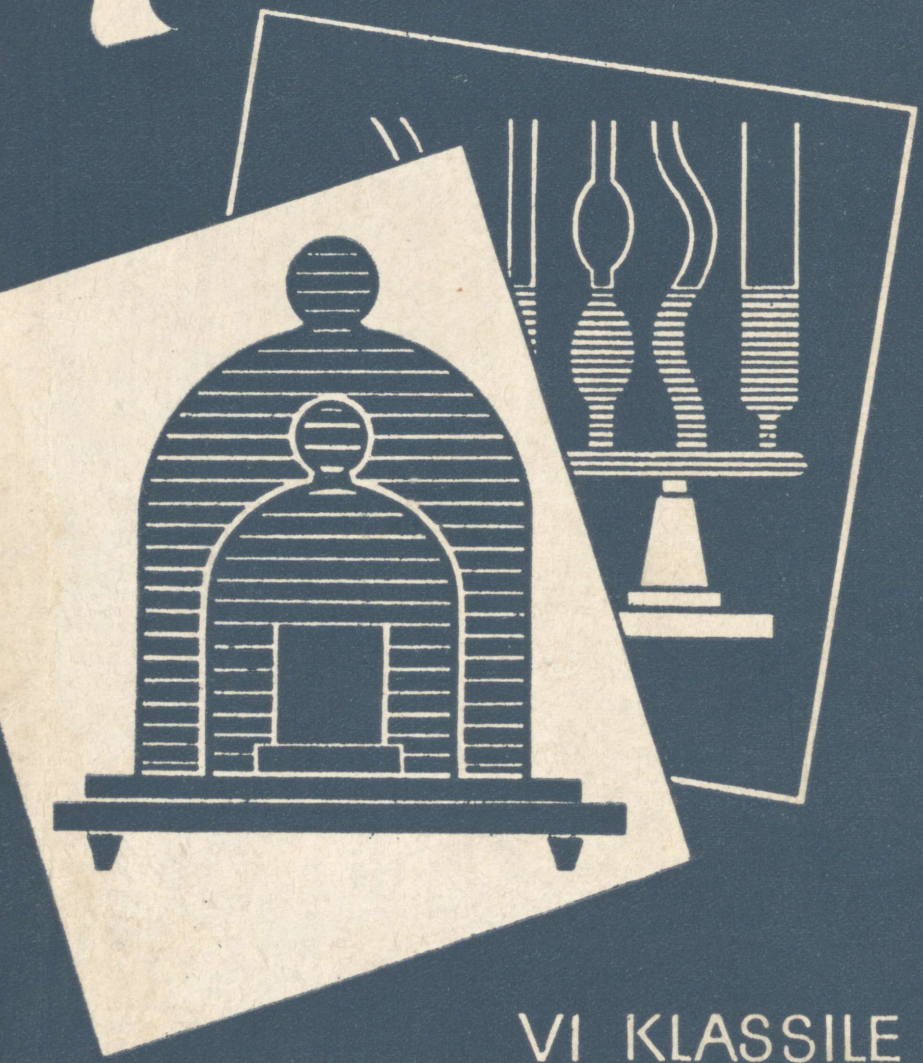
Füüsika



VI KLASSILE

A-2/200

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

FÜÜSIKA

VI KLASSILE

3. väljaanne

KIRJASTUS «VALGUS»

TALLINN 1966

53
F98

Originaali tiitel:
А. В. Пёрышкин, Е. Я. Минченков, В. В. Крауклис,
Г. К. Карпинский
ФИЗИКА
Учебник для VI класса
Под общей редакцией Е. Я. Минченкова и А. В. Пёрышкина
Издание седьмое
Издательство «Просвещение»

Tõlkinud *A. Siirak*
Kaane kujundanud *S. Liiberg*

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
63396

ARHIIVKOGU

I PEATÜKK.

ALGTEADMISI FÜÜSIKALISTEST KEHADEST. FÜÜSIKALISTE SUURUSTE MÕÕTMINE.

§ 1. Mida uurib füüsika.

Füüsika on üheks kõige vanemaks teaduseks loodusest. Sõna «füüsika» tuleneb kreekakeelsest sõnast *physikē*, mis tähendab loodust.

Füüsikas nimetatakse kõiki esemeid (joonlauda, pliiatsit, kääre, liivateri, veetilku, kive, maakera jt.) füüsikalisteks kehadeks ehk lihtsalt kehadeks.

Kõik see, millest kehad koosnevad, on aine. Teras, vask, kummi, vesi, õhk — kõik need on mitmesugused ained. Kehad võivad üksteisest erineda mitte ainult aine, vaid ka selle aine hulga poolest. Nii näiteks on käärides rohkem terast kui nõelas, viiekopikalises on viis korda rohkem ainet kui ühekopikalises jne.

Kõiki looduses toimuvaid muutusi nimetatakse nähtusteks.

Kui tuua sooja tuppa tükk jääd, siis sulab see ära. Tulele pandud teekannus hakkab vesi keema. Kui keemine kestab kaua, siis muutub kogu vesi auruks. Käest lahtilastud kivi kukub maha. Kui juhime traati elektrivoolu, siis see kuumeneb ning võib hakata isegi valgelt hõõguma, just nagu elektrihõõglambis. Jää sulamine, vee keemine, kivi kukkumine, traadi kuumenemine elektrivoolu mõjul, tuul, äike — kõik need on mitmesugused nähtused.

Füüsikas uuritakse kehade liikumist ning helilisi, soojuslikke, elektrilisi, magnetilisi ja valgusega seotud nähtusi. Kõik need on **füüsikalised nähtused.**

Mingi nähtuse tundmaõppimiseks on tarvis teda kõigepealt palju kordi vaadelda. Näiteks on ühest vaatlusest vähe selleks, et õppida tundma kehade langemise seaduspärasusi. On tarvis ju teada saada, kas raske ja kerge keha langemises on erinevusi, kas erinevate mõõtmetega kehad langevad ühesuguselt ning kuidas mõjutab kehade langemist kõrgus. Kõigile nendele küsimustele saab vastata ainult siis, kui vaadelda palju kordi kehade langemise erinevaid juhtumeid. On aga ka selge, et me ei saa seni oodata, kuni mõni keha ise langeb. Seepärast võtame mitmesuguseid kehi ja laseme neil langeda, s. o. kutsume ise esile kehade langemise.

Füüsikalise nähtuse esilekutsumist ning selle vaatlemist nimetatakse katseks.

Katse näol me nagu esitaksime loodusele küsimuse, katse tulemusi vaadeldes saame aga vastuse sellele küsimusele.

Kuid füüsikas mitte ainult ei vaadelda, kuidas toimub üks või teine nähtus, vaid püütakse neid ka selgitada, s. t. teha kindlaks, miks nähtus toimub just nii, aga mitte teisiti. Kõike seda on vaja nähtuse kasutamiseks praktikas.

Füüsika on üheks põhiliseks teaduseks loodusest, sest teiste loodusteaduste areng sõltub paljus füüsikaliste nähtuste tundmisest.

Harjutus 1.

1. Too näiteid füüsikalistest kehadest.
2. Too näiteid füüsikalistest nähtustest, mida sa oled näinud looduses ja kodus.
3. Kuidas õpitakse füüsikas tundma looduses esinevaid nähtusi?

§ 2. Füüsika ja tehnika.

Füüsika avastustel on suur tähtsus tehnikas. Nii näiteks loodi sisepõlemismootor, mida kasutatakse autode, traktorite ja mootorvedurite liikumapanemiseks, soojusnähtuste tundmaõppimise tulemusena.

Tänapäeva kino loodi pärast seda, kui oli õpitud tundma paljusid hääle-, valgus- ja elektrinähtusi. Tundmaõpitud keeruliste



Lomonossov, Mihhail Vassiljevitš (1711—1765).

Lomonossov oli geniaalne vene teadlane. Ta sündis põhjas, talupoegrandlase perekonnas. Juba lapsepõlvest peale avaldusid temas erakordsed võimed ja juurdlev mõistus. 1730. a. läks Lomonossov kodukülast jalgsi Moskvasse õppima. Lomonossov oli ääretult töökas ja saavutas seepärast suurt edu paljudel teadusaladel. Ta oli füüsik, keemik, insener, vene keele suurepärane tundja ja edasiarendaja, ajaloolane, poeet. Lomonossovi järjekindlate nõudmiste põhjal avati Moskvas 1755. a. esimene vene ülikool, mis praegu kannab Lomonossovi nime.

M. Lomonossov oli oma kodumaa patrioot. Ta armastas palavalt vene rahvast, oli uhke tema üle ja võitles vene teaduse laiaulatusliku arengu eest.

Popov, Aleksander Stepanovitš (1859—1906).

7. mail 1895. a. tegi tuntud vene teadlane-elektrik Aleksander Popov ettekande oma aparaadist, mille abil saab ilma juhtmeteta anda elektrilisi signaale kauge maa taha.

See kuupäev läks maailma kultuuriajalukku ühe väljapaistvaima leiutise — raadio tähtpäevana. Tänapäeval kasutab raadiot kogu inimkond. Nõukogude valitsuse otsusega nimetati 7. mai raadiopäevaks.



elektrinähtuste põhjal loodi raadio. Selliseid näiteid võib tuua palju.

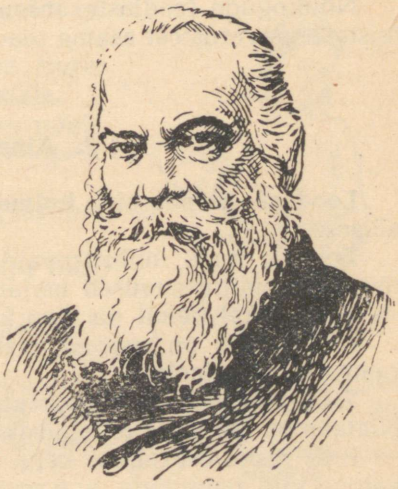
Kõik see, mida on avastatud ja õpitud tundma füüsikas, on paljude maade ja rahvaste teadlaste visa töö tulemus.

Paljusid tähtsaid avastusi on teinud ka meie kodumaa teadlased nii minevikus kui tänapäeval.

Väljapaistvate vene teadlaste hulgas on eriline koht M. Lomonossovil — esimesel vene akadeemikul.

Suur vene poeet A. Puškin kirjutas Lomonossovist: «Ta lõi esimese vene ülikooli. Õigem on öelda — tema ise oli meie esimeseks ülikooliks.»

Raadio on kõige tõhusam sidepidamisvahend. Raadiosaateid kuulavad inimesed kodus, vagunis, laeval ja kaugetel ekspeditsioonidel. Raadio leiutas vene teadlane A. Popov.



Žukovski, Nikolai Jegorovitš (1847—1921).

Väljapaistva vene teadlase N. Žukovski peamised teaduslikud avastused kuuluvad lennuasjanduse valdkonda.

Juba lennunduse koidikul (1898. a.) ütles Žukovski: «Inimesel ei ole tiibu. Tema musklite jõud on keha kaaluga võrreldes 72 korda nõrgem kui linnul. Kuid ma usun, et ta hakkab lendama, toetudes seejuures mitte oma musklite, vaid mõistuse jõule.» Žukovski ja tema õpilaste töödele rajaneb meie maa lennundus, mis on parim maailmas.



Tsiolkovski, Konstantin Eduardovitš (1857—1935).

Esimesena uuris reaktiivliikumise seaduspärasusi ja töötas välja Maalt teistele päikesesüsteemi planeetidele lendamise seadme — rakettlaeva skeemi väljapaistev teadlane, leidur ja insener Konstantin Tsiolkovski.

Tsiolkovski teaduslikke saavutusi on kasutanud nõukogude teadlased ja insenerid Maa kunstlike kaaslaste ning kosmiliste rakettide ehitamisel ja väljasaatmisel.

Lennuasjanduse arengus on tähtis koht vene teadlasel N. Žukovskil, keda V. I. Lenin nimetas «vene lennuasjanduse isaks».

Vene insenerid P. Jablotškov ja A. Lodõgin avastasid tänapäeval laialt kasutatava elektrivalgustuse.

Eriti kiiresti hakkas füüsika arenema meie kodumaal pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

Kogu maailm tunneb nõukogude teaduse ja tehnika suurepäraseid saavutusi. Väljapaistvamateks nendest on maailma esimese aatomielektrijaama ehitamine, Maa esimese kunstliku kaaslase ja esimese kosmilise raketi väljasaatmine (viimasest sai meie päikesesüsteemi uus planeet). Esimene rakett, mis jõudis Kuule, oli Nõukogude rakett. Esimesena tungis kosmosesse Nõukogude Liidu kodanik.

Nõukogude teadlaste, inseneride, tehnikute ja tööliste paljudest teistest saavutustest saame teada füüsika edasise õppimise käigus.

§ 3. Aine kolm olekut.

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

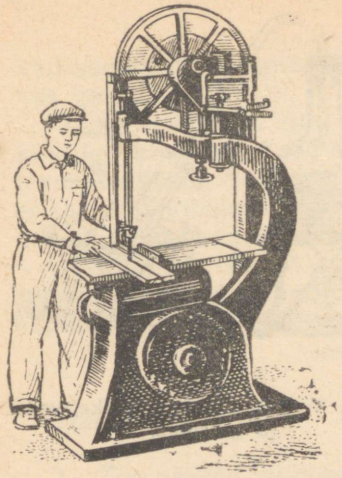
Enamik meid ümbritsevaid kehi on tahked: majad, masinad, tööriistad, mitmesugused majapidamistarbed jne.

Igal tahkel kehal on oma kindel kuju ja ruumala.

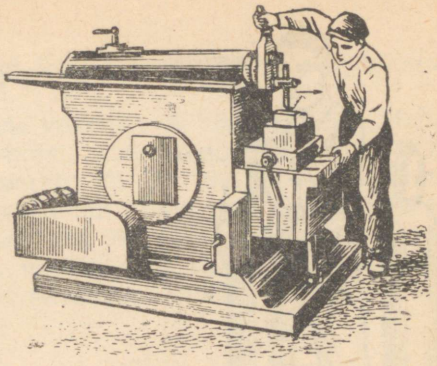
Nii näiteks on vasaral teistsugune kuju ja ruumala kui sael, raamatul või naelal.

Tahke keha kuju võib muuta, kuid selleks läheb vaja jõudu. Näiteks on naela painutamiseks vajalik jõud küllaltki suur.

Eriti raske on tahket keha lõhkuda. Jämedat raudtraati võib kätega küll painutada, s. o. muuta tema kuju, kuid katkimurdmi-



Joon. 1. Lintsaag puidutööstuses.



Joon. 2. Metallilõikamispink.

seks sellest ei piisa. Seda on võimalik teha ainult spetsiaalsete tööriistade abil.

Puidu ja metalli käsitsi ümbertöötlemiseks, s. o. tahkele kehale vajaliku kuju andmiseks, kasutatakse kirveid, saage, höövleid, viile ja teisi tööriistu. Tehastes ja vabrikutes töödeldakse puitu, metalli ning teisi tahkeid materjale mitmesugustel tööpinkidel: treipinkidel, höövelmasinatel, lihvimismasinatel jne.

Erinevalt tahketest kehadest muudavad vedelikud kergesti oma kuju. Nimelt võtavad vedelikud nende anumate kuju, kuhu nad on valatud. Nii näiteks on pudelisse valatud piimal pudeli kuju. Kui valada see piim klaasi, siis võtab piim klaasi kuju.

Vedelik võib muuta küll oma kuju, kuid ei muuda seejuures oma ruumala.

Kui näiteks kallata kannust liiter piima klaaspurki, siis on piima ruumala endiselt üks liiter.

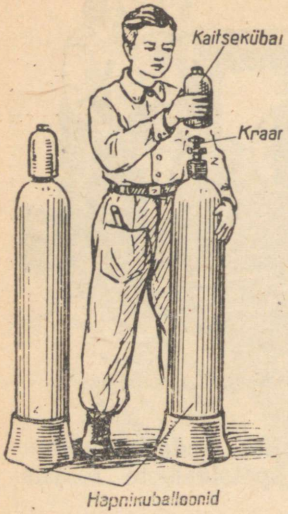
Õhk, mida me hingame, on gaasiline keha ehk lihtsalt gaas.

Gaasidel ei ole oma kindlat kuju ning nad ei säilita ka oma ruumala.

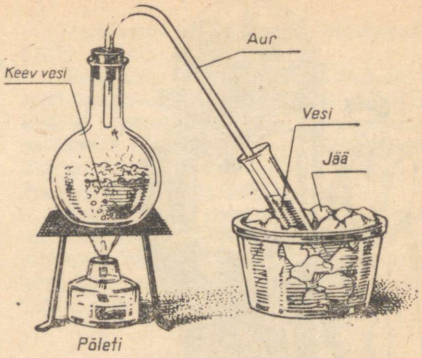
Kinnisesse anumasse pandud gaasikogus täidab selle anuma tervenisti. Gaasiga ei saa täita poolt pudelit, nii nagu seda saab teha vedelikuga. Gaas lendub igas suunas ja seepärast saab gaasi hoida vaid hoolikalt suletud nõudes.



Joon. 3. Vedeliku valamisel ühest nõust teise muutub vedeliku kuju, kuid ei muutu tema ruumala.



Joon. 4. Gaase hoitakse tugevasti kokkusurutuna terasballoonides.



Joon. 5. Vee kolm olekut: tahke, vedel ja gaasiline.

Üks ja sama aine võib esineda erinevates olekutes.

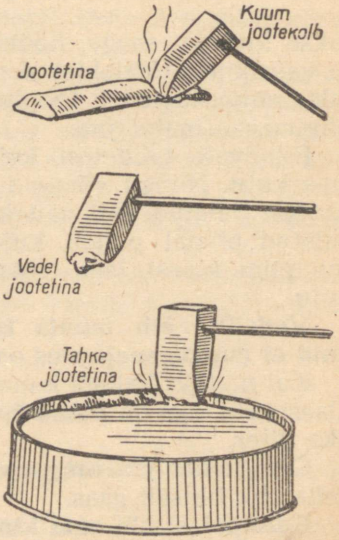
Nii näiteks on jäätunud vesi tahke keha (jää), keemisel võib seesama vesi aga muutuda auruks, s. o. gaasiliseks kehaks.

Jootmisel me sulatame kuuma jootekolvi abil jootetina, mis pärast jahtumist ühendab tugevasti ühendatavad metallitükid.

Metallurgiatehastes saadakse maakidest metalli tavaliselt vedelana.

Ainete omadust kuumutamisel sulada kasutatakse mitmesuguste esemete valamiseks. Nii valatakse esemeid malmist, terasest, pronksist, klaasist ja mõnedest teistest materjalidest.

Kuumutamisega saab aineid muuta mitte üksnes vedelaks, vaid ka gaasiliseks. Näiteks on tehtud kindlaks, et Päike ja tähed koosne-



Joon. 6. Tina oleku muutumine jootmisel. Kuum jootekolb sulatab tina (joodist). Vedela tina tilgad jäävad jootekolvi külge ja kantakse sellega jootekohale (esemele). Pärast tina tahkestumist saame vastupidava ühenduse.

vad samadest ainetest mis Maagi, kuid need ained on seal hõõguvas gaasilises olekus.

Jahtumisel võib aine muutuda vedelast olekust tahkeks. Meile kõigile tuttav vedel metall elavhõbe, mida laialdaselt kasutatakse termomeetrites, tahkestub temperatuuril 39° alla nulli. Seepärast ei saa elavhõbetermomeetreid kasutada talvel nendes maakohtades, kus temperatuur on madalam kui 39° alla nulli.

Jahtumisel võivad muutuda vedelaks ja seejärel ka tahkeks sellised ained, mis harilikult on gaasilises olekus, näiteks õhk, hapnik, lämmastik, vesinik jt.

Harjutus 2.

1. Too näiteid tahketest kehadest.
2. Nimeta tahkete kehade ühised omadused.
3. Nimeta vedelike ühised omadused.
4. Milliseid vedelikke sa tunned?
5. Missugused on gaaside ühised omadused?
6. Missugust ainet näeme kõige sagedamini kolmes erinevas olekus?

§ 4. Mõõtmised.

Igapäevases elus, tehnikas, põllumajanduses, aga samuti ka füüsikaliste nähtuste tundmaõppimise käigus on sageli tarvis läbi viia mitmesuguseid mõõtmisi. Nii näiteks on vaja võtta enne ülikonna või kleidi õmblemist mõõtu ning alles siis nende mõõtude järgi lõigata lahti riie. Et kindlaks teha kolhoosipõllu suurust, tuleb mõõta selle pikkus ja laius. Masinate ehitamisel on tarvis pidevalt mõõta nende üksikosi. Füüsikas on näiteks kehade langemise tundmaõppimiseks vaja mõõta keha langemise kõrgust, langeva keha kiirust ja langemise aega. Pikkus, pindala, kiirus, aeg — kõik need on füüsikalised suurused.

Füüsikalisi suurusi saab alati mõõta.

Mõõta mingit suurust — see tähendab võrrelda seda suurust teise samaliigilise suurusega, mis on võetud mõõduühikuks.

Nii näiteks tuleb laua pikkuse mõõtmisel võrrelda seda teise pikkusega, mis on võetud pikkuse mõõduühikuks, näiteks meetriga.

Iga füüsikalise suuruse mõõtmiseks on võetud kasutusele oma mõõduühikud. Pindala mõõtmiseks kasutatakse pindala mõõduühikut, kiiruse mõõtmiseks kiiruse mõõduühikut, aja mõõtmiseks aja mõõduühikut jne.

§ 5. Meetrisüsteem.

Paljude sajandite jooksul kasutati erinevates maades erinevaid mõõduühikuid ehk mõõdusüsteeme. Isegi ühe maa piires ei olnud ühtseid mõõte. Nii kasutasid tsaari-Venemaal tislerid ja puusepad pikkuse mõõtmiseks arssinat ja verssokit, mehhaanikud kasutasid jalga ja tolli, raudteelased aga sülda ja selle sajandikke.[1] Mõõduühikute mitmekesisus segas teaduse ja tehnika arengut ja muutis kaubavahetuse riikide vahel keeruliseks. Oli tarvis ühtset rahvusvahelist mõõduühikute süsteemi.

Selliseks süsteemiks sai XVIII sajandi lõpul Prantsusmaal väljatöötatud mõõduühikute m e e t r i s ü s t e e m. Selle süsteemi eeliseks teiste süsteemidega võrreldes on kümnendikjaotuste kasutamine tema kõikide mõõduühikute juures.

Meetrisüsteem sai oma nimetuse pikkusühiku m e e t e r nimetusest, mis on süsteemi aluseks. Sõna m e e t e r tuleneb kreekakeelsest sõnast *metron*, mis tõlgituna tähendab mõõtu.

Selle süsteemi võttis kasutusele enamik maid.

Venemaal tegi palju tööd meetrisüsteemi kasutuselevõtmiseks ja mõõtmistehnika parandamiseks suur vene teadlane D. M e n d e l e j e v.

Meie kodumaal võeti meetrisüsteem kasutusele kohe pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

§ 6. Pikkusmõõdud.

Meetrisüsteemis on pikkusmõõdu põhiühikuks m e e t e r.

Meeter on rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe kriipsu vaheline kaugus[2] (joon. 7).

Rahvusvaheline algmeeter on valmistatud plaatina ja iriidiumi[3] sulamist. Seda algmeetrit hoitakse Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos Prantsusmaal Sèvres'i (Pariisi lähedal) linnas.

Rahvusvahelise algmeetri koopiad on olemas paljudes maailma maades. NSV Liidus on kaks sellist koopiat. Üks neist, mida hoitakse Leningradis, on pikkusühiku põhietaloniks meie maal.

Meeter on ligikaudu võrdne ühe neljakümnemiljondikuga Maa meridiaani pikkusest.

