. Teades vee temperatuuri enne katse algust ja pärast katset ning soojendatava vee hulka, on kerge arvutada, mitu kalorit sai vesi.

Kaalunud piirituslambi ühes piiritusega enne katse algust ja pärast katset, määrame kindlaks ärapõlenud piirituse hulga.

Teades ärapõlenud piirituse hulka ja kalorite arvu, mille sai vesi, võib arvutada, mitu kalorit annab piirituslamp 1 g piirituse põlemisel.

Koostage vastav tabel ja kandke sinna kõik teie mõõtmiste ja arvutuste tulemused.

120. Soojendaja kasutegur. Kui võrrelda laboratoorse töö tulemust tabeli andmetega, siis näeme, et saadud kalorite arv, mille annab 1 kg piiritust põledes piirituslambis, osutub tabeli arvust 7200 tunduvalt väiksemaks. Mitte kõik soojus, mis eraldus piirituse põlemisel, ei läinud vee soojendamiseks: osa soojust kulus toa õhu soojendamiseks, osa anuma soojendamiseks, milles oli vesi, osa kolmjala ja piirituslambi enda soojendamiseks. Kõiki neid kulutusi laboratoorse töö juures ei arvestatud.

Kasulikult ärakulutatud soojushulga suhet kogu ärakulutatud soojushulgaga nimetatakse soojendaja kasuteguriks.

Soojendaja kasutegur väljendatakse harilikult protsentides.

Harjutus 51.

1. Leida priimuse kasutegur, kui priimuses 4 liitri vee soojendamisel 20^0-st kuni 75^0 põles ära 50 g petrooleumi.
2. Milline on samovari kasutegur, kui selles 6 liitri vee soojendamiseks 12^0-st kuni 100^0-ni on vaja 0,15 kg puusütt?
3. Petrooleumipriimuse kasutegur on 30%. Kui palju on vaja põletada petrooleumi, et soojendada 3 liitrit vett 15^0-st kuni keemiseni?

Vastuseid harjutustele.

§ 14. 1) 2500 G.
2) 125 G.
3) 3,784 kG.
4) 1 000 000 G.

§ 22. 3) 2,9 korda.
5) Portselanist.
6) 4 cm ja 1,4 cm.
8) Ei.
9) Alumiiniumist.
10) 1000 dm^3; 900 dm^3.

§ 23. 1) 89 kG.
2) 3 m^3.
3) Ei.
4) 63.
5) Umbes 37 300.
6) 75 m^3.

§ 27. 2) 12 mm.
3) 195 mm.
4) 40 T (vagunil on 2 puhvrit).

§ 29. 6) 0,2 kG/cm^2.
9) 0,3 kG/cm^2.
10) Ligikaudu 0,4 kG/cm^2.
11) 0,018 kG/cm^2.
12) 60 m.
13) 1000 kG/cm^2.

§ 30. 1) 60 G.

§ 34. 1) 15 G/cm^2.
2) 40 G/cm^2.
3) 136 G/cm^2.
4) 1,0336 kG/cm^2.

§ 35. 5) 2 cm.

§ 40. 2) Ei.
3) Ei täida.
5) 103,36 kG.
7) Umbes 1450 kG.

§ 41. 75 cm.

§ 43. 2) 400 m.
3) 170 mm võrra.
4) Seespool 1,033 kG/cm^2.
Väljaspool 0,075 kG/cm^2.

§ 48. 4) 20 G.
5) 8 G.
6) 50 cm^3.
7) 9,5 kG.

§ 50. 5) 38 kG.
6) 79,2 kG.

§ 52. 1) 0,76 G.
2) 300 T.

§ 53. 1) 120 G võrra.
3) Võib.

§ 58. 2) 330 m/sek.
3) 2 tundi 40 min.
4) 7,5 km.

§ 65. 2) 500 kGm.
3) 1 m/sek.
4) 750 kGm.

§ 66. 1) Esimene.
2) 225 kGm/sek.
4) 5000 kGm/sek.
5) 100 HJ.

§ 67. 2) Ei suuda.

§ 68. 1) Oma keha poole kaaluga.
2) 50 kG; 25 kG; 50 kG.

§ 69. 4) Võib.

§ 74. 2) 2,4 kG.

§ 76. 1) 60 kGm; 3 kG.
2) 40 kG.

§ 87. 1) 498 m.
3) 1660 m.
4) 1812,5 m.

§ 113 2) 5500 cal.
3) 400 g.
4) kuni 22°.
5) 18°.
6) 3 000 000 kcal.
7) 125 kg.

§ 117. 2) 87,295 kcal.
3) 18 000 kcal.
4) 411,85 kcal.
5) 5,4°.

§ 118. 1) 120 000 kcal, 1440 kcal.
2) 12 kg.
3) 36°.

Sisukord.

Lk.

Sissejuhatus 3

MEHAANIKA ELEMENTE.

I peatükk. Lihtsaimad mõõtmised.

1. Mõõtmiste vajadus 7
2. Pikkuse mõõtmine 7
3. Mõõtejoonlaud 9
4. Mõõtelint 9
5. Pikkuse mõõtmise vead 10
6. Laboratoorne töö nr. 1 11
7. Teatmeid mõõtude ajaloost 12
8. Pindalade mõõtmine 15
9. Ruumalade mõõtmine 16
10. Laboratoorne töö nr. 2 19
11. Vertikaalsiht 20
12. Horisontaalsiht 21
13. Keha kaal 23
14. Kaalu meetermõõdustik 23
15. Kaalud 24
16. Väiksemad kaaluvihid 26
17. Kaalude liigid 26
18. Kaalumise reeglid 27
19. Laboratoorne töö nr. 3 27
20. Erikaal 28
21. Laboratoorne töö nr. 4 29
22. Erikaalude tabel 30
23. Milliseid mõõte kasutada ülesannete lahendamisel 31

II peatükk. Tahkete kehade mõningaid omadusi.