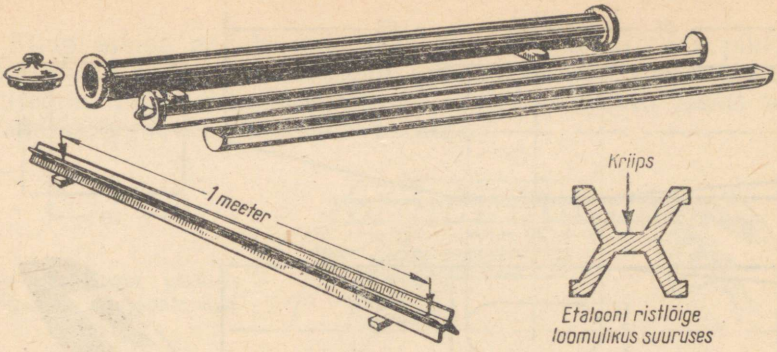
Meetrist suuremate pikkuste mõõtmiseks kasutatakse pikkusühikuid, mis on meetrist 10, 100 ja 1000 korda suuremad. Nende ühikute nimetused kujutavad endast sõna meeter ja kreekakeel-

---

[1] arssin = 71,1 m; 1 süld = 3 arssinat = 2,13 m; 1 verssok = $\frac{1}{16}$ arssinat = 4,44 cm; 1 toll = 2,54 cm; 1 jalg = 30,48 cm.

[2] 1960. aastal võeti meetri defineerimisel aluseks valguse lainepikkus. (*Toim.*)

[3] Plaatina ja iriidium on metallid, mis ei roosteta.



Joon. 7. Rahvusvaheline algmeeter. Ülal on kujutatud ümbrised, milles hoitakse algmeetrit. Nooled näitavad kohti, kuhu on kantud meetri algust ja lõppu tähistavad joonekesed.

sete sõnade «deka» (kümme), «hekto» (sada) ja «kilo» (tuhat) liiteid:

1 dekameeter (dam) = 10 m;
1 hektomeeter (hm) = 100 m;
1 kilomeeter (km) = 1000 m.

Kõiki meetrisüsteemi ühikuid märgitakse ühe- või kahetähelise tingmärgiga, kus esimene täht näitab eesliidet, teine aga põhiühikut.[1]

Meetrist lühemate pikkuste mõõtmiseks kasutatakse pikkusühikuid, mis on meetrist 10, 100 ja 1000 korda lühemad. Nende ühikute nimetused on saadud sõna meeter ja ladinakeelsete sõnade «detsi» (kümme), «senti» (sada) ja «milli» (tuhat) liitmisel:

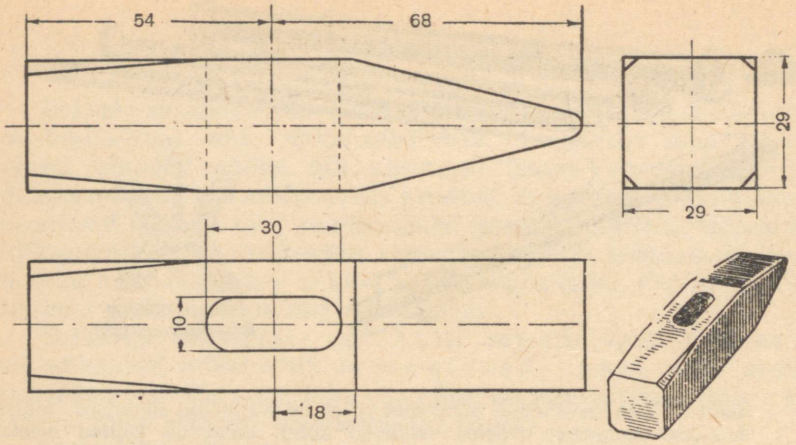
1 detsimeeter (dm) = 0,1 m;
1 sentimeeter (cm) = 0,01 m;
1 millimeeter (mm) = 0,001 m.

Tuhandikku millimeetrit nimetatakse mikromeetriks (miljondik meetrit). Sõna «mikron» tuleneb kreekakeelsest sõnast *mikros* (väike).

1 mikromeeter (μm) = 0,001 mm.

Praktikas kasutatakse mitmesuguseid pikkusühikuid. Suuremaid pikkusi, näiteks linnadevahelisi kaugusi, mõõdetakse kilomeetrites. Masinaosade mõõtmed antakse tehnikas millimeetrites. Joonisel 8 on toodud vasara tööjoonis. Mõõtmed sellel joonisel on antud millimeetrites.

[1] Erandi moodustab eesliide «deka», mida märgitakse kahe tähega: da, seega ühiku «dekameeter» lühend on kolmetäheline — dam.



Joon. 8. Vasar ja selle tööjoonis.

Harjutus 3.

1. Õpi oma käte ja sõrmede pikkuste abil määrama pikkusi 1 m, 1 dm ja 1 cm (vt. lk. 15, tabel I, joonis 1).
2. M. V. Lomonossovi nimelise Moskva Riikliku Ülikooli kõrgus maapinnalt torni tipuni on 240 m. Avalda see kõrgus kilomeetrites.
3. Nõukogude reaktiivreisilennuk ТУ-104 võib ühe tunniga lennata 1000 km, hääl levib õhus aga ühe sekundiga 340 m. Kumb liikumine on kiirem?
4. Tänapäeval valmistatakse tehastes traate, mille diameeter on 5 μm. Väljenda selle traadi diameeter sentimeetrites.
5. Inimese juukse diameeter on 0,05 mm. Väljenda see suurus mikromeetrites.

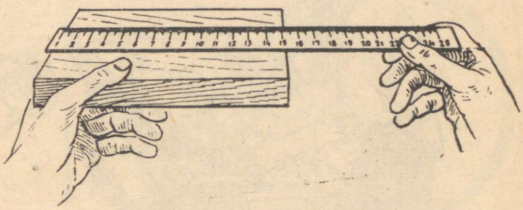
§ 7. Pikkuste mõõtmine.

Mõõtes mingi eseme pikkust, teeme kindlaks, mitu korda saab meie poolt ühikuks võetud pikkust, näiteks meetrit, paigutada piki mõõdetavat eset. Kui toa pikkuse mõõtmisel saab meetripikkust joonlauda paigutada piki seina kuus korda, siis see tähendab, et toa pikkus on 6 meetrit.

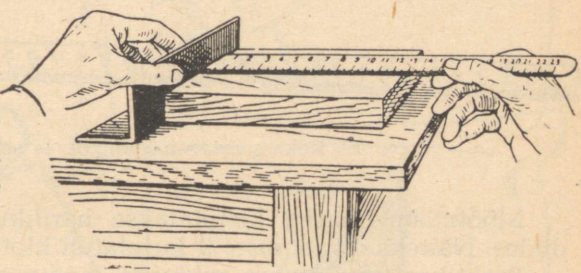
Väiksemate pikkuste mõõtmiseks kasutatakse jaotustega joonlauda. Mõõteriistades kasutatavat jaotustega joonlauda nimetatakse s k a a l a k s[1].

[1] Sõna skaala tuleneb ladina keelest ja tähendab treppi.

Mingi eseme, näiteks joonistel 9 ja 10 kujutatud klotsi pikkuse mõõtmiseks asetatakse joonlaud sellele esemele nii, et joonlaua nulljaotus ühtiks eseme ühe otsaga. Sel juhul näitab eseme teise otsaga ühtiv jaotus mõõdetavat pikkust.

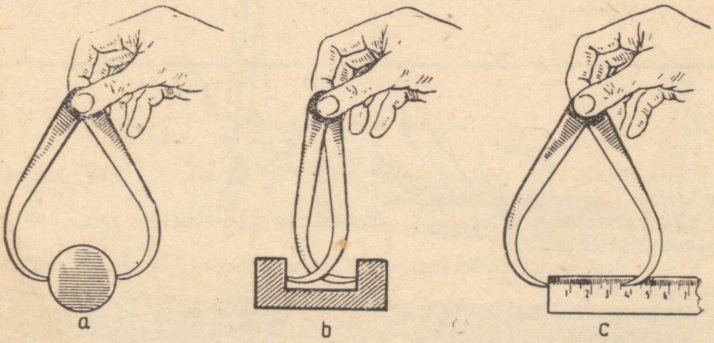


Joon. 9. Klotsi pikkuse mõõtmine puujoonlauaga.

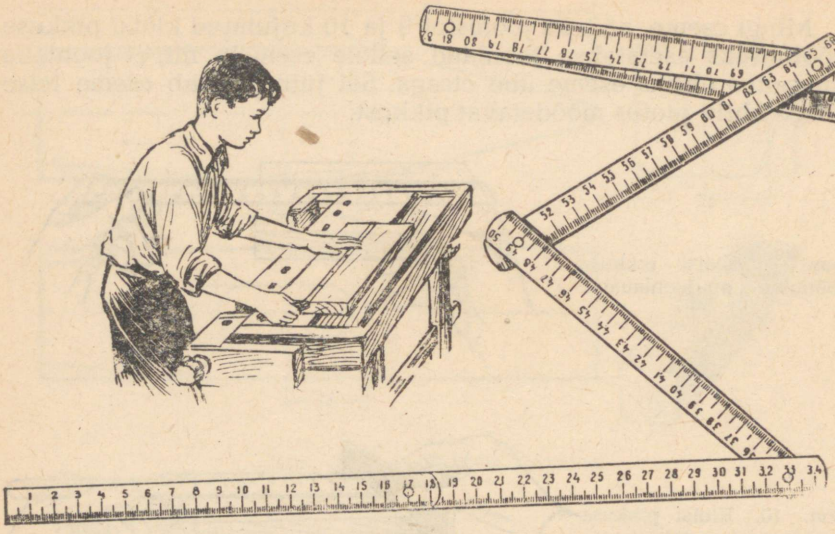


Joon. 10. Klotsi pikkuse mõõtmine metalljoonlauaga. Klotsi ääre ja joonlaua nulljaotuse täpsemaks kokkusobitamiseks kasutatakse tuge.

Ava või ümmarguse keha diameetrit mõõdetakse tastri ja joonlaua abil. Tastri harud seatakse selliselt, et mõõdetav keha oleks tihedalt nende vahel (joon. 11, *a*). Seejärel asetatakse tastri harude otsad joonlauale ja loetakse sellelt mõõtmistulemus (joon. 11, *c*). Ava diameetri mõõtmist selgitab joonis 11, *b*.



Joon. 11. Ümmarguse keha *(a)* ja ava *(b)* diameetri mõõtmine tastriga. Paremal *(c)* on näidatud mõõtmistulemuse lugemine metalljoonlaualt.



Joon. 12. Kokkumurtav mõõdupulk ja selle kasutamine.

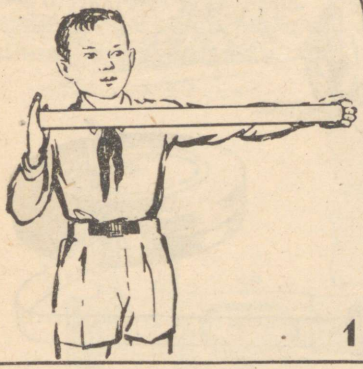
Mõõtmistulemused kirjutatakse harilikult üles kümnendmurdudes. Näiteks on joonisel 9 kujutatud klotsi pikkus 15,2 cm.

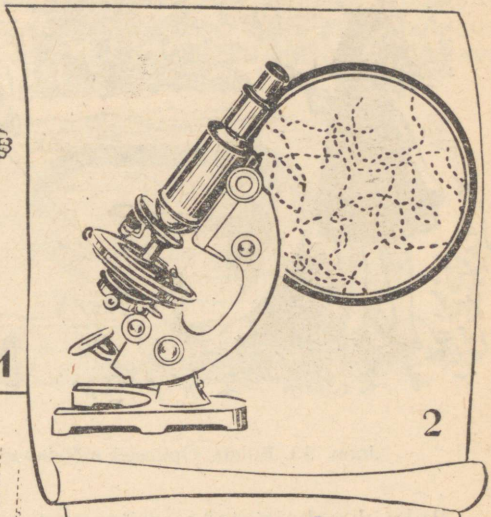
Praktikas kasutatakse pikkuste mõõtmiseks sageli kokkumurtavat mõõdupulka pikkusega 1 m (joon. 12) ja ruletti (joon. 13).

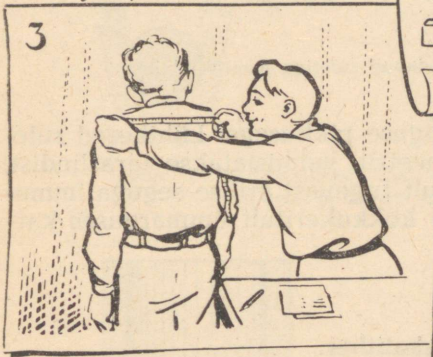
Kokkumurtava mõõdupulgaga võib mõõta pikkust täpsusega 1 mm. Kokkumurtult võtab selline mõõdupulk vähe ruumi ning teda on mugav kanda taskus. Joonisel 12 on kujutatud õpilane, kes kasutab nimetatud mõõdupulka puidutöökojas.

Selgitus tabeli I juurde.

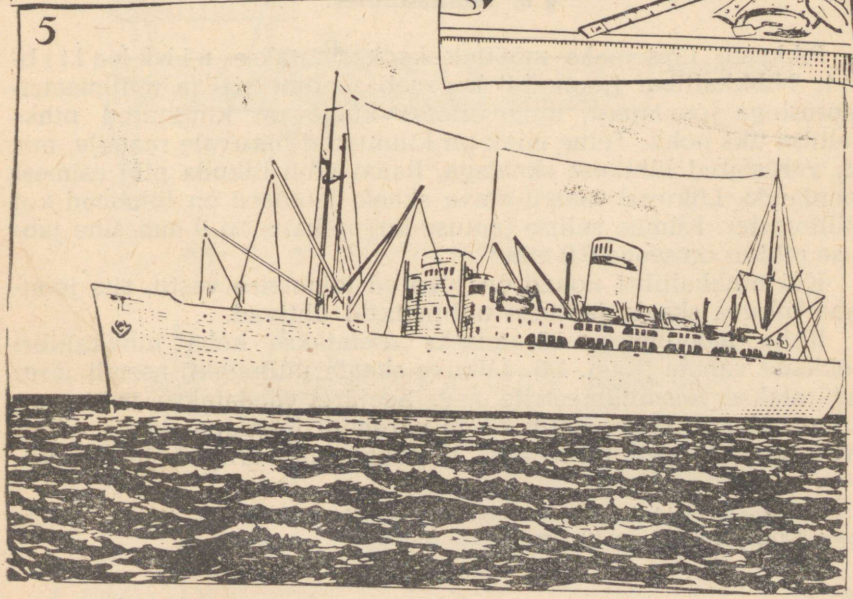
1. Poiss hoiab 1 m pikkust joonlauda. Kasulik on oma käte pikkuse järgi osata määrata 1 m suurust vahemaad.
2. Tugeva lahutusvõimega mikroskoobi abil vaadeldavate mikroobide suurust mõõdetakse mikromeetrites.
3. Riiete õmblemisel võetakse mõõtu sentimeetrijaotustega mõõdulindiga (rätsepa mõõdulint).
4. Kaubanduses kasutatakse kangaste mõõtmiseks puust või metallist meetripikkust joonlauda.
5. Tehnikas antakse kõikide masinate ja seadmete osade mõõtmed millimeetrites, vaatamata sellele, et masinad või seadmed võivad olla seejuures ise küllaltki suured. Joonisel kujutatud laeva pikkus on näiteks üle 150 meetri.

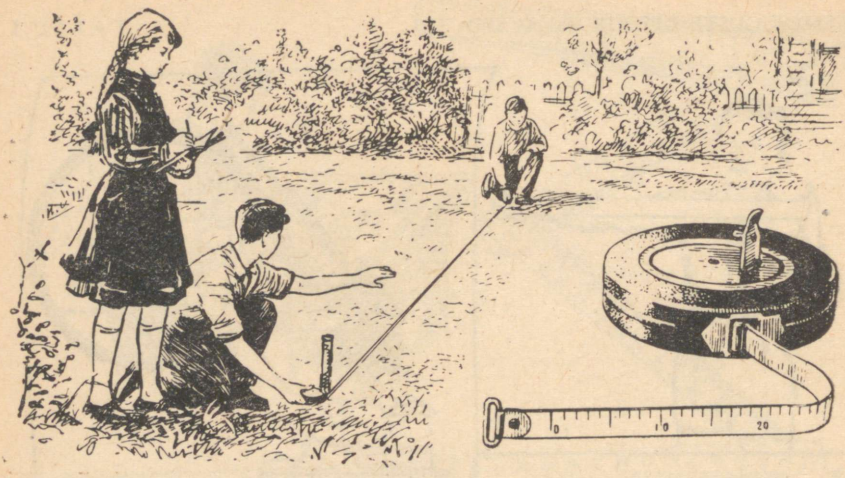

1


2


3


4


5



Joon. 13. Rulett. Õpilased mõõdavad ruletiga maatüki laiust.

Ruletid valmistatakse mitmesuguse pikkusega. Lühikesed ruletid, lindi pikkusega kuni kolm meetrit, valmistatakse teraslindist, pikemad (kuni 50 m) aga harilikult tugevast erilise seguga immutatud riideribast. Lint ise asetseb kokkukeritult ümmarguses karbis (joon. 13).

§ 8. Nihkkaliiber.

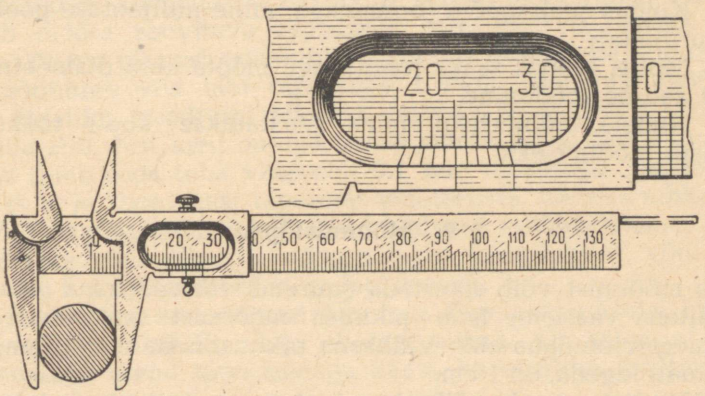
Pikkuste täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse nihkkaliibrit. Nihkkaliiber (joon. 14) koosneb sentimeetri- ja millimeetrijaotustega joonlauast, mille esiotsa külge on kinnitatud nihkkaliibri üks nokk. Teine nokk on kinnitatud liikuvale raamile, mis on varustatud lühikese skaalaga. Raam võib liikuda piki esimest joonlauda. Liikuval raamil oleva skaala jaotused on lühemad kui millimeeter. Kümne sellise jaotuse kogupikkus on 9 mm, ühe jaotuse pikkus on seega 0,9 mm.[1]

Kui nihkkaliibri nokad on lükatud teineteise vastu, siis joonlaua liikuva skaala jaotuste nullpunktid ühtivad.

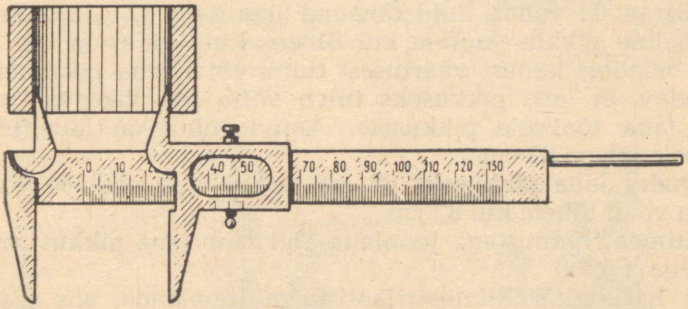
Keha mõõtmete määramiseks asetatakse keha nihkkaliibri nokkade vahele (joon. 14). Liikuva skaala nullpunkti asendi järgi määratakse täismillimeetrite arv. Seejärel vaadatakse, mitmes liikuva skaala kriips ühtib kõige paremini joonlaua skaala mingi kriipsuga. Täismillimeetritele lisatakse siis kriipsu järjekorra-

[1] Mõnedel nihkkaliibritel on liikuvale raamile kantud 20 jaotust. Nende kogupikkus joonlaual on 19 mm.

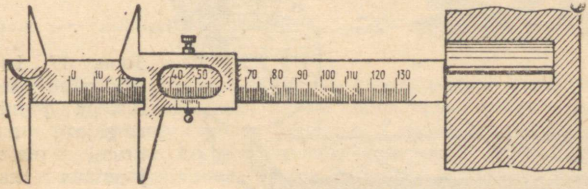
numbrile vastav arv millimeetri kümnendikke. Jooniselt 14 on näha, et liikuva skaala nulljaotus asetseb tagapool joonlaua 20 mm kriipsu, liikuva skaala kriipsudest ühtib aga joonlaua kriipsudega kõige paremini kuues kriips. Järelikult on mõõdetava silindri diameeter 20,6 mm.



Joon. 14. Nihkkaliiber. Ülal on kujutatud nihkkaliibri põhiskaala ja liikuv skaala (suurendatult).



Joon. 15. Ava diameetri mõõtmine nihkkaliibriga.



Joon. 16. Augu sügavuse mõõtmine nihkkaliibriga.

Joonistel 15 ja 16 on kujutatud ava diameetri ja augu sügavuse mõõtmine nihkkaliibriga.

Harjutus 4.

1. Kuidas saab mõõta joonlauaga, mille nulljaotuse-poolne ots on murdunud?
2. Mõtle, kuidas saaks joonlauaga mõõta kera diameetrit. Tee kodus selline mõõtmine.
3. Nimeta mõõteriistu, mida kasutatakse kooli töökodades pikkuste mõõtmiseks.

§ 9. Mõõtmistäpsus.

Iga mõõtmist võib sooritada suurema või väiksema täpsusega. Näitena vaatleme laua pikkuse mõõtmist sentimeetrijaotustega meeterjoonlaua abil. Väikseim pikkus, mida me saame sellelt joonlaualt lugeda, on 1 cm.

Mõõteriista skaala väikseima jaotuse suurust nimetatakse jaotuse väärtuseks.

Meie joonlaua jaotuse väärtus on 1 cm.

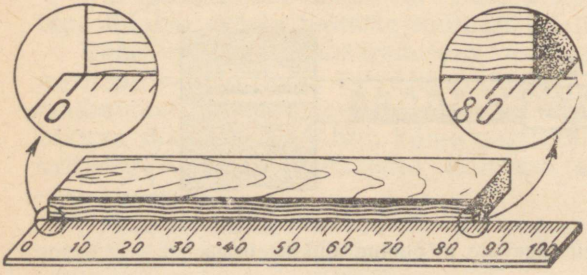
Jooniselt 17 näeme, et mõõdetava lauatüki vasakpoolne ots ühtib joonlaua nulljaotusega, parempoolne ots asetseb aga jaotuste 81 ja 82 vahel, kuid lähemal jaotusele 82. Järelikult on laua tõeline pikkus suurem kui 81 cm, kuid väiksem kui 82 cm. Kumb nendest kahest väärtusest tuleb võtta laua pikkuseks? On arusaadav, et laua pikkuseks tuleb võtta see väärtus, mis on lähem laua tõelisele pikkusele. Antud juhul on laua tõelisele pikkusele lähem 82 cm.

Lugedes laua pikkuseks 82 cm, teeme aga väikese vea, sest laud on veidi lühem kui 82 cm.

Sentimeetrijaotustega joonlaua abil saab laua pikkust määrata täpsusega 1 cm.

Kui kasutada millimeetrijaotustega joonlauda, siis saab laua pikkust mõõta juba suurema täpsusega — täpsusega 1 mm.

§ 8 kirjeldatud nihkkaliiber võimaldab mõõta täpsusega 0,1 mm.



Joon. 17. Laua pikkuse mõõtmine sentimeetrijaotustega joonlauaga. Ülal ringides on näidatud prussi otste ühtimine joonlaua skaala jaotustega.

Seega, **mõõtmise täpsuse määrab ära mõõteriista skaala jaotuse väärtus.**

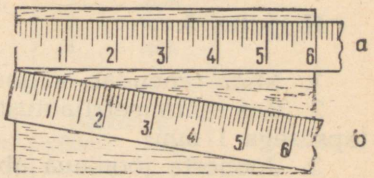
Kui me mõõtsime laua pikkuse täpsusega 1 cm, siis tähendab see seda, et mõõtmistulemus erineb laua tõelisest pikkusest alati vähem kui 1 cm. Millimeetrijaotustega joonlaua kasutamisel on viga väiksem kui 1 mm jne.

Mõõtmisel kasutatakse harilikult sellist mõõteriista, mis võimaldab mõõta soovitava täpsusega. Kui meil on näiteks tarvis lõigata 20 cm pikkust traaditükki, siis on küllaldane, kui traaditüki mõõtmine viia läbi täpsusega 1 mm. Seepärast mõõdame meile vajaliku traaditüki pikkust hariliku millimeetrijaotustega joonlaua abil. Kui meil on aga tarvis mõõta sama traadi diameetrit, siis tuleb seda teha vähemalt 0,1 mm täpsusega. Selleks on muidugi vaja joonlauast täpsemat mõõteriista, näiteks nihkkaliibrit. Võib aga kasutada ka § 11 kirjeldatud mõõtmisviisi.

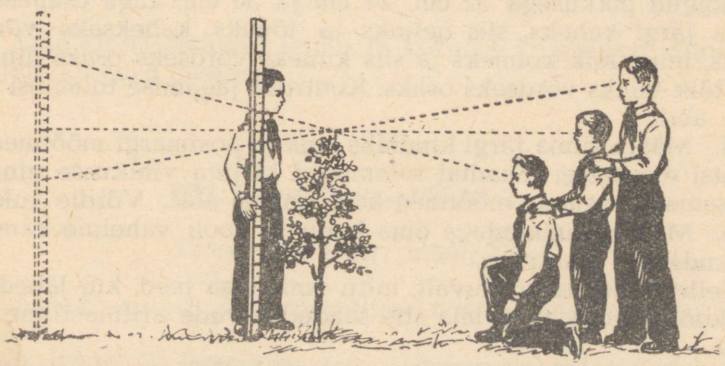
Kuid ka väga täpsete mõõteriistade kasutamisel võib teha suure vea, kui mõõtmist ei viida läbi õigesti.

Joonisel 18, *a* on näidatud joonlaua õige asend klotsi pikkuse mõõtmisel, joonisel 18, *b* aga ebaõige asend. On selge, et joonlaua ebaõige asend toob endaga kaasa ka ebaõige mõõtmistulemuse.

Eriti suure vea mõõtmistulemuse lugemisel põhjustab silma ebaõige asend (joon. 19).

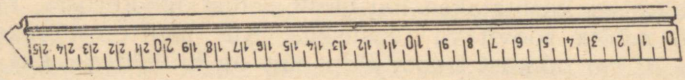


Joon. 18. Joonlaua õige *(a)* ja ebaõige *(b)* asend klotsi pikkuse mõõtmisel.



Joon. 19. Mõõtmistulemuste lugemise õigsus oleneb silma asendist. Puukese kõrguse kindlaksmääramisel selle taha asetatud joonlaua abil saab iga õpilane erineva tulemuse. Tagumisele õpilasele, kelle silmad on maapinnast kõige kõrgemal, näib puuke lühem, esimesele aga pikem kui nende vahel seisvale õpilasele. Mõõtmisviga on seda väiksem, mida lähemal asub joonlaud mõõdetavale puukesele.

Silma asendist tingitud viga mõõtmistulemuse lugemisel on seda väiksem, mida lähemal on joonlaua skaala mõõdetavale esemele. Seepärast ongi heade joonlaudade skaalad ehitatud selliselt, et nad ühtivad mõõdetava joonega. Selleks on joonlauad tehtud kaldservalised (joon. 20).



Joon. 20. Kaldservaline joonlaud.

Mõõteriistade, aga samuti ka meie meeleorganite ebatäiuslikkusest tingituna saame mõõtmisel alati ainult ligikaudse tulemuse, mis on mõõdetava suuruse tegelikust väärtusest kas veidi suurem või väiksem.

Mõõdetava suuruse tegelikule väärtusele on kõige lähemal mitme mõõtmistulemuse aritmeetiline keskmine.

Harjutus 5.

1. Mida tähendab väljend «mõõta pikkus täpsusega 1 mm»?
2. Kas sentimeetrijaotustega joonlaua abil saab mõõta pikkust täpsusega 1 mm?
3. Joonesta joonlaua abil paberile (kuid mitte ruudulisele) sirglõigud pikkusega 32 cm, 24 cm ja 30 cm. Jaga esimene lõik silma järgi kaheks, siis neljaks ja lõpuks kaheksaks võrdseks osaks, teine lõik kolmeks ja siis kuueks võrdseks osaks ning kolmas lõik viieks võrdseks osaks. Kontrolli jagamise tulemusi mõõtmise abil.
4. Määra silma järgi kindlaks laua ja postmargi mõõtmed ning pliiatsi diameeter. Saadud tulemused kirjuta vihikusse ning leia siis samade esemete mõõtmed ka joonlaua abil. Võrdle tulemusi.
5. Mõõda sammudega oma kodu ja kooli vaheline kaugus ja väljenda see meetrites.

Selleks loenda korduvalt, mitu sammu sa teed, kui lähed kooli või koolist koju, ning leia siis saadud arvude aritmeetiline keskmine.

Seejärel tee kindlaks oma sammu keskmine pikkus. Selleks märgi hoovis 10 m pikkune vahemaa ning käi see läbi mitu korda, leides iga kord, mitu sinu sammu mahub sellesse vahemaasse, kusjuures arvesta ka poolikuid samme. Tulemus kirjuta tabelisse.

Lõpuks leia kodu ja kooli vaheline kaugus meetrites ja kirjuta ka see tabelisse.

Kodu ja kooli vaheline kaugus sammudes	Sammu pikkus meetrites	Kodu ja kooli vaheline kaugus meetrites

§ 10. Laboratoorne töö nr. 1.

Pikkuste mõõtmine.

Töövahendid: täisnurkne puidust või metallist klots; joonlaud[1].

Töö käik: 1. Mõõda millimeetrijaotustega joonlaua abil neli korda klotsi pikkust, laiust ja kõrgust, näiteks igal mõõtmisel mööda eri serva. Mõõtmistulemused kirjuta tabelisse.

Pikkus	Laius	Kõrgus
1. ... mm 2. ... mm 3. ... mm 4. ... mm	1. ... mm 2. ... mm 3. ... mm 4. ... mm	1. ... mm 2. ... mm 3. ... mm 4. ... mm
Keskmine pikkus ... mm	Keskmine pikkus ... mm	Keskmine pikkus ... mm

2. Leia klotsi pikkuse, laiuse ja kõrguse keskmised väärtused ja kirjuta ka need tabelisse.

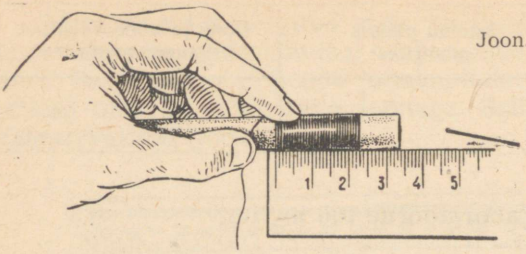
§ 11. Laboratoorne töö nr. 2.

Traadi diameetri mõõtmine.

Töövahendid: tükk peenikest traati; pliiats või sulepea; joonlaud.

Töö käik: 1. Peenikese traadi diameetri mõõtmiseks mähi pliiatsile või sulepeale tihedalt üksteise kõrvale 20—30 keerdu traati ja mõõda siis joonlaua abil selle mähitud osa pikkus nii nagu näidatud joonisel 21.

[1] Joonlaua asemel võib kasutada ka nihkkaliibrit.



Joon. 21. Peenikese traadi diameetri mõõtmine

2. Korda mõõtmist veel kaks korda, võttes iga kord erineva arvu keerde.
3. Arvuta mähise pikkuse ja keerdude arvu järgi traadi diameeter (piirdu kahe numbriga).
4. Leia diameetri saadud kolme väärtuse aritmeetiline keskmine.
5. Mõõtmistulemused kirjuta tabelisse.

Jrk. nr.	Mähise pikkus	Keerdude arv	Traadi diameeter	Traadi keskmine diameeter
1.				
2.				
3.				

6. Kuidas saaks kindlaks teha traadi diameetri määramise täpsust?
7. Kuidas saab millimeetrijaotustega joonlaua abil ligikaudselt kindlaks teha õpiku lehe paksuse? Tee kodus selline mõõtmine.

§ 12. Pindalade mõõtmine.

Pindala mõõduühikuteks võetakse selliste ruutude pindalad, mille külgede pikkused on kas 1 mm, 1 cm, 1 dm, 1 m jne. Selliseid ühikuid nimetatakse vastavalt ruutmillimeetriks (lühendatult mm^2), ruutsentimeetriks (cm^2), ruutdetsimeetriks (dm^2), ruutmeetriks (m^2).

Kui üks pikkusühik on teisest 10 korda suurem, siis vastav pindalaühik on teisest 100 korda suurem:

$$1\ cm^2 = 10\ mm \times 10\ mm = 100\ mm^2;$$
$$1\ dm^2 = 10\ cm \times 10\ cm = 100\ cm^2;$$
$$1\ m^2 = 10\ dm \times 10\ dm = 100\ dm^2.$$

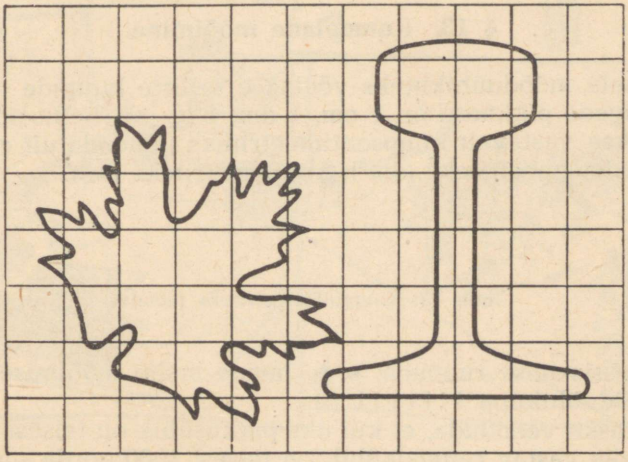
Maatükkide pindala mõõtmisel kasutatakse mõõduühikuks hektarit (ha):

$$1\ ha = 100\ m \times 100\ m = 10\,000\ m^2.$$

Riikide, suurte järvede, merede ja ookeanide pindalad väljendatakse harilikult ruutkilomeetrites (km^2):

$$1\ km^2 = 1000\ m \times 1000\ m = 1\,000\,000\ m^2.$$

Ruudulise paberi abil võib küllalt täpselt mõõta mitmesuguste kujundite pindalasid. Selleks tuleb mõõdetav kujund asetada ruudulisele paberile (joon. 22) ja joonistada siis paberile kujundi kontuur. Seejärel leitakse kontuuri sisse jäänud tervete ruutude arv ning lisatakse sellele pool nende ruutude arvust, millest kontuurjoon läbi läheb. Saadud arv korrutatakse ühe ruudu pindalaga ning nii saadaksegi joonestatud kujundi pindala.



Joon. 22. Kujundite pindala mõõtmine ruudulise paberi abil.

Kui kujund on paberile joonistamiseks liialt suur, siis joonistatakse ta paberile mingi arv korda (näiteks kaks korda) väiksemana.

Nii näiteks on joonisel 22 raudteerööpa ristlõige ja vahtraleht kujutatud kaks korda väiksematena, kui nad tegelikult on (pindala on seejuures neli korda väiksem).

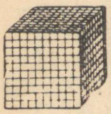
Kujundite pindala mõõtmiseks võib kasutada millimeetrivõrku, mis on trükitud läbipaistvale paberile. Selline paber asetatakse joonisele või plaanile, leitakse kirjeldatud viisil ruutude arv ning nii saadaksegi kujundi pindala.

Harjutus 6.

1. Ruudulise paberilehe ühe ruudu serva pikkus on 0,5 cm. Määra sellise paberi abil oma saapatalla pindala. Selleks aseta saabas paberile ja joonista sellele saapatalla kontuur. Võta saabas paberilt ja tee kindlaks, kui suur on sinu saapatalla pindala ruutsentimeetrites. Saadud arv kirjuta üles, sest seda on sul edaspidi tarvis.
2. Leia jooniselt 22 raudteerööpa ristlõike pindala, kui joonis on kaks korda vähendatud.
3. Määra silma järgi oma toa, laua ja õpiku pikkus ja laius ning arvuta nende pindalad. Seejärel mõõda vastavad pikkused joonlauaga ning võrdle tulemusi.

§ 13. Ruumalade mõõtmine.

Ruumala mõõduühikuteks võetakse selliste kuupide ruumalad, mille külgede pikkused on 1 cm, 1 dm, 1 m jne. Selliseid ühikuid nimetatakse vastavalt kuupsentimeetriteks (lühendatult cm^3, joon. 23), kuupdetsimeetriteks (dm^3), kuupmeetriteks (m^3).



Joon. 23. Kuupmillimeetriteks jaotatud kuupsentimeeter.

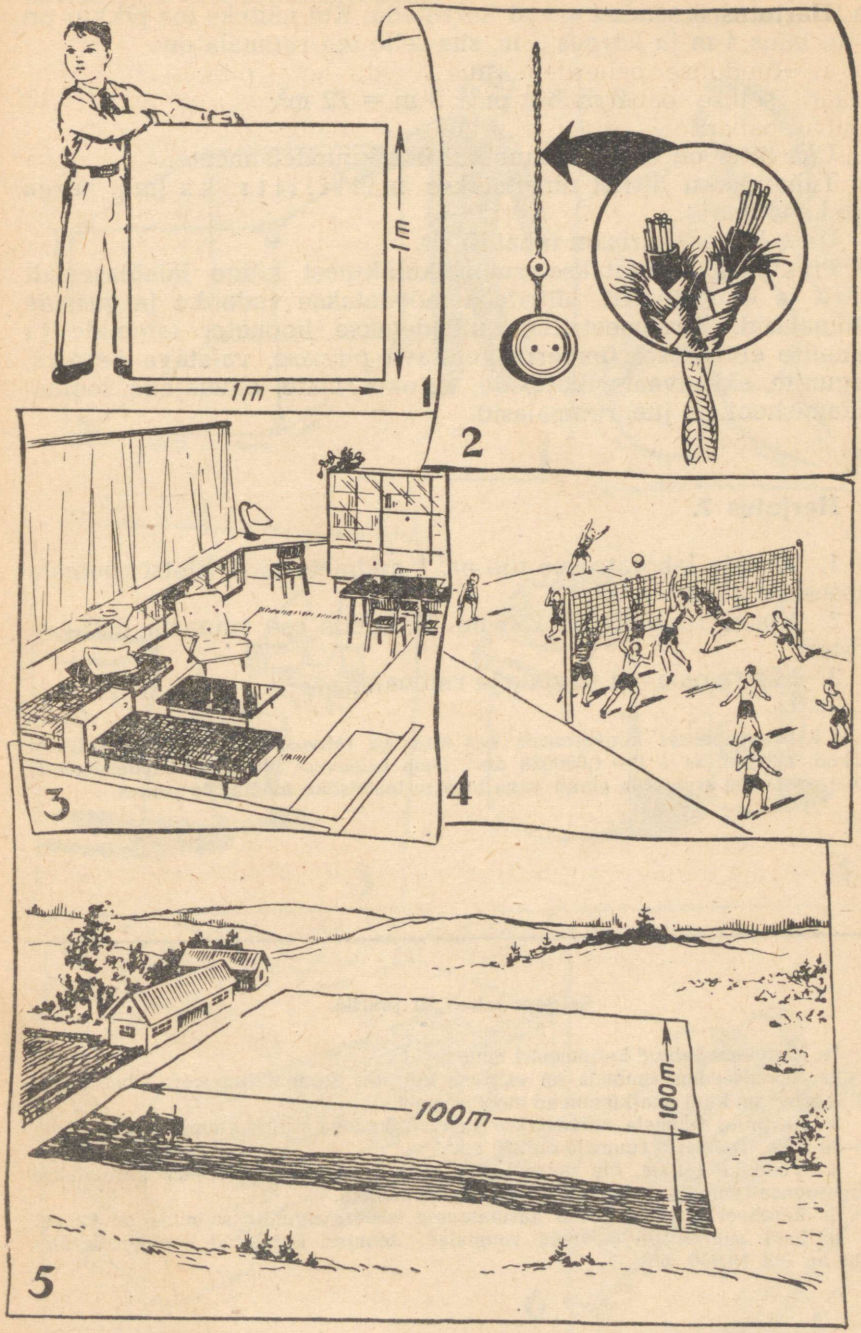
Nõude sisemise ruumala, s. o. nende mahu mõõtmisel kasutatakse mõõduühikuna liitrit (l).

Pole raske veenduda, et kui üks pikkusühik on teisest 10 korda suurem, siis vastav ruumalaühik on teisest 1000 korda suurem:

$$1\ cm^3 = 10\ mm \times 10\ mm \times 10\ mm = 1000\ mm^3;$$
$$1\ dm^3 = 10\ cm \times 10\ cm \times 10\ cm = 1000\ cm^3;$$
$$1\ m^3 = 10\ dm \times 10\ dm \times 10\ dm = 1000\ dm^3.$$

Selgitus tabeli II juurde.

1. Joonisel on kujutatud õpilane, kes hoiab käes 1 m^2 suurust papitükki.
2. Väikseid pindalasid, näiteks elektrijuhtmete ristlõigete pindalasid, mõõdetakse ruutmillimeetrites. Joonisel kujutatud mitmest peenikesest traadikiust koosneva elektrijuhtme ristlõike pindala (kogupindala) on 1,5 mm^2.
3. Tubade pindala mõõdetakse ruutmeetrites. Joonisel kujutatud toa pikkus on 6 m, laius 5 m ja pindala 30 m^2.
4. Võrkpalliväljaku pindala on 18 m × 9 m = 162 m^2.
5. Maatükkide pindala mõõdetakse hektarites. Joonisel on kujutatud ruudukujuline maatükk, mille pindala on 1 ha.


1m
1m
1
2
3
4
100m
100m
5

Risttahukakujulise keha, näiteks klotsi või toa ruumala leidmiseks tuleb mõõta ühtedes ja samades ühikutes tema pikkus, laius ja kõrgus ning saadud arvud korrutada. Kui näiteks toa pikkus on 6 m, laius 4 m ja kõrgus 3 m, siis selle toa ruumala on

$$6 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 72 \text{ m}^3.$$

Üks liiter on niisama suur kui üks kuupdetsimeeter.[1]

Tuhandikku liitrist nimetatakse milliliitriks (ml). Seega 1 ml = 1 cm^3.

Ühes kuupmeetris on tuhat liitrit.

Praktikas kasutatakse ruumalaühikutest kõige laialdasemalt liitrit ja kuupmeetrit. Liitritega mõõdetakse vedelike ja gaaside ruumalasid. Kuupmeetritega mõõdetakse hoonete, tammide ja kanalite ehitamisel ümberpaigutatava pinnase, valatava betooni, vagunite, ekskavaatorikoppade, autokoormate, elumajade, loomapidamishoonete jne. ruumalasid.

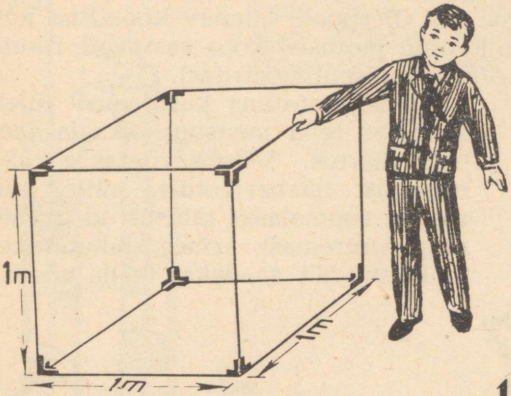
Harjutus 7.

1. Arvuta laboratoorse töö nr. 1 andmete järgi klotsi ruumala täpsusega 1 cm^3.
2. Klaasi ruumala on 250 ml. Väljenda see ruumala dm^3-tes; m^3-tes.
3. Määra oma toa pindala ja ruumala.

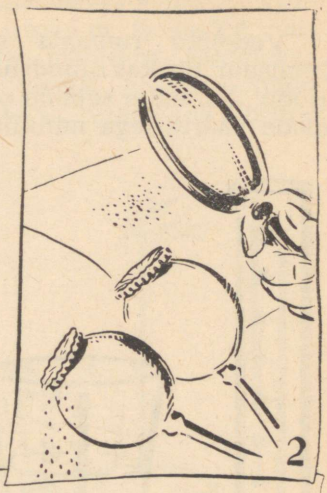
[1] Rahvusvahelisel konverentsil, kus kinnitati rahvusvahelised meetrisüsteemi ühikud, märgiti, et 1 l = 1,000028 dm^3. Seda erinevust liitri ja kuupdetsimeetri vahel on tarvis arvestada ainult väga täpsete teaduslike mõõtmiste juures.

Selgitus tabeli III juurde.

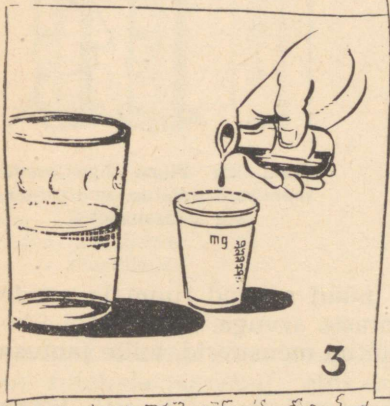
1. Keppidest tehtud kuupmeetri mudel.
2. Mooniseemne ruumala on väiksem kui üks kuupmillimeeter. Ühes kuupmillimeetris on kuni paarkümmend mooniseemet.
3. Ravimite ruumala mõõdetakse sageli tilkadega. Ühes kuupsentimeetris on 30—40 tilka. Teeklaasi ruumala on 250 cm^3.
4. Vedelike (piima, õli, petrooleumi jne.) ruumala mõõtmiseks kasutatakse mitmesuguse ruumalaga, näiteks liitrisi mõõteanumaid.
5. Raudteel bensiini veoks kasutatavate tsisternvagunite ruumala on 62 m^3.
6. Eriti suured on hoonete ruumalad. Joonisel kujutatud koolihoone üldmaht on üle 10 000 m^3.



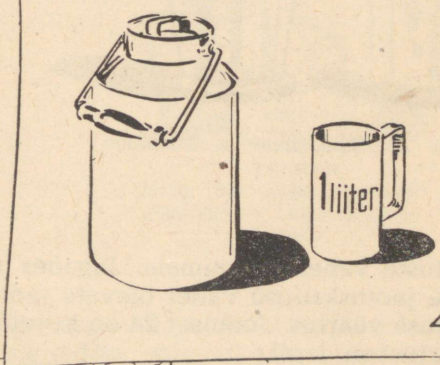
1



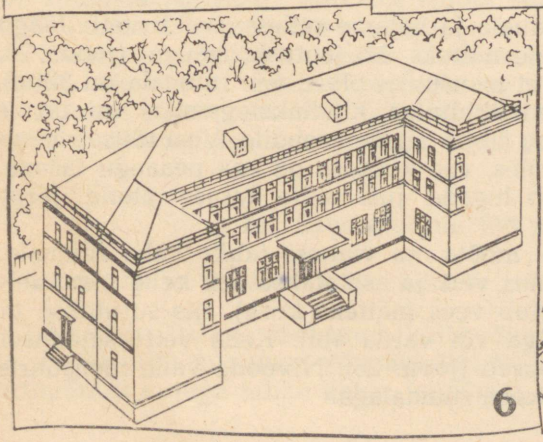
2



3

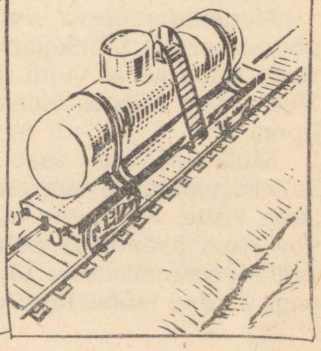


4



6

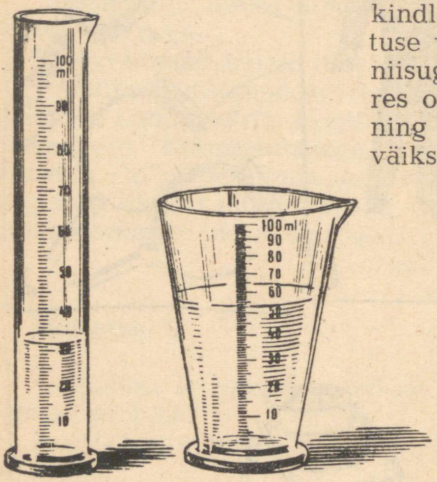
5



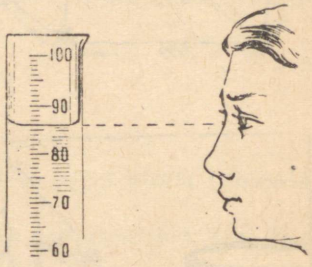
§ 14. Mensuurid.