24. Tahke keha põhiomadused 33
25. Jõud 34
26. Jõu mõõtmine dünamomeetriga 35
27. Vedru gradueerimine 36
28. Jõu graafiline kujutamine 37
29. Rõhk 38

III peatükk. **Vedelikud ja gaasid.**

Lk.

30. Rõhu edasiandmine vedelikkudes ja gaasides 43
31. Vedeliku rõhk anuma põhjale ja seintele 47
32. Manomeeter 49
33. Rõhk vedeliku sees 50
34. Vedeliku rõhu arvutamine 51
35. Ühendatud anumad 54
36. Veevärgi ehitus 59
37. Gaaside kaal 59
38. Õhurõhumine 61
39. Kuidas töötab veepump 63
40. Õhurõhu suurus 64
41. Baromeeter 68
42. Aneroidbaromeeter 70
43. Õhurõhumine mitmesugustel kõrgustel 71
44. Gaasi ruumala ja rõhk 73
45. Õhutihenduspump 74
46. Õhuhõrenduspump 75
47. Vedeliku ja gaasi rõhumine neisse asetatud kehadele . . . 76
48. Archimedese seadus 79
49. Kehade ujumine 81
50. Laboratoorne töö nr. 5 81
51. Allveelaev 84
52. Uppunud laevade ülestõstmine 85
53. Õhuasjandus 87
54. Nõukogude stratostaadid 90

IV peatükk. **Liikumine ja jõud.**

55. Mehaanilised liikumised 93
56. Sirgjooneline ja kõverjooneline liikumine 94
57. Ühtlane liikumine 96
58. Ühtlase liikumise kiirus 97
59. Inerts 98
60. Hõõrdumine 101
61. Hõõrdumisjõu mõõtmine 102
62. Laboratoorne töö nr. 6 102
63. Hõõrdumise tähtsus praktikas 103
64. Kuullaagrid 104

V peatükk. **Töö ja energia.**

65. Töö 106
66. Võimsus 108
67. Liikumatu plokk 110
68. Liikuv plokk 112
69. Polüspast 115
70. Kang 117
71. Kangi tasakaalu tingimused 119
72. Kas kangi kasutamisel võidame töös? 122
73. Kangide näiteid tehnikas ja igapäevases elus 124

Lk.
74. Pöör 127
75. Mehaanika põhireegel 129
76. Kaldpind 129
77. Kasutegur 131
78. Laboratoorne töö nr. 7 132
79. Energia 133
80. Energia jäävuse ja muundumise seadus 135
81. Igavene jõumasin 137

VI peatükk. **Algteadmisi häälest.**

82. Hääle tekkimine 142
83. Tooni kõrgus 143
84. Hääle levimine 145
85. Hääle levimise kiirus 146
86. Hääle peegeldumine. Kaja 149
87. Hääle levimine õhus 149

SOOJUS.

VII peatükk. **Kehade soojuspaisumine.**

88. Sissejuhatus 151
89. Õhu paisumine soojenemisel 152
90. Vedelikkude paisumine soojenemisel 153
91. Laboratoorne töö nr. 8 154
92. Tahkete kehade paisumine soojenemisel 154
93. Temperatuur 157
94. Termomeetri ehitus 157
95. Meditsiiniline termomeeter 161
96. Kehade soojuspaisumise suuruse hinnang 161

VIII peatükk. **Aine molekulaarne ehitus.**

97. Aine ehitus 165
98. Molekulidevaheline külgetõmme 166
99. Molekulide liikumine 168
100. Browni liikumine 169

IX peatükk. **Soojuse edasiandumine.**

101. Soojuse edasiandumine 171
102. Konvektsioon 171
103. Millest tekib tõmbus 173
104. Vesikeskküte 174
105. Kuidas tekib tuul 175
106. Soojusejuhtivus 175
107. Kaevanduselamp 178
108. Vee soojuspaisumise iseärasus 179
109. Kiirgamine 180
110. Termos 181

X peatükk. **Keha mass ja kaal.** Lk.

111. Keha mass 184
112. Massi ja kaalu ühikud 184

XI peatükk. **Soojuse mõõtmine.**

113. Soojushulga ühikud 186
114. Soojusmahtuvus 188
115. Tahkete kehade erisoojuse määramine 190
116. Laboratoorne töö nr. 9 191
117. Kuidas arvutada keha soojendamiseks vajalikku soojushulka? 191
118. Kütuse küttevääртus 192
119. Laboratoorne töö nr. 10 193
120. Soojendaja kasutegur 194
Vastuseid harjutustele 195

Vastutav toimetaja M. Usai.

Keeleline toimetaja J. Pedari.

Tehniline toimetaja E. Kivistik.

Ladumisele antud 16. III 1950. Trükkimisele antud 28. IV 1950. Trükiarv 13 000. Paber 56×79, 1/16. Trükipoognaid 12,5 Arvestuspoognaid 11,26. MB-03357. Trükikoda «Noor-Eesti», Tartu, Kastani 38. Tellimise nr. 522.

На эстонском языке.

А. В. Пёрышкин, Г. И. Фалеев и В. В. Крауклис. Физика для VI класса.

Hind rbl. 3.80

Rbl. 3.80

A
18740
7146634

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00714663 4