Vedelike ruumala mõõtmiseks kasutatakse mensuure. Mensuur on kas silindriline või ülespoole laienev kooniline nõu (joon. 24), mille seinale on kantud jaotused koos vastavate ruumalade väärtustega milliliitrites (kuupsentimeetrites).

Enne mensuuri kasutamist tuleb kindlaks teha mensuuri skaala jaotuse väärtus. Selleks võetakse kaks niisugust naaberjaotust, mille juures on ruumalasid tähistavad arvud, ning suuremast arvust lahutatakse väiksem. Nii saadakse teada võetud



Joon. 24. Silindriline ja kooniline mensuur.



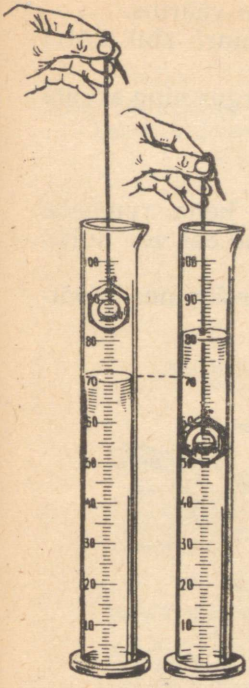
Joon. 25. Silma õige asend mensuuri valatud vee ruumala määramiseks.

jaotuste vaheline ruumala. Jagades nüüd saadud ruumala nende kahe jaotuskriipsu vahel olevate jaotuste arvuga, saadaksegi ühe jaotuse väärtus. Joonisel 24 on kujutatud mensuurid, mille jaotuse väärtus on 1 ml.

Asetame mensuuri lauale ja valame sellesse veidi vett. Jäägu veenivoo ühele kõrgusele näiteks 32. jaotuskriipsuga (joon. 24, vasakul). See tähendab, et mensuuris oleva vee ruumala on 32 ml.

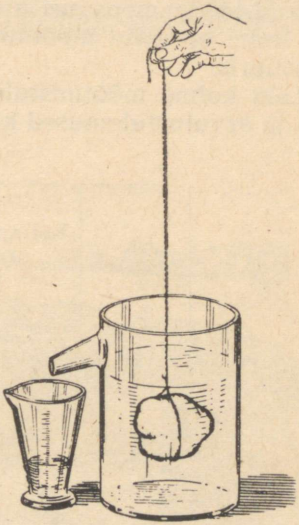
Mensuuris oleva vedelikuhulga kindlakstegemisel on tarvis pöörata erilist tähelepanu silma õigele asendile. Vesi tõuseb mensuuri seina ääres veidi üles, vee keskosa on aga peaaegu tasane. Vee nivoo kõrgus tuleb lugeda just selle tasase pinna järgi (joon. 25).

Mensuuri abil saab mõõta ka väikese tahke keha ruumala. Selleks valatakse mensuuri vett ja asetatakse siis keha üleni sellesse vette. Kui keha ujub vees (näiteks kork), siis surutakse ta vee sisse peenikese pulga või varda abil. Keha vetteasetamisel vee nivoo mensuuris tõuseb (joon. 26). Nivoode vahe mensuuris ongi võrdne mõõdetava keha ruumalaga.



Joon. 26. Nivoode vahe mensuuris enne ja pärast keha vetteasetamist on võrdne mõõdetava keha ruumalaga.

Kui keha on suur ja ei mahu mensuuri, siis võib tema ruumala määrata teisiti. Võetakse lai ülevooluanum (joon. 27), mis enne keha ruumala mõõtmist täidetakse kuni ülevoolutoruni veega. Asetades nüüd keha vette, voolab tema ruumalaga võrdne



Joon. 27. Keha ruumala määramine ülevooluanuma abil.

vee hulk ülevoolutoru kaudu anumast välja. Kui väljavoolanud vee ruumala mensuuri abil ära mõõta, siis saadakse teada ülevooluanumasse lastud keha ruumala.

Nõude ruumala määramiseks täidetakse need veega ning mõõdetakse siis nõusse valatud veehulk mensuuri abil. Kauplustes kasutatakse piima, taimeõli, petrooleumi jne. mõõtmiseks spetsiaalseid mõõteanumaid ruumalaga 1, 0,5 ja 0,25 l.

§ 15. Laboratoorne töö nr. 3.

Anuma mahu ja tahke keha ruumala mõõtmine mensuuriga.

Töövahendid: mensuur; kolb või rohupudel, mille ruumala on 50—100 ml; puu- või metallklots, mis mahub mensuuri; korrapäratu kujuga tahke keha; joonlaud; tükk niiti.

Töö käik: 1. Tee kindlaks mensuuri jaotuse väärtus.

2. Täida kolb kuni kaelani veega. Leia mensuuri abil kolvi ruumala. Tulemus kirjuta vihikusse.

3. Mõõda joonlauaga klotsi pikkus, laius ja kõrgus ning arvuta klotsi ruumala täpsusega 1 cm^3.

4. Mõõda klotsi ruumala mensuuri abil.

Võrdle leitud ruumalade suurusi.

5. Mõõda mensuuri abil korrapäratu kujuga keha ruumala. Tee kolm erinevat mõõtmist, muutes iga mõõtmise eel vee hulka mensuuris.

Leia kolme mõõtmistulemuse aritmeetiline keskmine. Mõõtmis- ja arvutustulemused kirjuta tabelisse.

Jrk. nr.	Korrapäratu keha ruumala (cm^3)	Kolme mõõtmise aritmeetiline keskmine (cm^3)
1.		
2.		
3.		

Harjutus 8.

1. Mille poolest erinevad üksteisest silindrilise ja koonilise mensuuri jaotused? Kuidas seda selgitada?

2. Mensuuri, mille skaala jaotuse väärtus on 1 cm^3, on valatud 200 cm^3 vett. Pärast rauatükki vette laskmist tõusis vee nivoo 250-nda jaotuseni. Kui suur on rauatüki ruumala?

3. Kuidas saab mensuuri abil mõõta väikeste kehade (haavlite, nööpnõelte, vedelikutilkade) ruumalasid? Tee vastavad katsed.

§ 16. Jõud.

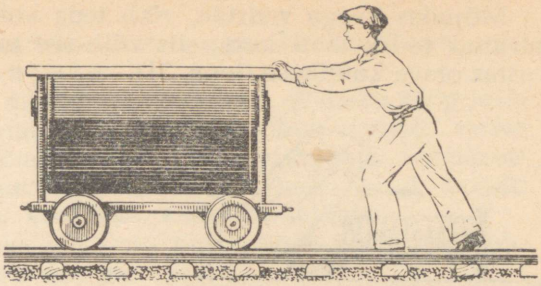
Igaüks meist on pidevalt kokku puutunud kehade vastastikuse mõju mitmesuguste juhtudega. Vaatleme neist mõningaid.

Tõugates kätega vagonetti (joon. 28), võime panna selle liikuma.

Traktor tõmbab atra, ader liigub ning künnab seejuures põldu (joon. 29).

Kui veepinnal ujuvale korgitükile pandud rauatükki mõjutada magnetiga, siis hakkab rauatükk koos korgiga liikuma (joon. 30).

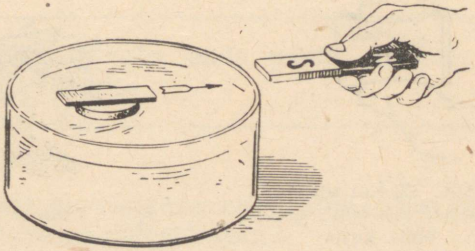
Joon. 28. Inimene lükkab kohalt vagonetti.



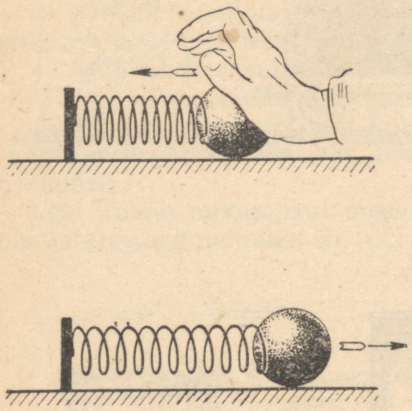


Joon. 29. Traktor veab atra.

Joon. 30. Magnet tõmbab rauatükki enda poole.



Mõjudes käega vedrule, võib teda kokku suruda. Kui kokkusurutud vedru lahti lasta, siis võib see panna liikuma tema otsa vastas oleva kuulikese (joon. 31).



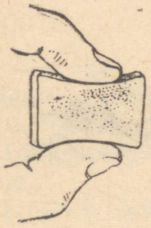
Joon. 31. Käsi surub vedru kokku. Pikenev vedru paneb liikuma tema otsa vastas oleva kuulikese.

Käega võib peatada lendava palli või muuta selle liikumise suunda.

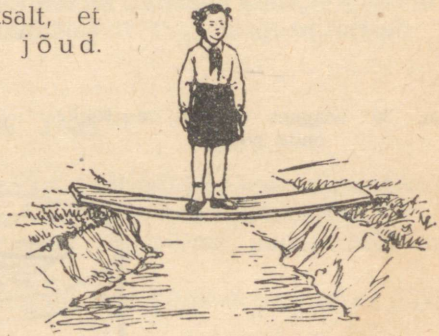
Kõikide nende näidete juures hakkas üks keha liikuma, jäi seisma või muutis oma liikumise suunda mingi teise keha mõjul.

Võib aga esineda ka selliseid juhtumeid, kus keha, mõjudes teisele kehale, ei muuda selle liikumist. Surudes näiteks sõrmega kummile, muutub seejuures ainult kummi kuju (joon. 32). Või teine näide — laud, mis on pandud üle oja, paindub inimese raskuse all (joon. 33). Siin on mõju avaldavaks kehaks inimene, mõju tulemuseks aga laua kuju muutumine.

Sageli ei öeldagi, missugune keha ja kuidas see keha mõjus antud kehale, vaid räägitakse lihtsalt, et antud kehale mõjus jõud.



Joon. 32. Kui suruda kummile, siis võib muuta tema kuju.



Joon. 33. Laud paindub inimese raskuse all.

Seega võib jõudu vaadelda kui keha liikumise või kuju muutumise põhjust.

Üks keha võib teisele mõjuda mitut moodi. Näiteks sepp lööb vasaraga metallitükile, laual lebav raskus rõhub lauale, vedur veab vaguneid, magnet tõmbab enda külge rauatükki. Seepärast võib nendel juhtumitel nimetada mõjuvaid jõude mitut moodi: **löögijõuks, rõhumisjõuks, veojõuks, külgetõmbejõuks.**

Et muuta keha liikumist või tema kuju, läheb erinevatel juhtumitel vaja erineva suurusega jõudusid.

Atra vedada on raskem kui tõugata kerget vankrikest. See aga tähendab, et adra liikumapanemiseks on vaja suuremat jõudu kui vankrikese liikumapanemiseks. Jämedast terastraadist valmistatud vedru venitamine on raskem kui peenest traadist vedru venitamine.

Mõjuva jõu suurust saab mõõta. Jõudude mõõteriistadega tutvume edaspidi.

§ 17. Raskusjõud. Keha kaal.

Kui laseme kivi käest lahti, siis kukub see maha. Täpselt sama juhtub ka iga teise kehaga, kui seda millegagi ei toetata.

Seome nüüd mingi keha külge niidi ja riputame ta siis selle niidi abil üles. Näeme, et see keha maha ei kuku, kuid niit on seejuures pingul.

Kui keha langemise takistamiseks asetada keha alla mingi alus, siis avaldab keha sellele alusele rõhku. Selles võib kergesti veenduda, kui asetada käele mingi ese.

Asetades käele mitmesuguseid esemeid, märkame, et ühed neist rõhuvad käele väiksema, teised aga suurema jõuga.

Mis on kõigi nende nähtuste põhjuseks? Selleks põhjuseks on maakera külgetõmbejõud.

Maa ei tõmba enda poole mitte ainult vahetult tema pinnal olevaid kehi, vaid ka selliseid, mis asuvad temast kaugel, näiteks Kuud, Maa kunstlikke kaaslasi ja teisi taevakehi. Kuid mida kaugemal on keha Maast, seda nõrgemini tõmbab Maa teda enda poole.

Jõudu, millega Maa tõmbab keha enda poole, nimetatakse raskusjõuks ehk keha kaaluks.

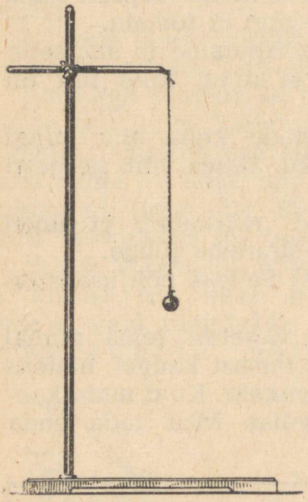
Harjutus 9.

1. Too näiteid kahe keha vastastikuse mõju kohta, kus see mõju avaldub löögina, rõhumisena, külgetõmbena.
2. Milles ilmneb jõu mõju?

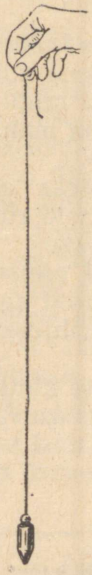
3. Too näiteid jõudude kohta, mis põhjustavad kehade kuju muutumise.
4. Too näiteid jõudude kohta, mis põhjustavad kehade liikumahakkamise või seismajäämise.
5. Mis on keha kaal?

§ 18. Vertikaalsiht. Püstlood.

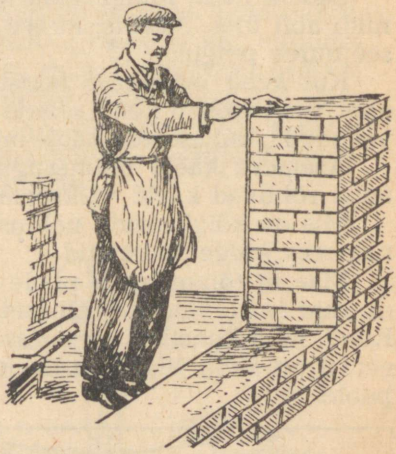
Raskusjõud mõjub maakera igas punktis ühes ja samas suunas. Selle suuna kindlaksmääramiseks kinnitame statiivi külge niidi, mille otsa on seotud väike koormus. Raskusjõu mõjul hoiab koormus niiti pingul (joon. 34). Paneme tähele, millises asendis on niit ja koormus, ning tõukame siis kergelt niidi otsas olevat koormust. Pärast mõningat võnkumist võtab niit koos koormusega oma lähteasendi tagasi. Kui niit läbi põletada, siis hakkab koormus oma raskuse mõjul langema. Katseliselt võib teha kindlaks, et koormus langeb mööda sirget, mille suunas niit on pingul.



Joon. 34. Raskus pingutab niiti vertikaalsuunas.



Joon. 35. Püstlood.



Joon. 36. Müürsepp kontrollib püstloega seina vertikaalsust.

Sihti, mille võtab niit tema otsa seotud koormuse mõjul, nimetatakse vertikaalsihiks ehk püstsihiks.

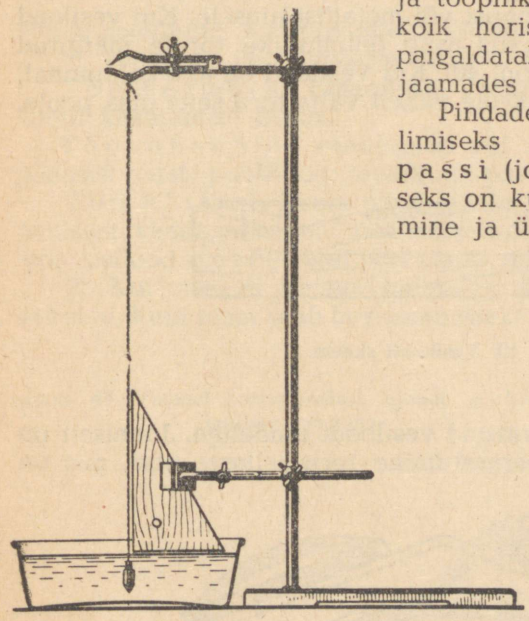
Niiti koos selle otsa seotud koormusega nimetatakse p ü s t l o o d i k s.

Püstloodi kasutatakse vertikaalsihi kindlaksmääramiseks. Joonisel 35 on kujutatud ehitustöödel kasutatav püstlood. Seinte laduмisel kontrollib müürsepp sellega seinte vertikaalsust (joon. 36).

§ 19. Horisontaalsiht. Vaaderpass ja vesilood.

Vertikaalsihiga ristiolevat sihti nimetatakse horisontaalsihiks. Klassi seinad on vertikaalsed. Põrand, mis moodustab seintega täisnurga, on horisontaalne.

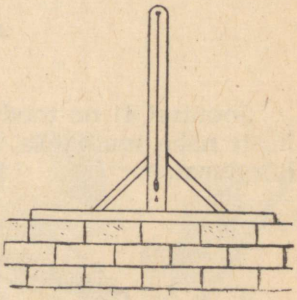
Ka vaikne vedelikupind laias anumas on horisontaalne. Seda võib katseliselt kontrollida. Riputame püstloodi laias anumas oleva vee pinna kohale ja paneme vastu loodinööri täisnurkse kolmnurga ühe kaateti. Sel juhul jääb kolmnurga teine kaatet veepinnaga paralleelseks (joon. 37). Siit järgnebki, et veepind on risti püstsihiga, s. t. ta on horisontaalne.



Joon. 37. Vedeliku pind laias anumas on horisontaalne.

Hoonete, mitmesuguste masinate ja tööpinkide vundamendid tehakse kõik horisontaalsed. Horisontaalselt paigaldatakse ka teerööpad raudteejaamades jne.

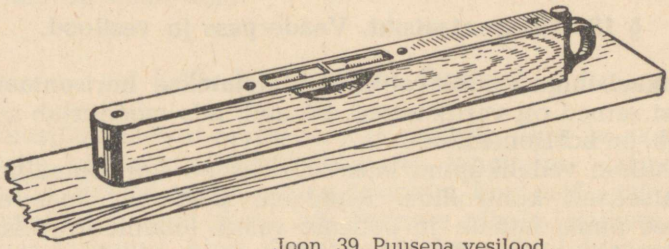
Pindade horisontaalsuse kontrollimiseks kasutatakse vaaderpassi (joon. 38). Vaaderpassi aluseks on küllalt pikk liist, mille alumine ja ülemine tahk on hööveldatud paralleelseteks. Aluse külge on täisnurga all kinnitatud teine liist. Piki püstliistu, risti alusega, on tõmmatud joon. Joone ülemisele otsale on kinnitatud püstlood. Kui vaaderpassi alus



Joon. 38. Vaaderpass.

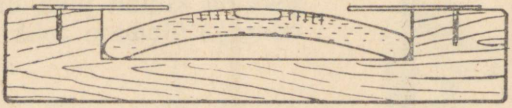
paigutada horisontaalsele pinnale, siis ühtib loodi niit liistule tõmmatud joonega[1].

Vaaderpassist täpsemaks horisontaalsihi kontrollimise riistaks on vesilood (joon. 39).



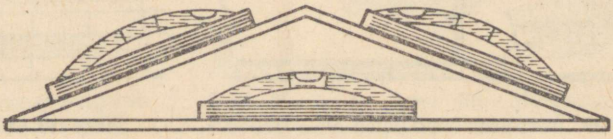
Joon. 39. Puusepa vesilood.

Vesiloodi põhiosaks on veidi kõver klaastoru, mis on peaaegu tervenisti täidetud piiritusega (torusse on jäetud ainult väike õhumull). Toru on kinnitatud puust või metallist alusele. Kui vesilood on horisontaalsel pinnal, siis asub õhumullike torule märgitud kahe kriipsukese vahel (joon. 40). Kui vesilood on aga kaldpinnal, siis nihkub mullike kriipsukeste vahelt välja toru selle otsa poole, mis asub kõrgemal.



Joon. 40. Vesiloodi skeem.

Joonisel 41 on toodud katseid vesiloodi mudeliga. Jooniselt on hästi näha mullikese ümberasetumine toru sellesse otsa, mis on kõrgemal.

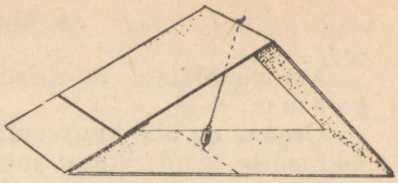


Joon. 41. Katseid vesiloodi mudeliga.

[1] Ehitustöölised nimetavad vaaderpassiks kahest vesiloodist koosnevat mõõteriista.

Harjutus 10.

1. Missugust sihti nimetatakse vertikaalseks? horisontaalseks?
2. Kontrolli kodus seinte, aknaraamide ja uksepiitade vertikaalsust.
3. Kuidas saab vedeliku pinda kasutada vaaderpassi kontrollimiseks?
4. Kontrolli kodus põranda, aknalaua ja oma töölaua horisontaalsust vaaderpassiga, mille oled valmistanud ise paksust paberist või kartongist vastavalt joonisele 42.



Joon. 42. Kartongist valmistatud vaaderpass.

§ 20. Laboratoorne töö nr. 4.

Pinna seadmine horisontaalseks vaaderpassi või vesiloodi abil ja esemete vertikaalsuse kontrollimine püstloodi abil.

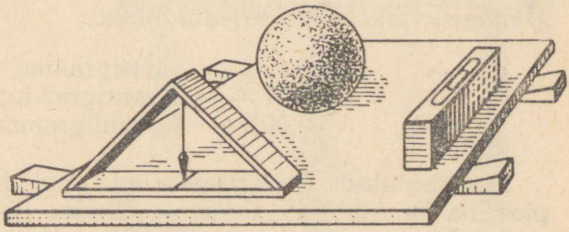
Töö eesmärk: omandada vaaderpassi, vesiloodi ja püstloodi kasutamise oskus.

Töövahendid: vaaderpass või vesilood; tasane puust või klaasist plaat; puukiilud; teraskuul; püstlood.

Töö käik: 1. Aseta plaat lauale ja kontrolli plaadi horisontaalsust vaaderpassi või vesiloodi abil. Selleks tuleb vaaderpass või vesilood asetada algul piki plaati, siis risti.

2. Kui plaat ei ole horisontaalne, siis lükka plaadi alla kiilusid seni, kuni plaat saab horisontaalseks.

Joon. 43. Tasasel horisontaalsel pinnal ei hakka kuulike veerema.



3. Aseta teraskuul horisontaalsele plaadile ja veendu, et kuul ei hakka veerema (joon. 43). Muuda plaadi asendit ja jälgi seejuures kuuli.

§ 21. Kaaluühikud.

Mõõduühikute meetrisüsteemis on kaaluühikuks võetud g r a m m (G).

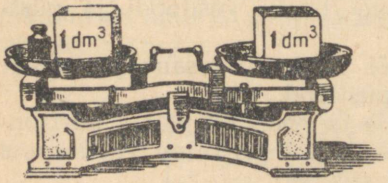
Gramm on ühe kuupsentimeetri puhta (destilleeritud) vee kaal 4-kraadise temperatuuri juures[1].

Kuna gramm on väga väike mõõduühik, siis praktikas osutub otstarbekamaks kasutada põhiühikuna grammist tuhat korda suuremat ühikut — k i l o g r a m m i (kG).

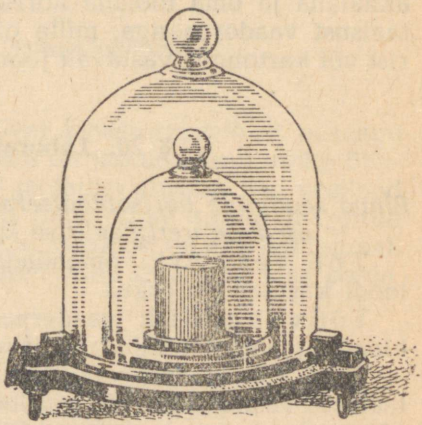
Kilogramm on ühe kuupdetsimeetri puhta vee kaal 4-kraadise temperatuuri juures (joon. 44).

Suurte kehade kaalu mõõtmiseks kasutatakse veelgi suuremaid mõõduühikuid:

100 kG = 1 tsentner (Ts)
1000 kG = 1 tonn (T)



Joon. 44. Kuupdetsimeeter vett kaalub üks kilogramm.



Joon. 45. Rahvusvahelise kilogrammi etaloonil on silindri kuju ning teda hoitakse spetsiaalsel alusel kahe klaaskupli all.

Mõnikord, näiteks ravimite valmistamisel, tuleb aga kasutada grammist väiksemaid mõõduühikuid:

0,1 G = 1 detsigramm;
0,01 G = 1 sentigramm;
0,001 G = 1 milligramm.

Mõõduühikute meetrisüsteemi kindlaksmääramisel valmistati plaatina ja iriidiumi sulamist silinder (joon. 45), mille kaal on väga lähedane 1 dm³ puhta vee kaalule, s. o. ühele kilogrammile. Selle silindri kaal Pariisi geograafilisel laiusel (48° põhjalaiust)

[1] Temperatuur määratakse täpselt kindlaks seepärast, et vesi muudab soojenemisel ja jahtumisel oma ruumala. 4-kraadisel temperatuuril on vee ruumala kõige väiksem.

võeti rahvusvahelise kilogrammi etalooniks. Seda etalooni hoitakse Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos, kus hoitakse meetri etaloonigi (§ 6). Rahvusvahelise kilogrammi etalooni üks täpne koopia asub ka meie maal, nimelt Leningradis.

Kaaluühiku defineerimisel räägitakse geograafilisest laiusest sellepärast, et ühe ja sama keha kaal maakera erinevates paikades ei ole ühesugune. Nii näiteks kaalub kilogrammi etaloon Maa poolustel 1,002 kG, ekvaatoril aga ainult 0,997 kG. Peale selle väheneb keha kaal ka tema eemaldumisega Maa pinnast. 10 km kõrgusel kaaluks näiteks kilogrammi etaloon umbes 0,997 kG. Sellest, miks keha kaal on erinevatel geograafilistel laiustel erinev ning väheneb maapinnalt kõrgemale tõusmisel, saad teada edaspidises füüsika õppimise käigus.

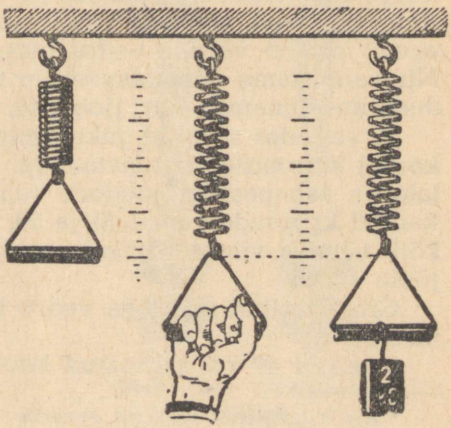
Harjutus 11.

1. Mitu grammi on 2,5 kG? 8760 mG?
2. Mitu grammi kaalub 125 cm^3 vett?
3. Mitu kilogrammi on 3784 G?
4. Mitu grammi on ühes tonnis?
5. Kui suur on ühe tsentneri vee ruumala?

§ 22. Jõudude mõõtmine.

Praktikas on sageli tarvis teada jõu suurust, millega üks keha mõjutab teist, näiteks traktori veojõudu, vasara löögijõudu, käe lihaste jõudu jne.

Selleks on kõigepealt vaja kindlaks määrata jõu mõõduühik. Kõige lihtsam on jõuühikuks võtta meie tuttavad kaaluühikud



Joon. 46. Jõu mõõtmine vedru abil.

gramm ja kilogramm. Tõepoolest, sest kaal on jõud. Seepärast võibki kaaluühikutega mõõta ka teisi jõude. Selgitame seda katsega. Kinnitame vedru ühe otsa konksu külge ning venitame ta siis käega teatud pikkuse võrra välja (joon. 46). Teeme nüüd kindlaks käe lihaste jõu, mis hoiab vedru antud asendis. Selleks laseme vedru käest lahti ning venitame ta uuesti sama pikkuse võrra välja vihtide abil. Olgu selleks vajalike vihtide koguraskus 2 kG. Järelikult tõmbas ta käsi vedrut 2 kG suuruse jõuga.

Riistu, millega mõõdetakse jõu suurust, nimetatakse dünamomeetriteks[1].

Dünamomeetreid on mitmesuguse ehitusega. Nende põhiosaks on terasvedru, mille kuju oleneb sellest, milliseks otstarbeks dünamomeetrit kasutatakse.

§ 23. Vedrudünamomeeter.

Koormame vedrut vihtidega (joon. 47, *a*). Näeme, et vedru pikeneb vastavalt koormuse suurenemisele. Kui vedru pikenes 50 G suuruse koormuse juures näiteks 20 mm (joon. 47, *b*), siis 100 G suuruse koormuse juures pikeneb ta 40 mm (joon. 47, *c*). 150 G suuruse koormuse juures 60 mm jne.

Kui mitu korda suureneb koormus, nii mitu korda on ka vedru pikenemine suurem. Vedru sellisel omadusel põhinebki dünamomeetri ehitus.

Lihtsaima dünamomeetri võime valmistada kahe konksuga vedrust, mis on kinnitatud puuliistule nii, nagu kujutatud joonisel 48, *a*. Vedru alumise otsa külge kinnitame osuti, puuliistule vedru taha kleebime aga puhta pabeririba.

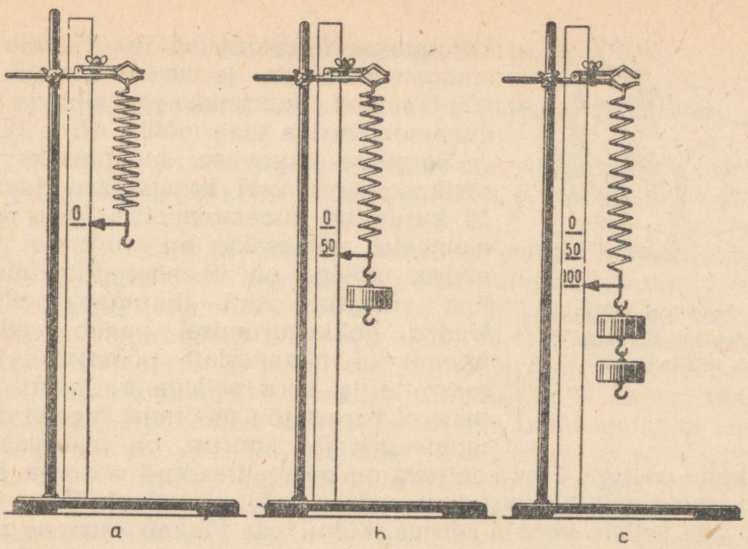
Märgime paberile kriipsukesega koormamata dünamomeetri osuti asendi. See kriips on nulljaotuseks. Hakkame nüüd vedrut koormama vihtidega, näiteks 50 G, 100 G, 150 G jne., ning märgime iga kord paberile osuti asukoha. Kriipsu juurde kirjutame arvu, mis on võrdne vedru otsa riputatud koormuse raskusega. Nii valmistame dünamomeetrile skaala ehk, nagu öeldakse, gradueerime dünamomeetri (joon. 48, *b*).

Arvestades seda, et pikenemine toimub võrdeliselt (sama arv korda) koormuse suurenemisega, võime arvutada ja kanda skaalale ka vahepealsed jõudude väärtused. Selleks jagame skaalale kantud kriipsude vahed (0 ja 50, 50 ja 100, 100 ja 150 jne.) veel kõik näiteks viieks võrdseks osaks. Nii saadud iga osa vastab jõule 10 G.

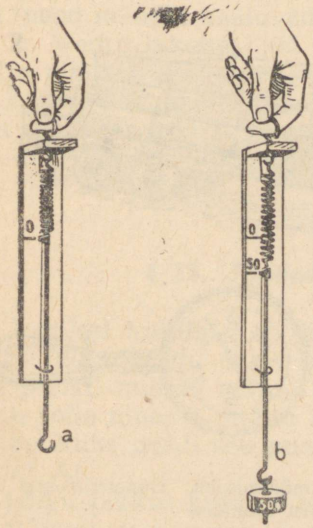
Gradueeritud skaalaga vedru kujutab endast lihtsaimat dünamomeetrit.

Joonisel 49 on kujutatud koolidünamomeeter, mida tavaliselt

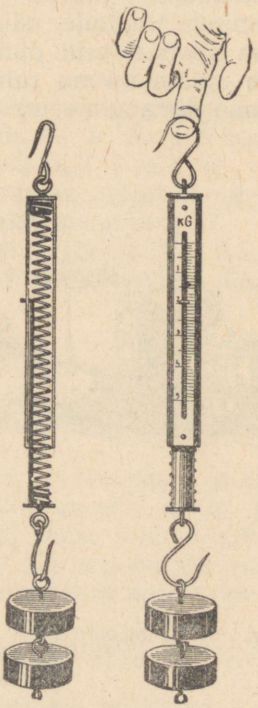
[1] Kreekakeelsetest sõnadest *dynamis* — jõud ja *metreo* — mõõdan.



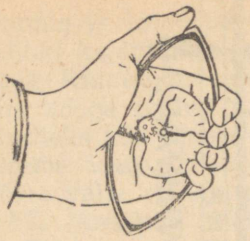
Joon. 47. Vedru pikenemine oleneb venitava jõu suurusest.



Joon. 48. Omatehtud vedrudünamomeetri gradueerimine.



Joon. 49. Koolidünamomeeter.

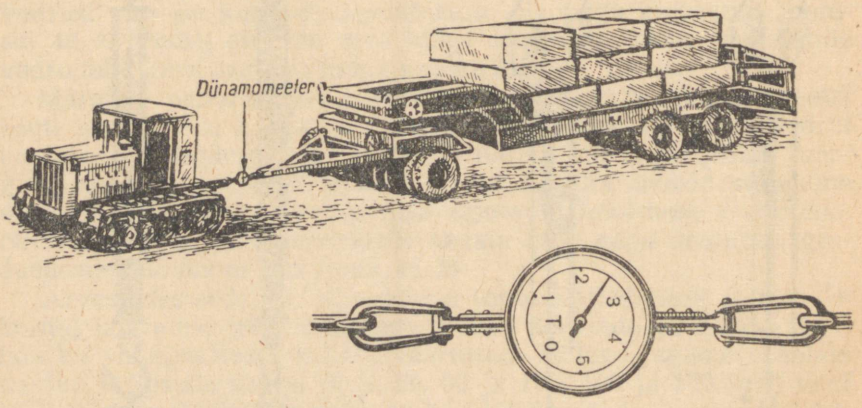


Joon. 50. Dünamomeeter sõrmede tugevuse mõõtmiseks.

kasutatakse füüsika tundides. Sellele dünamomeetrile on jaotused kantud iga 100 G tagant. Suurimaks jõuks, mida selle dünamomeetriga saab mõõta, on 5 kG.

Sõrmede tugevuse mõõtmiseks käe rusikasse surumisel kasutatakse joonisel 50 kujutatud dünamomeetrit. Selle dünamomeetri põhiosaks on ovaalne lehtvedru, millega on ühendatud mehhaaniline süsteem osuti liikumapanemiseks. Vedru kokkusurumisel paneb vedruga ühendatud hammaslatt pöörduma hammasratta ja koos sellega ka osuti. Selleks, et pärast jõu mõõtmist lugeda dünamomeetrilt jõu suurust, on riist varustatud kahe osutiga. Üks osutitest on püsivalt seotud vedruga. Selle osuti asend muutub vastavalt vedrule mõjuvast jõust. Teine osuti jääb aga sellele kohale seisma, kuhu teda lükkab esimene osuti. Sellist kahe osuti süsteemi kasutatakse ka mõnede teiste dünamomeetritüüpide juures.

Suurte jõudude, näiteks traktori veojõu mõõtmiseks kasutatakse spetsiaalseid dünamomeetreid. Selliste dünamomeetritega võib mõõta mitme tuhande kilogrammi suurusi jõude. Üks niisugune dünamomeeter on kujutatud joonisel 51.



Joon. 51. Dünamomeeter traktori veojõu mõõtmiseks. Dünamomeetri osuti näitab mõjuva jõu suurust tonnides.

§ 24. Laboratoorne töö nr. 5.

Dünamomeetri gradueerimine ja jõudude mõõtmine.

T ö ö v a h e n d i d: koolidünamomeeter, mille skaala on kaetud puhta paberiga; koormuste kogu; statiiv; metallklots või mõni muu keha.

T ö ö k ä i k: 1. Riputa dünamomeeter statiivi horisontaalvarda külge ja tõmba osuti taha paberiribale nullasendi kohta joon.

2. Riputa dünamomeetri otsa 100 G, 200 G, 300 G jne. raskusi koormusi, suurendades koormust alati 100 G võrra. Osuti asendid iga erineva koormuse puhul märgi skaalat katvale paberiribale.

3. Võta dünamomeeter statiivi küljest ära ja kirjuta iga jaotuskriipsu juurde sellele vastav jõud. Jaga nüüd iga kahe naaberkriipsu vahe pooleks. Tee kindlaks nii saadud jaotuse väärtus.

4. Leia selliselt gradueeritud dünamomeetri abil metallklotsi või mõne muu keha kaal. Võta nüüd pabeririba dünamomeetri skaala pealt ära ning leia sama keha kaal uuesti. Tulemused kirjuta vihikusse ning võrdle neid.

Harjutus 12.

1. Valmista kumminöörist dünamomeeter ning gradueeri see grammides. Gradueerimiseks võib kasutada 1-, 2-, 3- ja 5-kopikalisi (need mündid kaaluvad vastavalt 1 G, 2 G, 3 G ja 5 G).

2. Vedru pikenes 300 G raskuse koormuse mõjul 9 mm. Kui palju pikeneb see vedru 400 G suuruse koormuse mõjul?

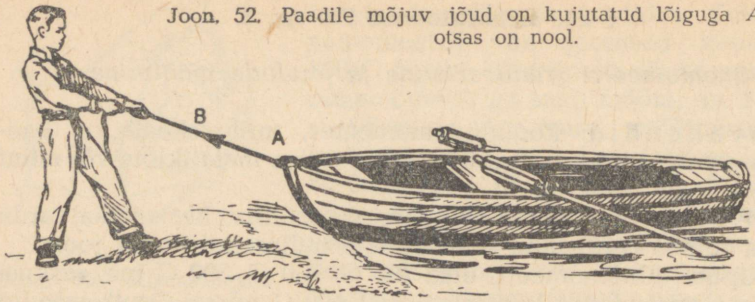
3. Vaguni puhvrivedru lüheneb 5-tonnise jõu mõjul 3,5 cm. Kui tugevasti rõhub vagun puhvrile, kui puhvrivedru lüheneb 2,8 cm?

§ 25. Jõudude graafiline kujutamine.

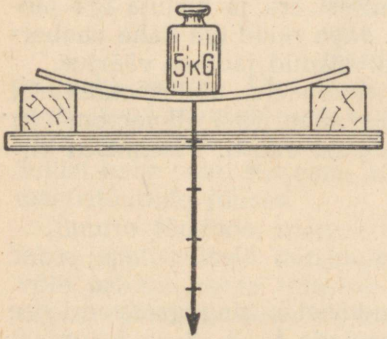
Joonisel kujutatakse jõudu sirglõiguna, mille otsa joonistatakse nool. Lõigu alguseks on jõu rakenduspunkt, s. o. keha see punkt, millele mõjub teine keha. Kui poiss tõmbab näiteks paati selle ninasse seotud köie abil (joon. 52), siis on jõu rakenduspunktiks paadi see punkt, kuhu on kinnitatud köis (joon. 52, punkt A).

Lõigu pikkus kujutab teatud mõõtkavas jõu arvulist väärtust. Nool lõigu otsas näitab jõu mõjumise suunda.

Joonisel 53 on kujutatud õhukest laudliistu painutav 5-kilogrammine jõud, mis mõjub vertikaalselt alla ning on rakendatud liistu keskpunkti.



Joon. 52. Paadile mõjuv jõud on kujutatud lõiguga *AB*, mille otsas on nool.



Joon. 53. Jõud, millega kaaluviht rõhub lauda, on 5 kG. Mõjuv jõud on kujutatud mõõtkavas: 1 cm — 1 kG, s. t. jõudu kujutava lõigu iga sentimeeter vastab jõule 1 kG.

Harjutus 13.

1. Kujuta joonisel järgmised jõud: a) keha kaalub 3 kG; b) pall löödi vertikaalselt üles jõuga 8 kG.

Mõõtkava: 1 cm — 1 kG.

2. Traktor ДТ-54 võib töötamisel arendada veojõudu 1000—2850 kG. Kujuta mõlemad need jõud graafiliselt mõõtkavas: 1 cm — 200 kG.

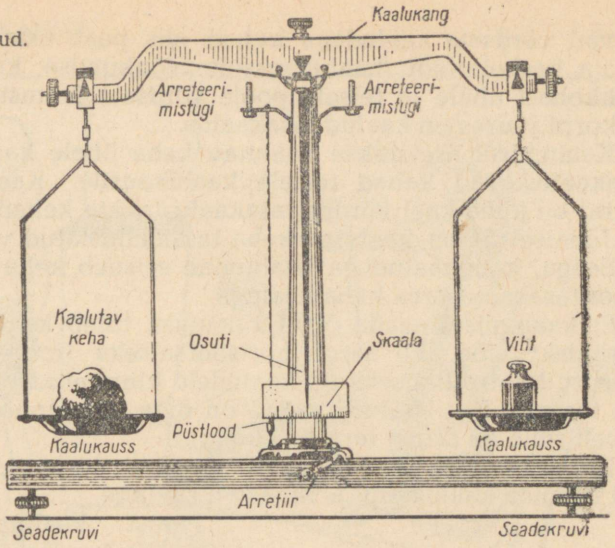
3. Tõstekraana tõstab vertikaalselt üles 800 kG raskust koormat. Kujuta graafiliselt koormale mõjuvad jõud mõõtkavas: 1 cm — 200 kG.

4. Horisontaalsel teel arendas mootorvedur veojõudu 3000 kG. Takistusjõud oli samal ajal 1000 kG. Kujuta need jõud graafiliselt mõõtkavas: 1 cm — 400 kG.

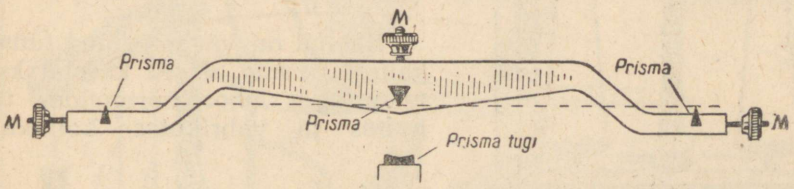
§ 26. Kaalud. Kehade kaalumine.

Riistu, mida kasutatakse kehade kaalumiseks, nimetatakse k a a l u d e k s. Joonisel 54 on kujutatud kangkaalud. Selliste kaalude tähtsaimaks osaks on kaalukang (joon. 54). Kangi kesk-

Joon. 54. Kangkaalud.



kohas ja otstel on kolmetahulised terasprismad. Keskmine prisma on pööratud teravikuga alla. Selle teraviku abil toetub kaalukang kaalusambale. Kangi otstel olevad prismad on pööratud teravikega üles (joon. 55). Kaalukangi keskkohta on kinnitatud osuti, mille ots liigub piki skaalat (joon. 54).



Joon. 55. Kaalukang. Terasprismad asuvad üksteisest ühesugustel kaugustel. Prismade teravikud on ühel ja samal sirgel.

Äärmiste prismade teravikel ripuvad kaalukausid. Kangkaalude juures peab kangi parema õla pikkus (kaugus parempoolse prisma teravikust keskmise prisma teravikuni) olema võrdne vasaku õla pikkusega (kaugus vasakpoolse prisma teravikust keskmise prisma teravikuni) ja parempoolse kaalukausi kaal võrdne vasakpoolse kaalukausi kaaluga. Kui kaalud on koormamata, siis peab kaalukang olema sellises asendis, et osuti oleks skaala keskpaigas. Sellise asendi saavutamiseks tuleb pöörata kangi otstes olevaid mutreid (joon. 55). Kui kaalukaussidel

asuvad võrdsete kaaludega kehad, siis peab osuti jääma samuti skaala keskele või (kaalukausside võnkumise korral) kalduma keskkohast ühele ja teisele poole võrdsete jaotuste võrra. Sellise olukorra juures on kaalud tasakaalus.

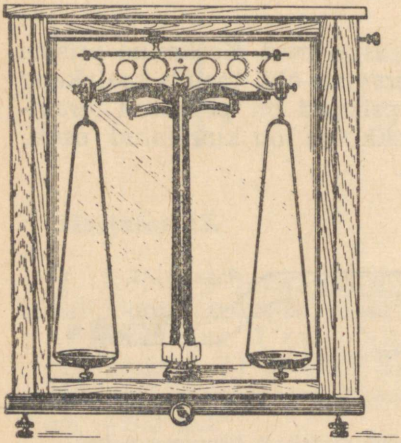
Kaalumisel asetatakse kaalutav keha ühele kaalukausile ning tasakaalustavad kehad teisele kaalukausile. Kaalude tasakaalu korral on keha kaal võrdne tasakaalustavate kehade kogukaaluga.

Joonisel 54 on kaalutav keha tasakaalustatud vihiga.

Seega, kangkaaludega kaalumine seisneb keha kaalu võrdlemises tasakaalustava keha kaaluga.

Et kaalumisel saada õiget tulemust, tuleb kaalude alus reguleerimiskruvide abil seada horisontaalseks (joon. 54). Horisontaalsuse kontrollimiseks on kaaludele kinnitatud püstlood ja selle alla teravik. Kui kaalude asend on õige, siis ripub püstloe raskus täpselt selle all asuva teraviku kohal.

Kaalusid tuleb hoida löökide ja põrutuste eest, sest need võivad rikkuda kaalukangi prismade teravikke.



Joon. 56. Analüütilised kaalud.

Pärast kaalumise lõppemist arreteeritakse kaalud aluse küljes oleva arretiiri abil. Arreteeritud kaalude kang toetub vastavatele tugedele ning seetõttu kangi prismad ei kulu.

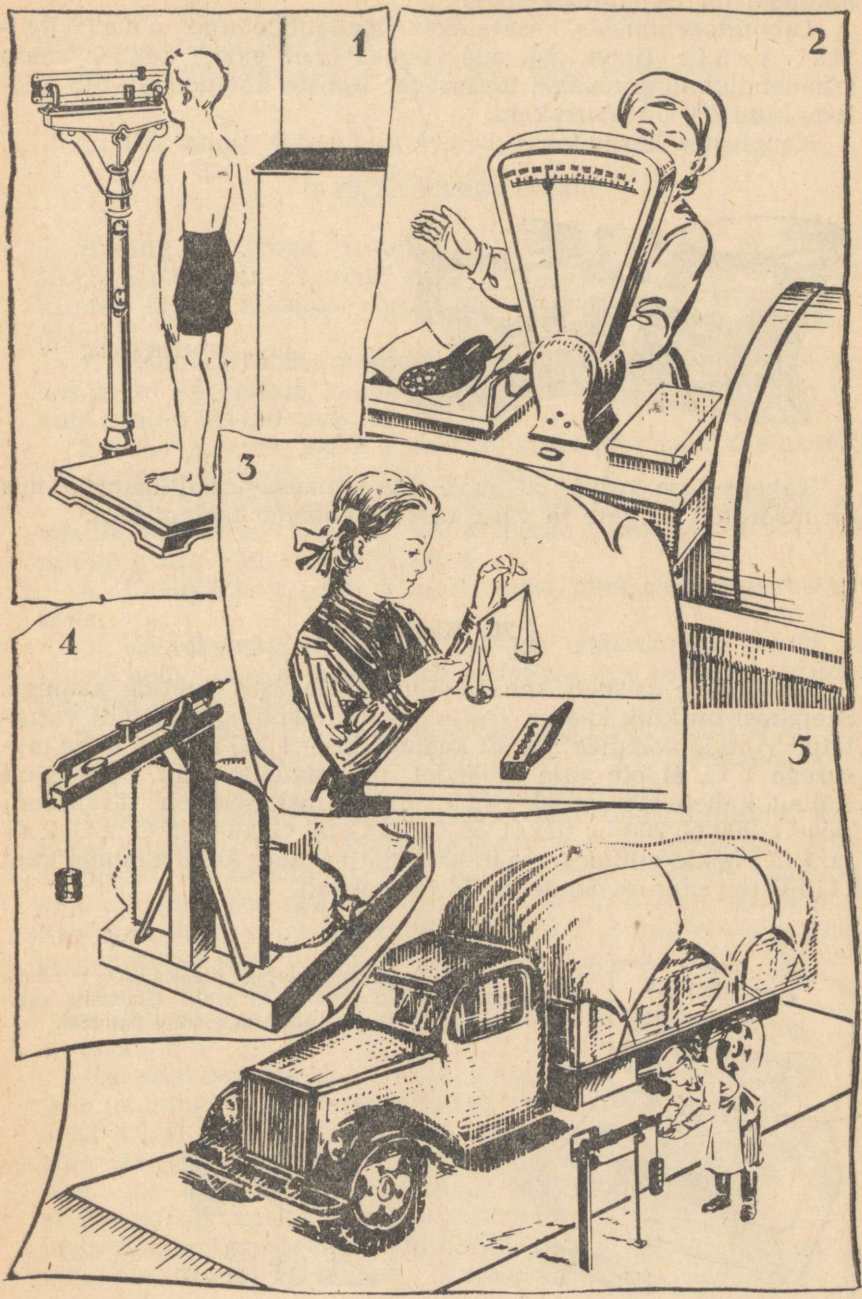
§ 27. Kaalude liigid.

Kaalud on väga levinud füüsikalised riistad. Neid kasutatakse teaduslikes laboratooriumides, tehastes ja vabrikutes, kolhoosi-

---

Selgitus tabeli IV juurde.

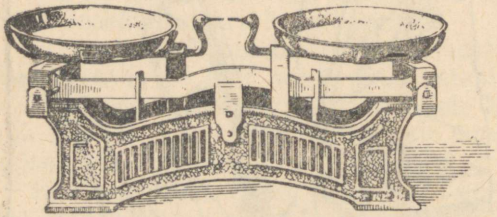
1. Meditsiinilised kaalud. Poisi kaal tasakaalustatakse kahe kandeskaaladel nihutatava vihiga. Alumise vihi kandeskaalal on jaotused iga 10 kG järel, ülemisel iga 50 G järel.
2. Osutiga letikaalud. Kaalukausile asetatud keha kaalu näitab kaalude osuti.
3. Koolikaalud.
4. Kümnendik- e. detsimaalkaalud. Sellistel kaaludel saab 1 kG raskuse vihiga tasakaalustada 10 kG raskuse koormuse.
5. Autokaalud. Need kaalud on ehitatud selliselt, et koormuse iga tonn tasakaalustatakse 1 kG raskuse vihiga (tuhandikkaalud).


1
2
3
4
5

des, kauplustes, raudteetranspordis ja mujal. Erineva otstarbega kaaludel on ka ehitus erinev.

Laboratooriumides kasutatakse nõndanimetatud *analüütilisi kaale* (joon. 56), mis võimaldavad mõõta kehade kaalu kümnendikmilligrammise täpsusega. Selliste kaaludega võib kaaluda kuni 200 G raskusi kehi.

Kauplustes kasutatakse *letikaalusid* (joon. 57).

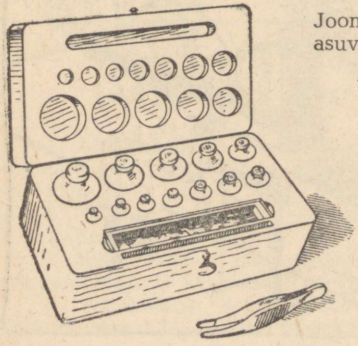


Joon. 57. Letikaalud.

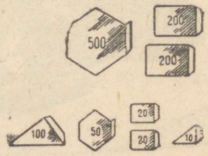
Tabelis 4 on kujutatud terve rida mitmesuguseid kaalusid, mis on määratud kergete ja väga raskete kehade kaalumiseks.

§ 28. Kaaluvihid.

Kaalumine seisneb keha kaalu võrdlemises vihtide kaaluga. Seepärast on kõik kaalud (välja arvatud osutitega kaalud) varustatud vihtide komplektiga. Et kaaluda kuni 1 kG raskust keha täpsusega 1 G, ei ole vaja tuhandet ühegrammist vihti. Selleks on küllalt kaheteistkümnest vihist, mille raskused on järgmised: 500 G, 200 G, 200 G, 100 G, 50 G, 20 G, 20 G, 10 G, 5 G, 2 G, 2 G ja 1 G. Nende vihtidega saab kaaluda mistahes keha kaaluga kuni 1110 G (nii suur on nende vihtide kogukaal).



Joon. 58. Kaaluvihid karbis. Klaasialuses süvendis asuvad grammist väiksemad vihid. Grammist väiksemate vihtide kujud on toodud paremal.



Grammist väiksemad vihid valmistatakse alumiiniumplekist kaaluga 500 mG, 200 mG, 200 mG, 100 mG, 50 mG, 20 mG, 20 mG ja 10 mG. Ühe, kahe ja viie milligrammi raskusi vihte kaaluvihtide komplekti ei paigutata.

Vihte hoitakse karbis, kus iga vihi jaoks on oma pesa (joon. 58).

§ 29. Kaalumise reeglid.

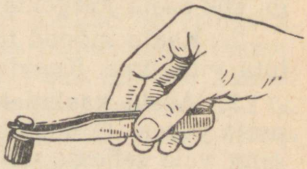
Kaalud on täpsed riistad, mis nõuavad hoolikat ja ettevaatlikku käsitsemist. Et mitte kaalusid rikkuda ning et kaalumisel kiiresti õigeid tulemusi saada, on tarvis täita kindlaksmääratud reegleid.

1. Enne kaalumist veendu, kas kaalud on tasakaalus. Kui ei, siis aseta kergemale kaalukausile paberi- või papitükikesi seni, kuni kaalud jäävad tasakaalu.
2. Kaalutav ese aseta vasakule, vihid paremale kaalukausile. Nii on mugavam vihte asetada ja vahetada.
3. Nii kaalutav ese kui ka vihid aseta kaalukaussidele ettevaatlikult. Nende viskamine või kukkuda laskmine kas või väikeselt kõrguselt võib rikkuda kaalud.
4. Kaaludega ei tohi kaaluda tema piirkoormusest raskemat keha.
5. Kaalukaussidele ei tohi asetada määrdunud, märgi või kuumi kehi, sinna ei tohi valada vedelikke ega paigutada pulbreid ilma vastava aluseta.
6. Vihte tuleb tõsta pintsettidega (joon. 59). Neid vihte, mida on raske pintsettidega tõsta, võib tõsta käega, kasutades selleks puhast paberitükki. Palja käega vihte tõsta ei tohi.

Vihtide valimise kiirendamiseks toimitakse järgmiselt. Asetatakse vasakule kaalukausile kaalutav ese ja paremale vihtide komplekti kõige suurem viht. Kui see viht vajutab kaalukausi alla, siis pannakse ta karpi tagasi, vastasel korral aga jäetakse viht kaalukausile. Seejärel toimitakse suuruselt järgmise vihiga samuti ja jätkatakse seda toimingut seni, kuni kaalud jäävad tasakaalu.

Pärast kaalude tasakaalustamist loetakse kokku kaalukausil olevate vihtide kaalud.

Kui kaalutav ese ei ole kuigi suur, siis pole muidugi vaja alustada kõige suuremast vihist. Kuid ikkagi tuleb kaalumist alustada esemest veidi raskema vihiga (see viht tehakse kindlaks algul silmamõõdu ja siis sellele järgneva proovimise teel). Kui sellist tööviisi ei kasutata, vaid vihte laotakse juhuslikus järjekorras,



Joon. 59. Vihte tõstetakse pintsettidega.

siis juhtub sageli, et väikestest vihtidest ei piisa ning kaalumist tuleb alata otsast peale.

Vaatleme näidet. Kaalugu keha 63 G. Kui me asetame kaalukausile algul 10 G, siis 5 G, 20 G, 20 G, 2 G, 2 G ja 1 G, siis jääb puudu 3 G. Kaaluvihtide karbis aga sellist vihti või väiksemaid enam pole. Õige kaalumise korral tuleks vihte asetada kaalukausile järgmiselt: 100 G, 50 G, 20 G, 10 G, 5 G, 2 G, 2 G, 1 G.

Joon vihi raskust tähistava arvu kohal näitab, et kaalukausil varem olnud vihtide kaal pluss selle vihi kaal on kaalutava eseme raskusest suurem ning seepärast tuleb see viht tõsta kaalukausilt karpi tagasi ning asendada järgmise väiksema vihiga (näit. 20 G vihi asemel tuleb asetada 10 G viht, 5 G vihi asemel 2 G viht jne.).

Harjutus 14.

1. Missuguste riistadega mõõdetakse keha kaalu?
2. Nimeta kangkaalude põhiosad.
3. Missuguste vihtidega saab kaaluda 873 G raskust keha, kui kasutada § 28 kirjeldatud vihtide komplekti?
4. Kaalumiseks detsimaalkaaludel läks vaja 1500 G vihte. Kui raske oli kaalutav ese?

§ 30. Laboratoorne töö nr. 6.

Kaalumine kangkaaludega.

Töö eesmärk: õppida kasutama kaalusid ning leidma mitmesuguste kehade kaalu.

Töövahendid: kaalud; vihtide komplekt koos pintsettidega; mensuur; mõned erineva kaaluga tahked kehad; natuke haavleid või puhast liiva; väike purk.

Töö käik: 1. Tee kindlaks, kas kaalud on tasakaalus. Kui ei, siis aseta kergemale kaalukausile haavleid või paberitükikesi.

2. Kaalu mõned tahked kehad täpsusega 1 G. Tulemused kirjuta vihikusse. Kaalumisel pea kinni kaalumise reeglitest.

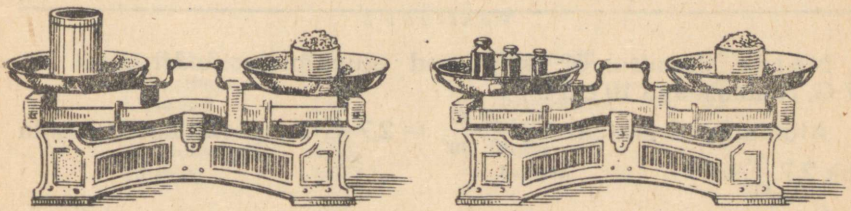
3. Aseta kaaludele mensuur ja tasakaalusta kaalud. Selleks aseta paremale kaalukausile (vasakul on mensuur) väike purgike ning vala sellesse vajalikul hulgal haavleid või liiva. Kalla nüüd mensuuri veidi vett ning määra vee kaal. Selle põhjal leia 1 cm^3 vee kaal. Korda kaalumist kolme erineva veekogusega. Tulemused kirjuta tabelisse.

Katse nr.	Keha kaal (G)	Vee hulk mensuuris (cm^3)	Vee kaal (G)	1 cm^3 vee kaal (G)
1.				
2.				
3.				

Harjutus 15.

Kaalumisel kasutatakse sageli erilist meetodit, mida nimetatakse tareerimiseks. See meetod võimaldab saada õiget kaalumistulemust ka siis, kui kaalud pole päris täpsed. Sellisel kaalumisel (joon. 60, *a*) asetatakse vasakule kaalukausile kaalutav ese, paremale aga purk, millesse kallatakse kuiva liiva või peenikesi haavleid seni, kuni kaalud jäävad tasakaalu.

Nüüd võetakse kaalutav ese vasakult kaalukausilt ära ning asetatakse selle asemele vihte seni, kuni kaal on uuesti tasakaalus (joon. 60, *b*). Vihtide kogukaal ongi võrdne eseme kaaluga. Miks see nii on?



Joon. 60. Kaalumine tareerimismeetodil: a) kaalutav keha tasakaalustatakse purki kallatava liivaga; b) liiv ja purk tasakaalustatakse vihtidega.

§ 31. Erikaal.

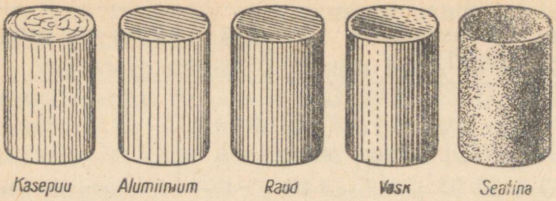
Kui võtta erinevast ainest ühesuguste ruumaladega kehad ja kaaluda neid, siis selgub, et selliste kehade kaalud on erinevad.

Joonisel 61 on kujutatud viis ühesuguse ruumalaga silindrit: puust, alumiiniumist, rauast, vasest ja pliist. Puust silinder kaalub 7 G, alumiiniumist 27 G, rauast 78 G, vasest 89 G ja pliist 113 G.

Erinevate ainete raskuste võrdlemiseks võib leida nende ainete ühe ruumalaühiku, näiteks ühe kuupsentimeetri kaalu.

Kõikide joonisel 61 kujutatud kehade ruumala on 10 cm^3. Seega kaalub 1 cm^3 puitu 0,7 G, 1 cm^3 alumiiniumi 2,7 G, 1 cm^3 rauda 7,8 G, 1 cm^3 vaske 8,9 G ja 1 cm^3 pliid 11,3 G.

TRÜ Raamatukogu



Joon. 61. Erinevast ainest ühesuguste ruumaladega kehade kaalud on erinevad.

Aine ühe kuupsentimeetri kaalu grammides nimetatakse selle aine erikaaluks.

Aine erikaalu leidmiseks tuleb selle aine kaal grammides jagada ruumalaga kuupsentimeetrites.

Lühidalt võib selle reegli kirjutada üles järgmiselt.

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

Näide. Joonisel 61 kujutatud alumiiniumsilindri kaal on 27 G, ruumala aga 10 cm^3.

Alumiiniumi erikaal $= \frac{27\ G}{10\ cm^3} = 2{,}7$ G kuupsentimeetri kohta ehk $2{,}7\ \frac{G}{cm^3}$.

$\frac{G}{cm^3}$ on erikaalu mõõduühik. Selle uue suuruse nimetus näitab, kuidas saab keha kaalu ja ruumala kaudu leida keha erikaalu.

Eespool toodud reegli järgi võib leida, et puu erikaal on $0{,}7\ \frac{G}{cm^3}$, raua erikaal $7{,}8\ \frac{G}{cm^3}$, vase erikaal $8{,}9\ \frac{G}{cm^3}$ ja plii erikaal $11{,}3\ \frac{G}{cm^3}$.

Suure erikaaluga ainet nimetatakse raskeks, väikese erikaaluga aga kergeks aineks.

Meie poolt vaadeldud metallidest on kõige kergem alumiinium ja kõige raskem plii.

Kulla erikaal on suur — $19{,}3\ \frac{G}{cm^3}$. Liiv koosneb palju kergemast ainest, mille erikaal on $1{,}5\ \frac{G}{cm^3}$. Kulla ja liiva erikaalu erinevus võimaldabki uhtmise teel eraldada kulda kullaliivast. Veevool kannab kerged liivaterad ära, rasked kullaosakesed aga langevad nõu põhja.

Kergeid ja vastupidavaid materjale kasutatakse näiteks lennukite ehitamisel. Sellisteks materjalideks on alumiinium ja tema sulamid, kuid samuti ka plastmassid. Mõningad plastmassid on kergemad isegi veest (poroloon, penoplast).

Mõnede ainete erikaalud $\left(\frac{G}{cm^3}\right)$

Tahked ained

Osmium	22,5	Klaas	2,5
Iriidium	22,4	Portselan	2,3
Plaatina	21,5	Betoon	2,2
Kuld	19,3	Parafiin	0,9
Plii	11,3	Jää	0,9
Hõbe	10,5	Kuiv tammepuu	0,8
Vask	8,9	Kuiv männipuu	0,48
Valgevask	8,5	Kork	0,24
Teras, raud	7,8	Karboliit	1,5
Tina	7,3	Kloorvinüül	1,4
Tsink	7,1	Orgaaniline klaas	1,2
Malm	7,0	Kapron	1,14
Alumiinium	2,7	Polüetüleen	0,94
Marmor	2,7	Poroloon	0,2—0,6
Graniit	2,6		

Vedelikud

Elavhõbe	13,6	Masinaõli	0,9
Väävelhape	1,8	Piiritus	0,8
Merevesi	1,03	Petrooleum	0,8
Puhas vesi	1,000	Nafta	0,8
Kooritud piim	1,032	Eeter	0,73
Täispiim	1,028	Bensiin	0,71

Harjutus 16.

1. Erikaalude tabelis on antud haruldase metalli osmiumi erikaal 22,5 $\frac{G}{cm^3}$. Mida see arv tähendab?
2. Kasutades erikaalude tabelit, ütle, kumb on raskem: elavhõbe või hõbe, betoon või marmor, bensiin või piiritus.
3. Marmorist, jäärst ja valgevasest kuupidel on kõigil ühesugune ruumala. Missugune kuup on kõige kergem? kõige raskem?
4. Üks 200-grammine viht on tehtud portselanist, teine rauast. Kumma vihi ruumala on suurem?
5. Kõige kergemaks puuks on balsapuu. 100 cm^3 balsapuud kaalub 20 grammi. Leia balsapuu erikaal.
6. Liiter petrooleumi kaalub 800 G. Leia petrooleumi erikaal.
7. 200-grammise malmvihi ruumala on ligikaudu 28,6 cm^3. Leia malmi erikaal täpsusega 0,1 $\frac{G}{cm^3}$.

8. NSV Liidus hoitava kilogrammi etalooni ruumala on 46,407 cm^3. Etaloon on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist. Leia selle sulami erikaal täpsusega 0,1 $\frac{G}{cm^3}$.

§ 32. Laboratoorne töö nr. 7.

Erikaalu määramine.

Töövahendid: kangkaalud ja kaaluvihid; mensuur; väike metallkeha; portselanist isoleerrull; natuke kuiva liiva, soolalahust ja niiti; kuivatuspaber.

Töö käik: 1. Leia metallkeha ja isoleerrulli kaal täpsusega 1 G.

2. Leia mensuuri abil nende kehade ruumala täpsusega 1 cm^3.

3. Arvuta metalli ja portselani erikaal ning võrdle neid tabelis antud erikaaludega.

4. Tasakaalusta mensuur kaaludel liivaga. Vala mensuuri soolalahust ning määra lahuse ruumala ja kaal. Arvuta soolalahuse erikaal. Tulemused kirjuta tabelisse.

Aine	Kaal (G)	Ruumala (cm^3)	Erikaal $\left(\frac{G}{cm^3}\right)$
Tahked kehad			
1. Metall			
2. Portselan			
Vedelikud			
Soolalahus			

§ 33. Teisi mõõduühikuid erikaalude mõõtmisel.

Paragrahvis 31 on öeldud, et erikaal on ühe kuupsentimeetri kaal grammides. Ülesannete lahendamisel ei ole aga otstarbekohane väljendada suurte kehade kaalu ja ruumala grammides ja kuupsentimeetrites, kuna need mõõduühikud on väikesed ning me saaksime väga suured arvud.

Et nimetatud ebamugavusest lahti saada, võib erikaalu arvutamisel kasutada suuremaid kaalu- ja ruumalaühikuid. Teeme kindlaks, millistes ühikutes ja millise arvuga väljendub erikaal,

kui keha kaalu mõõta kilogrammides ning ruumala kuupdetsimeetrites. Kui 1 cm^3 alumiiniumi kaalub 2,7 G (s. t. alumiiniumi erikaal on 2,7 $\frac{G}{cm^3}$), siis 1 dm^3 alumiiniumi peab kaaluma muidugi 1000 korda rohkem, s. o. 2700 G. See on 2,7 kG. Seepärast võib kirjutada, et alumiiniumi erikaal on 2,7 $\frac{kG}{dm^3}$. Näeme, et alumiiniumi erikaal väljendub ka nüüd arvuga 2,7, kuid ainult suurematest ühikutes.

Võib võtta veel 1000 korda suuremad ühikud, s. t. kaaluda keha tonnides ning mõõta tema ruumala kuupmeetrites. 1 m^3 = = 1 000 000 cm^3. Selline kogus alumiiniumi kaalub 2 700 000 G, s. o. 2,7 tonni. Järelikult väljendub ka nende ühikute kasutamisel alumiiniumi erikaal arvuga 2,7, s. t. 2,7 $\frac{T}{m^3}$.

Seega väljendub mingi aine erikaal alati ühe ja sama arvuga, kui seda erikaalu mõõta ühikutes $\frac{G}{cm^3}$, $\frac{kG}{dm^3}$ või $\frac{T}{m^3}$.

Ülesannete lahendamisel erikaalu kohta tuleb kasutada selliseid ühikuid, mis lihtsustavad arvutamist.

Harjutus 17.

1. Klaasi erikaal on 2,5 $\frac{G}{cm^3}$. Mitu kilogrammi kaalub 1 dm^3 klaasi? Mitu tonni kaalub 1 m^3 klaasi?
2. Kasutades erikaalude tabelit, väljenda malmi, betooni ja nafta erikaal ühikutes $\frac{kG}{dm^3}$ ja $\frac{T}{m^3}$.
3. Kui suur on vedeliku erikaal, kui 250 l seda vedelikku kaalub 200 kG?

§ 34. Keha kaalu ja ruumala arvutamine erikaalu järgi.

Ainete erikaalu teadmine on praktikas väga vajalik. Insener võib näiteks juba masina konstrueerimisel arvutada, teades selle masina ruumala ja erikaalu, kui raske see masin tuleb. Samuti võib ehitaja ette öelda tulevase maja kaalu. Erikaalu abil saab kindlaks teha ka piima kvaliteedi (täispiima erikaal on 1,028 $\frac{kG}{dm^3}$, kooritud piima erikaal aga 1,032 $\frac{kG}{dm^3}$) jne.

Olgu meil tarvis kindlaks määrata 120 cm^3 ruumalaga terasdetaili kaal. Tabelist leiame, et terase erikaal on 7,8 $\frac{G}{cm^3}$.

Järelikult kaalub iga terase kuupsentimeeter 7,8 G.

120 cm^3 terase kaal on muidugi 120 korda suurem kui ühe kuupsentimeetri kaal, s. o.

$$120 \cdot 7{,}8\ G = 936\ G.$$

Praktikas on sageli kergem määrata keha ruumala, kui seda keha kaaluda. Olgu meil näiteks tarvis kindlaks teha betoonplaadi kaal (selliseid plaate kasutatakse ulatuslikult tänapäeva ehitustel). Selleks on otstarbekas mõõta plaadi ruumala ning tabelist leida betooni erikaal. Korrutades plaadi ruumala betooni erikaaluga, saamegi plaadi kaalu.

Keha kaalu arvutamiseks keha ruumala ja erikaalu järgi tuleb erikaal korrutada keha ruumalaga.

Kaal = erikaal × ruumala

Mõnikord on tarvis kaalu ja erikaalu järgi määrata keha ruumala.

Vaatleme näidet. Anumas on 58,5 kG masinaõli, mille erikaal on 0,9 $\frac{G}{cm^3}$ ehk 0,9 $\frac{kG}{dm^3}$. Leida masinaõli ruumala liitrites (dm^3).

Erikaal näitab, et iga liiter (dm^3) õli kaalub 0,9 kG. Järelikult on 58,5 kG õli ruumala ühest liitrist nii mitu korda suurem, kui mitu korda 58,5 kG on suurem 0,9 kG-st.

Arvutamisel saame, et

$$58{,}5 : 0{,}9 = 65.$$

Järelikult on anumas 65 liitrit õli.

Et kaalu ja erikaalu kaudu leida keha ruumala, tuleb kaal jagada erikaaluga.

$$\text{Ruumala} = \frac{\text{kaal}}{\text{erikaal}}$$

Harjutus 18.

1. Kui palju kaalub 0,5 liitrit piiritust? piima? elavhõbedat?
2. Leia jäätüki ruumala, kui ta kaal on 108 G.
3. Kui palju kaalub 100 cm^3 seatina? Kas 100 cm^3 haavleid kaalub niisama palju? Miks?
4. Kõie piirkoormus on 200 kG. Kas selle köiega võib üles tõsta terastala, mille ruumala on 0,5 m^3?
5. Malmivalamiskopa maht on 10,8 m^3. Kui palju malmi mahub sellesse koppa? Sulamalmi erikaal on 7,1 $\frac{G}{cm^3}$.
6. Mitu kilogrammi petrooleumi mahub 5-liitrisesse pudelisse?
7. Termomeetri kuulike mahutab 20,4 G elavhõbedat. Leia kuulikese ruumala.

8. Eseme hõbetamiseks kulus 15,75 G hõbedat. Leia hõbetatava eseme pinna suurus, kui hõbedakihi paksus oli 0,1 mm.

9. Vaskjuhtme ristlõike pindala on 2,5 mm^2 ning kaal 1 780 G. Kui pikk on see juhe?

§ 35. Mahukaal.

Ehitustegevuses, koduses majapidamises, eriti aga põllumajanduses on tegemist poorsete, teraliste ning kiuliste kehadega.

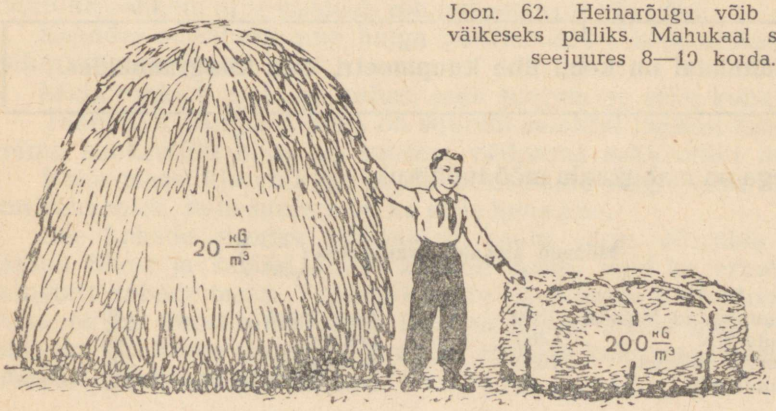
Poorseteks kehadeks on tellised, puusüsi, leib, tükksuhkur ja paljud teised kehad. Peened kanalid (poorid) nendes kehades on täidetud õhuga. Selles on kerge veenduda, kui asetada tellis vette. Tellise pooridest väljub mullikestena õhku, sest pooridesse tungib vesi. Täpselt samasugust nähtust võib tähele panna vette asetatud puusöe- või suhkrutüki juures.

Ka kuiva puu poorid täituvad veega, kui puu lebab pikemat aega vees. Seepärast on märg puu palju raskem kui kuiv.

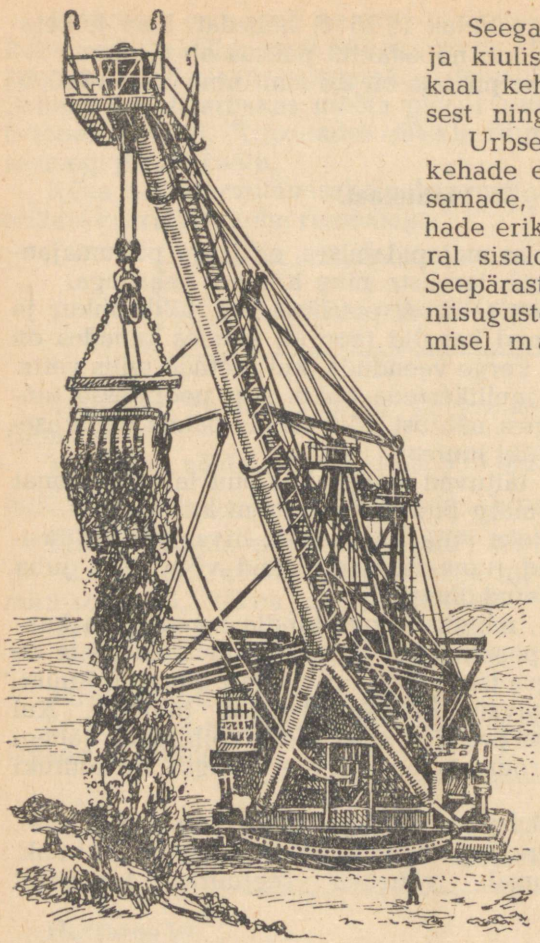
Teralistes kehades, näiteks viljas, hernestes, liivas jm., on üksikute terade vahel olevad ruumiosakesed (neid võib näha juba palja silmaga) samuti täidetud õhuga.

Kui mõni tahke keha, näiteks mingi kindla ruumala ja kaaluga metallitükk, muuta peenikeseks puruks (viilmeteks), siis on selle puru ruumala esialgse tahke keha ruumalast suurem. Ruumala suurenemise põhjustavad osakestevahelised tühikud. Kui metallipuru suruda võimsa pressiga kokku, siis võib saada jällegi ühtse metallitüki, mille ruumala on võrdne esialgse metallitüki ruumalaga.

Ka kiulisi kehi, näiteks puuvilla, lina, villa, heina, õlgi jne., võib suruda kokku, kui eraldada neist tugevate presside abil õhk. Nende materjalide ruumala väheneb seejuures tunduvalt (joon. 62).



Joon. 62. Heinarõugu võib pressida väikeseks palliks. Mahukaal suureneb seejuures 8—10 korda.



Joon. 63. Sammuv ekskavaator ЭШ/65. Ekskavaatori kopa maht on 14 m^3, noole pikkus 65 m.

Seega oleneb urbsete, teraliste ja kiuliste kehade ruumalaühiku kaal keha killustatusest, niiskusest ning kokkusurutuse astmest.

Urbsete, teraliste või kiuliste kehade erikaal on alati väiksem samade, kuid kokkusurutud kehade erikaalust, sest esimesel korral sisaldavad nad rohkem õhku. Seepärast kasutatakse praktikas niisuguste kehade kaalu määramisel m a h u k a a l u mõistet.

Mahukaal on keha ühe kuupmeetri kaal kilogrammides.

Seega on mahukaalu mõõduühikuks $\frac{kG}{m^3}$.

Mõnede kehade mahukaalud $\left(\frac{kG}{m^3}\right)$

Peenestatud kivisüsi	1350	Kaeraterad	450
Kuiv liiv	1400	Herned	700
Terved tellised	1600	Rukkijahu	390
Kuiv hein	20	Nisujahu	500

Pressitud hein	200	Kartulid	670
Rukkiõled	90	Peedid	650
Nisuterad	690	Värsked kurgid	580

Harjutus 19.

1. Veoautole laaditi 3 m^3 liiva. Liiva mahukaal on $1400\frac{kG}{m^3}$. Leia koorma kaal.
2. Leia ühel hektaril oleva lumikatte kaal, kui lume keskmine sügavus on 35 cm ning lume mahukaal 200 $\frac{kG}{m^3}$.
3. Leia viljasalves oleva nisu kaal, kui salve pikkus on 2,5 m, laius 2,0 m ning vilja on salves 80 cm kõrguselt.
4. Kaubavaguni kandejõud on 50 tonni. Vaguni maht on 90 m^3. Kas selle vaguni võib tervenisti täita kartulitega?
5. Joonisel 63 kujutatud sammuva ekskavaatori kopa maht on 14 m^3. Kui palju kaalub üks kopatäis pinnast? Pinnase keskmine mahukaal on 1800 $\frac{kG}{m^3}$.
6. Kuiva männipuu mahukaal on 480 $\frac{kG}{m^3}$. Üks ruumimeeter (1 m^3) männipuid kaalub aga 310 kG. Miks?

§ 36. Keha mass ja kaal.

Võtame kaks ühest ja samast ainest keha, näiteks saiapätsi ja saiatüki. Kui küsida, kumb neist kaalub rohkem ning kumb sisaldab rohkem ainet, siis vastab igaüks eksimatult, et saiapäts kaalub rohkem kui saiatükk ning et pätsis on rohkem saia kui ühes tükis, sest pätsi ruumala on suurem kui saiatüki ruumala.

Täpselt samuti kaalub ka suurema ruumalaga suhkru- või võitükk rohkem ning sisaldab rohkem suhkrut või võid.

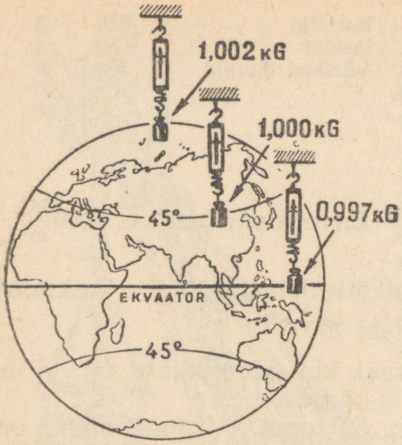
Kehades sisalduva aine hulga võrdlemiseks kasutatakse füüsikas massi mõistet.

Mida rohkem ainet on kehas, seda suurem on selle keha mass.

Tähendab, saiapätsi mass on suurem saiatüki massist ning suurema suhkrutüki mass on suurem väiksema suhkrutüki massist.

Keha massi üle võib otsustada keha kaalu järgi. Mida suurem on keha mass, seda suurem on ka selle keha kaal.

See kehade omadus võimaldab kaalu järgi võrrelda mitte ainult ühest ja samast ainest kehade massi, vaid ka erinevatest ainetest kehade massi. Täpsete katsete tulemusena on tehtud kindlaks, et kui ühest ainest keha kaal on teisest ainest keha kaalust näiteks viis korda suurem, siis on ka esimese keha mass teise keha massist viis korda suurem.



Joon. 64. Keha, mille mass on 1 kg, kaalub ekvaatoril 0,997 kG, 45° laiusel 1 kG ja poolusel 1,002 kG.

Kaalumine, millest oli juttu paragrahvis 26, pole tegelikult midagi muud kui keha massi võrdlemine vihtide massiga.

Massiühikuteks on võetud paragrahvis 21 (joon. 45) kirjeldatud rahvusvahelise etalooni mass.

Massiühikut nimetatakse nii nagu kaaluühikutki kilogrammiks, kuid kaaluühikust (1 kG) eraldamiseks tähistatakse teda 1 kg.

Kõige sagedamini kasutatakse järgmisi massiühikuid:

1 tonn (t) = 1000 kilogrammi (kg)
1 kg = 1000 grammi (g)
1 g = 1000 milligrammi (mg)

Keha kaal ja mass on erinevad füüsikalised suurused, seepärast ei tohi neid ära segada.

Keha kaal on jõud, millega Maa tõmbab seda keha enda poole. Keha kaalu saab maakera antud punktis mõõta ainult tundliku d ü n a m o m e e t r i g a (vedrukaaluga). Paragrahvis 21 oli juba juttu, et keha kaal muutub koha geograafilise laiuse muutumisega ning samuti ka kõrguse suurenemisega maapinnast. Nimetatud põhjustest sõltuvaid kaalu muutusi ei saa kindlaks teha kangkaalude abil, sest asukoha muutumisel muutub ka vihtide kaal.

Kehas sisalduv aine hulk jääb aga Maa mistahes kohas ikka üheks ja samaks, samuti ka mistahes kõrgusel maapinnast. Seega on keha mass igal pool muutumatu.

Keha kaalu muutumine tema asukoha muutumisega maakera pinnal on tühiselt väikene (joon. 64). Seepärast loetakse keha kaalu arvuline väärtus grammides, kilogrammides või tonnides harilikult võrdseks keha massi arvulise väärtusega grammides, kilogrammides või tonnides. Täpselt langevad need väärtused ühte 45-kraadisel geograafilisel laiusel (sellel laiusel hoitakse kilogrammi etalooni).

II PEATÜKK.

TAHKETE KEHADE OMADUSED.

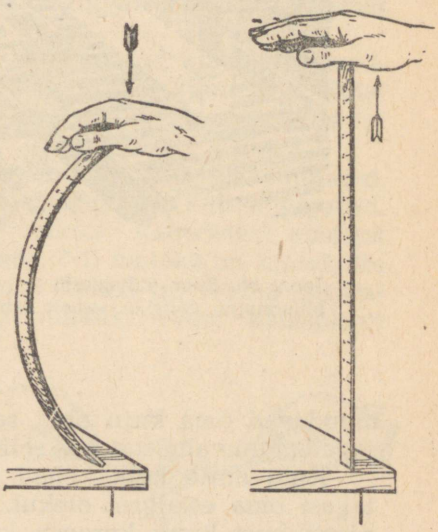
§ 37. Elastsus ja plastilisus.

Nagu me teame, on igal tahkel kehal oma kindel kuju ja ruumala.

Tahke keha kuju ja ruumala võib muuta, kui temale mõjuda jõuga.

Venitame näiteks kummi või painutame joonlauda (joon. 65). Niipea aga, kui me need kehad lahti laseme, võtavad nad oma esialgse kuju tagasi: kumm tõmbub kokku endise pikkuseni ning joonlaud sirgestub.

Dünamomeetri vedru pikeneb dünamomeetri otsa riputatud keha raskuse mõjul. Kui keha dünamomeetri konksu otsast ära võtta, siis tõmbub vedru endise pikkuseni.

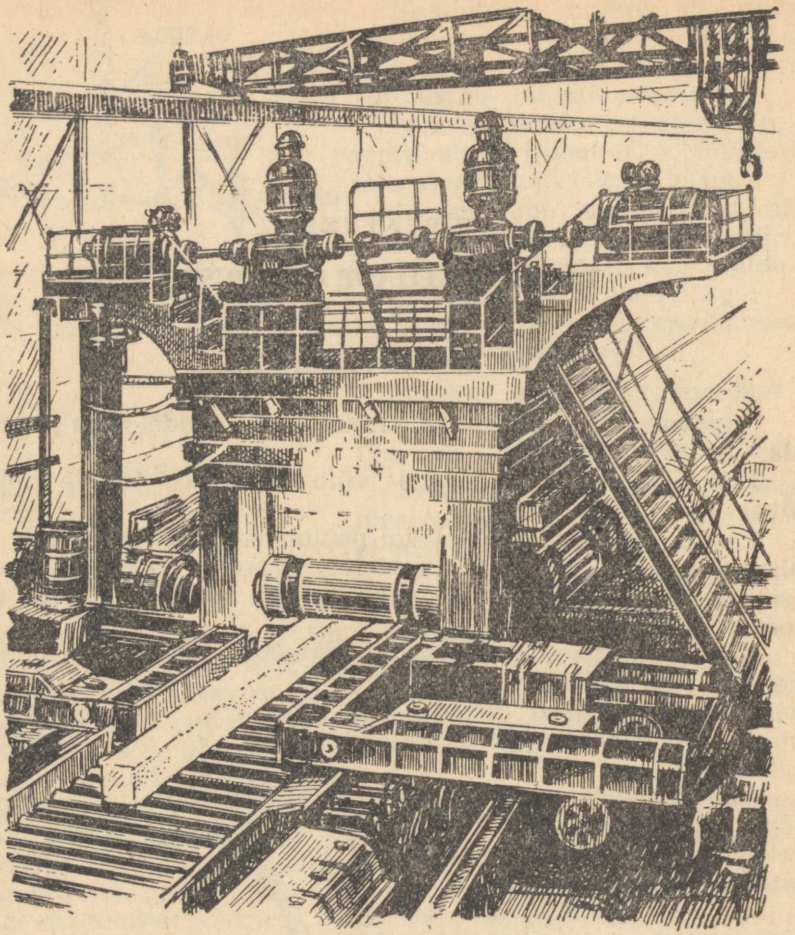


Joon. 65. Painutatud joonlaud võtab oma endise kuju tagasi, kui käe mõju joonlauale lõpeb.

Ainete omadust võtta pärast jõu mõju lõppemist tagasi oma esialgne kuju või ruumala nimetatakse elastsuseks.

Elastsete omadustega aineid nimetatakse elastseteks aineteks. Elastseks aineks on näiteks teras.

Elastsetest ainetest detaile kasutatakse tehnikas seal, kus detailid peavad pikka aega säilitama oma kuju, vaatamata sellele, et neile mõjuvad väga mitmesugused jõud. Talad, raudteerööpad, sillad, masinate ja tööpinkide osad, igasugused vedrud, autode ja vagunite amortisaatorid — kõik need on kehad, mis neile mõjuvate jõudude toimel pidevalt



Joon. 66. Suur valtsmasin — bluuming. Kuumutatud terasevalu liigub bluumingu valtside vahelt läbi ja muutub seejuures peenemaks ning pikemaks.

muudavad oma kuju ning seejärel jälle taastavad selle. Kõige sagedamini valmistatakse sellised esemed terasest.

Kuid mitte kõik kehad ei võta pärast jõu mõju lõppemist tagasi oma esialgset olekut. Nii võib näiteks märjast savist või plastiliinist kuuli kergesti laiaks suruda, kui sellele vajutada. Laiaksvajutatud kuul aga ei võta enam tagasi oma esialgset kuju. Järelikult on olemas niisuguseid kehi, mis jõu mõjul kergesti muudavad oma kuju, kuid hiljem ei taasta oma esialgset kuju.

Ainete omadust säilitada kuju, mis neile mõjuvate jõudude poolt antakse, nimetatakse plastilisuseks.

Tugevate plastiliste omadustega aineid nimetatakse *plastilisteks aineteks*. Vaha, märg savi, värske kitt, plastiliin — kõik need on plastilised ained.

Ainult plastilisi või ainult elastseid aineid looduses ei leidu. Elastsus ja plastilisus on suuremal või vähemal määral omane kõikidele kehadele.

Terasvedru on elastne keha. Kuid kui seda vedrut venitada küllalt suure jõuga, siis vedru pärast jõu mõjumise lõppemist enam oma esialgset kuju täielikult tagasi ei võta. Sellisel juhul käitub teras nagu plastiline keha.

Pliid peetakse plastiliseks aineks. Kui valmistada pliitraadist spiraal ning seda veidi venitada, siis märkame, et spiraal võtab iga kord pärast jõu mõju lõppemist oma esialgse kuju tagasi. Sellest nähtub, et ka plastilisel pliil on teatud elastsed omadused.

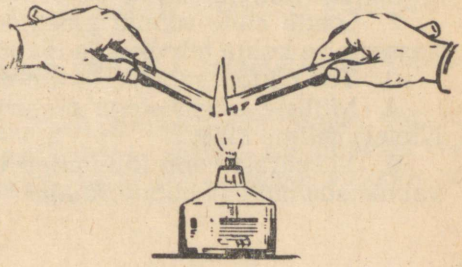
Kuumutamisel paljude ainete plastilised omadused suurenevad. Valge hõõgumiseni kuumutatud terasplaadile võib anda mistahes kuju, mis seejuures säilib. Kuumutatud terase seda omadust kasutatakse tehnikas. Valtsimispinkidel (joon. 66) valmistatakse valutükkidest raudteerööpaid, ehitustalasid, lehtterast, soomusplaate ja teisi esemeid. Hõõgumiseni kuumutatud terasetükist võib sepp välja taguda adratera, kirve või hangu.

Pärast jahtumist terase plastilisus tunduvalt väheneb, elastsus aga samal ajal suureneb.

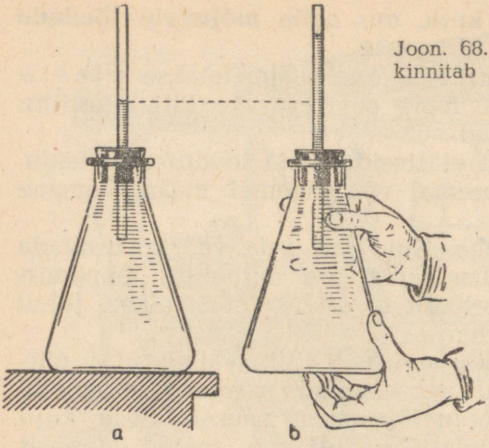
Ka küllalt kõrge temperatuurini kuumutatud klaas on plastiline. Kuumutatud klaastoru on kerge painutada (joon. 67). Sulaklaasist valmistatakse mitmesuguseid nõusid, elektripirnide kestasid jne.

Kõigile on tuttavad plastmassist esemed. Plastmassid on ained, mis kuumutatult on väga plastilised, jahtunult aga küllalt tugevad.

Klaasi nimetatakse *rabedaks aineks*. Rabedatest ainetest kehad võivad jõu mõjul äkki puruneda. Nii näiteks on klaaskolbi väga kerge lõhkuda. Kuid ka rabedad kehad on teatud määral elastsed ja plastilised. Näiteks võib küllaltki suurt klaasplaati



Joon. 67. Kuumutatud klaastoru võib painutada.



Joon. 68. Klaaskolvi seinad on elastsed; seda kinnitab veesamba tõus torus, kui suruda kolvi seintele.

alati veidi painutada. Pärast jõu mõju lõppemist võtab selline klaasplaat oma endise kuju tagasi.

Klaasi elastsust võib näidata veel ka järgmise katse abil. Kallame klaaskolvi ääreni vett täis ning suleme ta siis korgiga, millest on läbi pandud peenike klaastoru. Märgime (näiteks peenikese kummirõngaga, mille võib lõigata paraja jämedusega kummivooliku otsast) vee kõrguse torus (joon. 68, *a*) ja surume siis käega nõrgalt kolvi põhjale. Märkame, et vedelikusammas torus märgatavalt tõuseb (joon. 68, *b*).

Kui kolvi surumine lõpetada, siis langeb vee nivoo torus endisele kõrgusele tagasi.

Järelikult, kolvi põhi paindus temale mõjuva jõu toimel ning võttis pärast jõu lõppemist jälle oma esialgse kuju tagasi.

Ainete jaotamine elastseteks ja plastilisteks toimub vastavalt sellele, milline neist kahest omadusest on aine juures suurem.

Harjutus 20.

1. Too näiteid elastsetest ainetest.
2. Loetle sulle tuntud plastilisi aineid ning too näiteid nende kasutamise kohta tehnikas ja igapäevases elus.
3. Too näiteid rabedatest ainetest.
4. Milliste omadustega materjalist saab valmistada vedrut? Nimeta selline aine.
5. Mispärast sepp kuumutab terasetükki, kui ta tahab sellest valmistada näiteks hobuserauda?

§ 38. Rõhumisjõud ja rõhk.

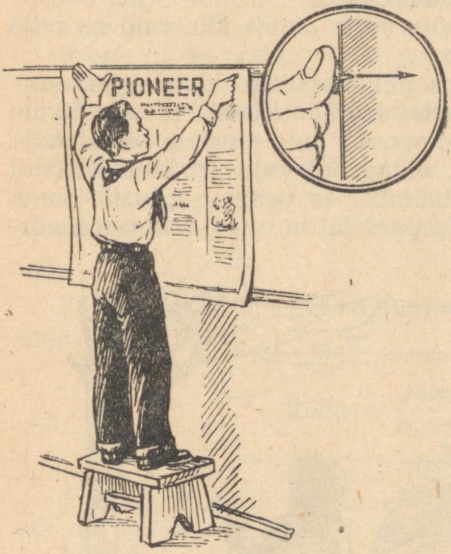
Meid ümbritsevad esemed (laud, toolid, kapp, pingid jne.) toetuvad kõik põrandale ning rõhuvad seejuures põrandat jõuga, mis on võrdne vastava eseme kaaluga.

Raskusjõud on suunatud vertikaalselt alla, põrand on aga horisontaalne. Järelikult on põrandale mõjuvad jõud (põrandale toetuvate esemete kaalud) suunatud põrandaga risti.

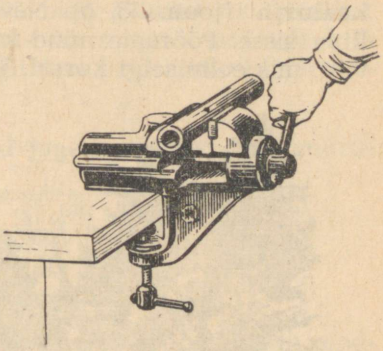
Õpilane, kes kinnitab rõhknaeltega plakatit tahvlile (joon. 69), avaldab käega rõhknaelale horisontaalsuunalist rõhumist (risti tahvli pinnaga).

Lukksepatöökojas kinnitatakse töödeldavad esemed kruustangide vahele (joon. 70). Pöörates pulga abil kruustangide kruvi, avaldame kinnitatavale esemele horisontaalsuunalist rõhumist.

Köitekojas kasutatakse raamatu ploki lõikamisel spetsiaalset käsipressi (joon. 71), mille abil surutakse raamat tugevasti kokku.



Joon. 69. Rõhumine rõhknaelale on suunatud horisontaalselt.

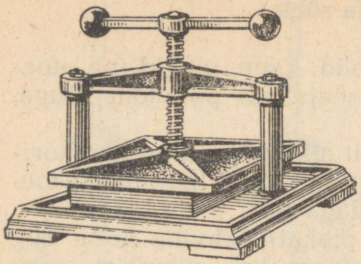


Joon. 70. Kruustangide vahele kinnitatud rauatükile mõjub horisontaalsuunaline rõhumine.

Kõigil vaadeldud juhtumeil on kehale mõjuvad jõud suunatud risti keha pinnaga.

Jõudu, mis mõjub risti keha pinnaga, nimetatakse rõhumisjõuks e. rõhumiseks.

Mööda teed liikuv inimene rõhub maapinda jõuga, mis on võrdne tema kaaluga. Kui maapind pole pehme, siis inimene sisse ei vaju. Kohevas lumes liigub ta aga suure vaevaga, vajudes igal sammul sügavale lumme.



Joon. 71. Raamatuköitmisel kasutatav käsipress. Rõhumine on siin suunatud vertikaalselt.

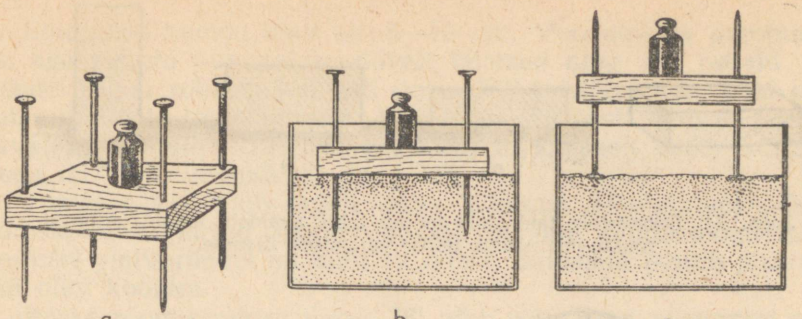
Suuskadega võib liikuda mööda lund ilma sisse vajumata (joon. 72). Kuid nii suuskadega kui ka ilma suuskadeta avaldab inimene lumele alati ühesugust rõhumist, mis on võrdne tema kaaluga. Selle rõhumise mõju on aga erinev. Suuskade pindala on ligikaudu kakskümmend korda suurem saapataldade pindalast. Kui inimene seisab suuskadel, siis rõhub ta järelikult lume pinna igale ruutsentimeetrile kakskümmend korda väiksema jõuga kui ilma suuskadeta.

Seega ei olene rõhumisjõu mõju mitte ainult jõu, vaid ka selle pinna suurusest, millele ta mõjub.

Teeme järgmise katse. Lööme neljakandilise klotsi igast nurgast läbi naela (joon. 73, *a*). Asetame nüüd klotsi kuivale liivale nii, et naelte teravikud jääksid allapoole, ning paneme siis klotsile kaaluvihi (joon. 73, *b*). Näeme, et naelad vajuvad kuni klotsini liiva sisse. Pöörame nüüd klotsi ümber ja paneme klotsile sama vihi, mis eelmiselgi korral. Toetuspindala on nüüd eelmisega võr-



Joon. 72. Poiss suuskadel ei vaju lumme, ilma suuskadeta aga vajub. Rõhumise mõju oleneb pinna suurusest, millele ta mõjub.



Joon. 73. Katse näitab, et rõhk oleneb toetuspinna suurusest.

reldes palju suurem ja seetõttu vajuvad naelte pead väga vähe liivasse (joon. 73, *c*).

Seega, mida väiksem on pindala, millele mõjub rõhumisjõud, seda märgatavam (suurem) on jõu mõju.

Jõudu, mis mõjub risti toetuspinna iga ruutsentimeetriga, nimetatakse rõhuks.

Rõhuühikuks võetakse selline rõhk, mida avaldab üks jõuühik 1 cm^2 suurusele pinnale. Rõhuühikuks on seega 1 kG või 1 G ruutsentimeetri kohta. Lühidalt märgitakse neid ühikuid järgmiselt: $1 \frac{kG}{cm^2}$ ja $1 \frac{G}{cm^2}$.

Et leida rõhku, tuleb rõhumisjõud jagada toetuspinna suurusega.

$$\text{Rõhk} = \frac{\text{rõhumisjõud}}{\text{toetuspindala}}$$

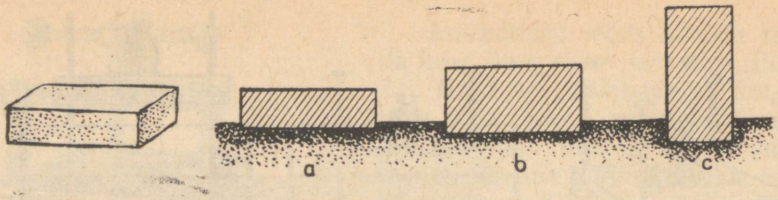
Näide. Kui õpilane kaalub 45 kG ja tema saapataldade pindala on 90 cm^2, siis, seistes põrandal, avaldab ta põrandale rõhku

$$\frac{45 \text{ kG}}{90 \text{ cm}^2} = 0{,}5 \frac{kG}{cm^2}.$$

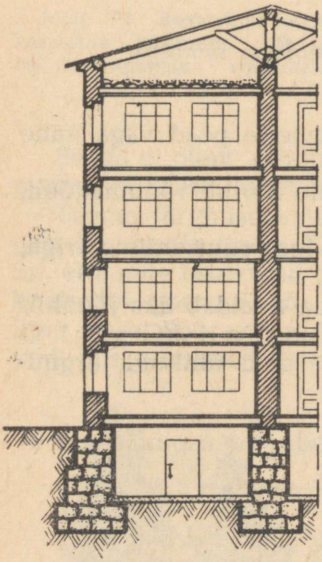
§ 39. Rõhu tähtsus tehnikas.

Üks ja sama keha võib olenevalt toetuspinna suurusest avaldada väga mitmesugust rõhku. Kui näiteks asetada tellis kõige suuremale tahule (joon. 74, *a*), siis jaotub tellise 3,5 kG suurune raskus 300 cm^2 suurusele toetuspinnale ning rõhk on

$$\frac{3500 \text{ G}}{300 \text{ cm}^2} = 11{,}7 \frac{G}{cm^2}.$$



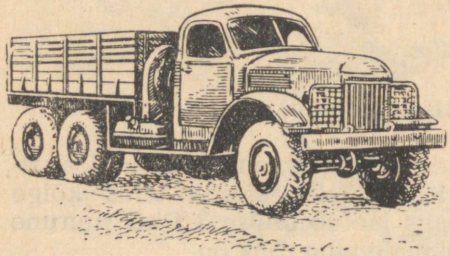
Joon. 74. Erinevatele tahkudele toetuv tellis avaldab liivale erinevat rõhku, mis nähtub tellise vajumisest liivasse.



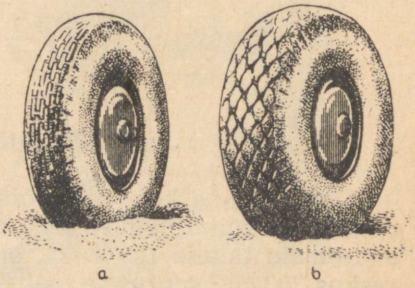
Joon. 75. Hoonete vundamentide alumised osad (talad) tehakse laiemad kui ülejäänud vundament, et vähendada hoone rõhku pinnasele.

Paigutades nüüd sama tellise külgtahule (joon. 74, *b*), mille pindala on 162,5 cm^2, saame rõhu suuruseks ligikaudu $21{,}5\frac{G}{cm^2}$. Kui aga asetada tellis otstahule (joon. 74, *c*), mille pindala on 78 cm^2, siis saame rõhu suuruseks $44{,}9\ \frac{kG}{cm^2}$.

Kirjeldatud näitest selgub, et kõige väiksem on rõhk siis, kui toetuspindala on suurim. Järelikult on rõhu vähendamiseks tarvis suurendada toetuspinda. Selleks näiteks tehaksegi vundamentidele alla laiad tallad (joon. 75), et pinnas kannataks välja hoonete poolt avaldatavat rõhku.



Joon. 76. Kolmeteljeline veoauto.

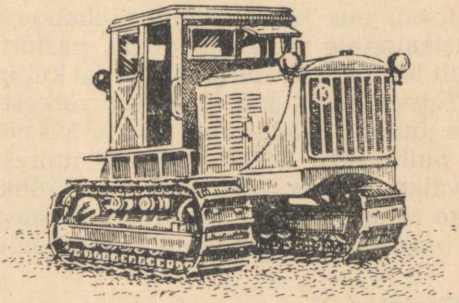


Joon. 77. Harilik autokumm (*a*) ja üliballoon (*b*).

Sõiduauto kummi laius on 8—10 cm. Veoautol ja autobussil on aga rataste kummid tunduvalt laiemad ning ka rattaid on nendel sageli rohkem kui neli (joon. 76), mistõttu auto kaal jaotub suuremale toetuspinnale. Võrdlemisi kergesti läbivad kõrbeliiva autod, mille rattad on varustatud erakordselt laiade kummidega, nn. «üliballoonidega» (joon. 77).

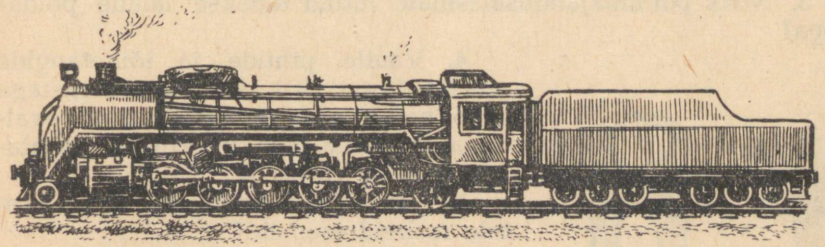
Linnatänavail võib sageli näha liikumas järelplatvormidega autosid, mis veavad monteeritavate majade raudbetoondetaile. Sellistel platvormidel on kuni 12 ratast, milledele jaotub platvormil olev koorem.

Raske roomiktraktor (joon. 78) võib sõita isegi niisugusel soisel pinnal, kus ratsanik liikuda ei saa, sest tema toetuspind on suur.



Joon. 78. Roomiktraktor.

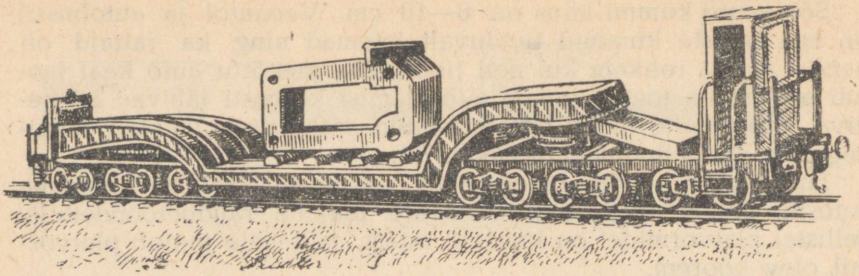
Joonisel 79 on kujutatud kaubarongi vedur ФД, mis on väga raske masin. Selleks et rataste rõhumine rööbastele ei oleks liiga suur, on sel veduril seitse telge, veduri tendril[1] aga kuus telge.



Joon. 79. Kaubarongi vedur ФД.

Eriti raskete esemete vedamiseks kasutatakse raudteel spetsiaalseid paljuteljelisi platvorme (joon. 80).

[1] Tender — veduri lahutamatu osa kütteaine ja vee paigutamiseks.



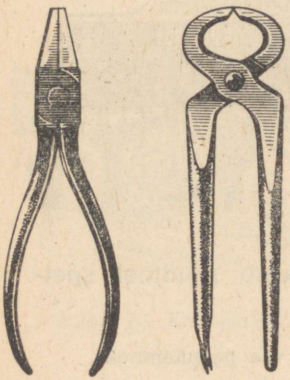
Joon. 80. Raudteeplatvorm raskete esemete vedamiseks.

Hiiglaslikud pinnasekaevamismasinad — sammuvad ekskavaatorid, mis kaaluvad üle tuhande tonni (joon. 63), toetuvad spetsiaalsetele metallplaatidele, mistõttu nad avaldavad pinnasele ainult kaks korda suuremat rõhku kui inimene.

Teiselt poolt, kui kasutada väikest toetuspinda, siis võib väikese jõu abil saada suurt rõhku. Nii näiteks läheb rõhknaela terav ots puitu juba kerge vajutuse juures, sest terava otsa pindala on väike ja juba üsna nõrk surve rõhknaelale põhjustab teraviku suure rõhu puidule. Seepärast tehaksegi lõike- ja torkeinstrumendid (noad, käärid, lõiketerad, saed, nõelad jt.) hästi teravad.

Harjutus 21.

1. Kuidas saab rõhumisjõu ja toetuspinna järgi arvutada rõhku?
2. Missuguste ühikutega mõõdetakse rõhku?
3. Miks põllumajandusmasinate rattad tehakse laiade pöidadega?
4. Vaatle pihtide ja lõiketangide ehitust (joon. 81). Kumma tööriistaga saab nendega haaratud esemele avaldada suuremat rõhku, kui rakendatavad jõud on võrdsed?
5. Miks äestamisel asetatakse äketele raskeid esemeid?
6. Millal sa avaldad jääle suuremat rõhku, kas uiskudel või ilma? Miks?
7. Kas 5 kG suuruse raskusega saab tekitada rõhku 10 $\frac{kG}{cm^2}$? Kuidas seda teha?



Joon. 81. Pihid (lapiktangid) ja lõiketangid.

8. Arvuta oma kaalu ja saapataldade pindala (vt. harjutus 6) järgi rõhk, mida sa käimisel avaldad maapinnale.

9. Millal avaldab inimene põrandale suuremat rõhku: kas seistes või käies?

10. 5200 kG raskuse roomiktraktori ДТ-54 mõlema roomiku toetuspindala on 1,24 m^2. Leia selle traktori rõhk maapinnale ning võrdle seda rõhuga, mida sa ise avaldad käimisel.

11. Arvuta rõhk, mida avaldab rõhknael seinale, kui naela otsa pindala on 0,01 mm^2 ning rõhknaelale mõjub jõud 5 kG.

III PEATÜKK.

VEDELIKE OMADUSED.

§ 40. Vedelike voolavus.

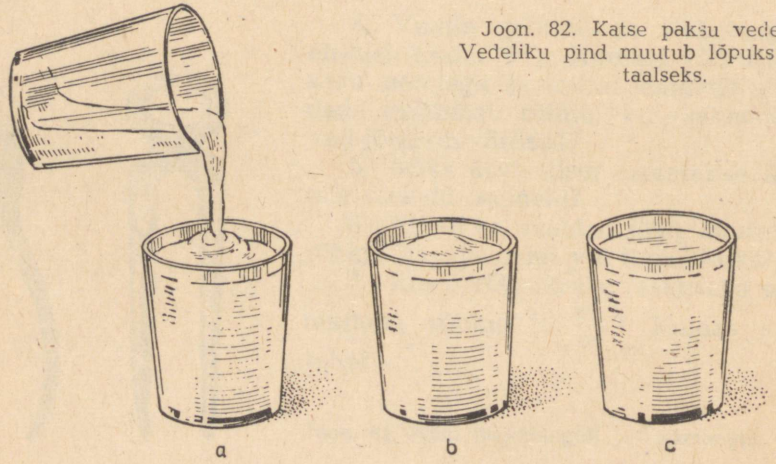
Vesi, piim, petrooleum, piiritus, elavhõbe ja paljud teised ained on harilikes tingimustes vedelad.

Vedelikud on väga liikuvad. Näiteks piisab vedeliku liikumapanemiseks juba sellestki, kui temale puhuda. Samuti paneb tuulepuhang virvendama jõe või järve pinna.

Liikuvad on ka teralised kehad, näiteks liiv, herned, teravili jt. Nii on kuiva liiva hunnikut kerge tasandada, sest liiv koosneb väikestest liikuvatest osakestest — liivateradest.

Ka vedelik koosneb osakestest, kuid need osakesed on veelgi liikuvamad kui liivaterad. Jõu mõjul hakkavad vedelikuosakesed kergesti liikuma. See annab vedelikule tema iseloomuliku omaduse — v o o l a v u s e. Voolavuse tõttu valgub näiteks mahaläinud vesi kiiresti mööda põrandat laiali.

Kui võrrelda eetri, vee ja glütseriini voolavust, siis selgub, et kõige suurem voolavus on eetril, kõige väiksem aga glütseriinil. Järelikult võivad vedelike voolavused olla erinevad.



Joon. 82. Katse paksu vedelikuga. Vedeliku pind muutub lõpuks horisontaalseks.

Voolavuse tõttu võtab vedelik alati selle anuma kuju, millesse ta valatakse, ning tema vaba pind jääb seetõttu alati horisontaalseks.

Kuidas see toimub, seda saab näidata väikese voolavusega vedeliku abil. Valame klaasi mõnda sellist vedelikku: lakki, värvi, mett või hapukoort (joon. 82, *a*). Kohas, kuhu langeb kallatav vedelik, tekib väike kuhjake. Kui lõpetada vedeliku valamine, siis kuhjake järk-järgult kaob (joon. 82, *b*) ning vedeliku pind muutub lõpuks horisontaalseks (joon. 82, *c*).

Kõik see toimub selletõttu, et kõrgemalolevad vedelikuosakesed nihkuvad oma raskuse mõjul allapoole seni, kuni kõik vedelikuosakesed, mis moodustavad vedeliku pinna, on ühesugusel kõrgusel ehk, nagu öeldakse, ühesugusel nivool[1].

Looduses on kõikides veekogudes vaikne veepind horisontaalne. Vee voolamine jõgedes on aga seletatav sellega, et vee nivoo jões pole ühesugune, vaid suudme poole pidevalt langeb.

§ 41. Rõhu edasiandmine vedelikkudes. Pascali seadus.

Tänu oma koostisosade suurele liikuvusele annab vedelik temale mõjuvat rõhku edasi igas suunas.

Vaatleme seda nähtust katseliselt.

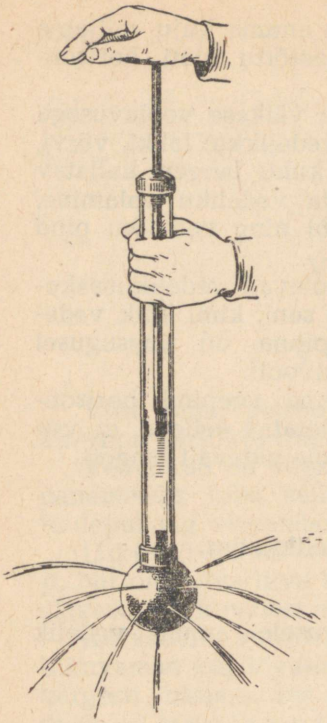
Joonisel 83 on kujutatud õõnes kera, millesse on puuritud rida peenikesi avasid. Kera külge on kinnitatud toru, milles tihedalt liigub kolb. Kui tõmmata kera vett täis ning suruda seejärel kolvile, siis purskub vesi kõikidest keras olevatest avadest välja.



Pascal, Blaise (1623—1662).

Tuntud prantsuse füüsik B. Pascal avastas ning uuris vedelike ja gaaside paljusid tähtsaid omadusi. Põhiseadus, millest tavaliselt alustatakse vedelike ja gaaside omaduste tundmaõppimist, kannab Pascali nime. Suure tähtsusega on ka need katsed, mida Pascal tegi õhurõhu olemasolu tõestamiseks.

[1] Nivooks nimetatakse mistahes horisontaalset pinda.



Joon. 83. Vedelik annab rõhku edasi igas suunas (katse Pascali kuuliga).

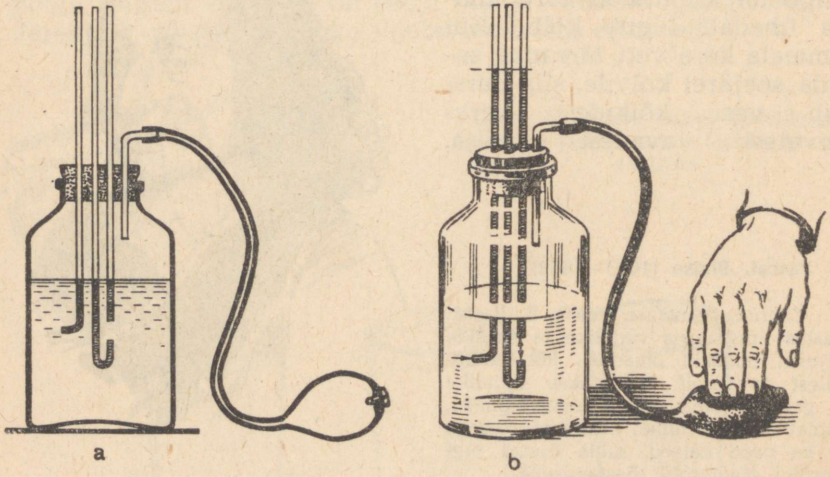
Selle katse puhul rõhub kolb torus olevale veele. Kolvi all olevad veeosakesed annavad rõhu edasi sügavamal olevatele osakestele. Selliselt kandub rõhk edasi kõikidele veeosakestele keras.

Rõhu mõjul purskubki osa vett keras olevatest avadest välja.

Sellist nähtust võib vaadelda ka mõne teise vedeliku korral. Tähendab, **vedelik annab rõhku edasi igas suunas.**

Et kindlaks teha, kas edasiantava rõhu suurus oleneb edasiandmise suunast, teeme järgmise katse.

Võtame klaaspurgi, millest umbes kolmveerand on täidetud veega. Purgi suleme tihedalt korgiga, millest on eelnevalt läbi pandud neli klaastoru (joon. 84). Kolm toru paigutame selliselt, et nad ulatuksid



Joon. 84. Katse, mis kinnitab, et vedelik annab rõhku edasi igas suunas ühteviisi.

purgis olevasse vette. Neljanda toru väljaulatuva otsa ühendame kummivooliku abil kummipalliga. Kaks vette ulatuvat toru on otsast painutatud kõveraks nii, nagu kujutatud joonisel 84, *a*.

Surume nüüd kummipallile, s. o. suurendame õhurõhku purgis. Näeme, et kõigis kolmes torus tõuseb vesi kõrgemale veenivoost purgis ning seejuures ühele ja samale kõrgusele (joon. 84, *b*). Võetud kolmest torust on ühe ava suunatud alla, teise ava üles ning kolmanda ava kõrvale. Vee tõusmine korraga kõigis kolmes torus tõendab, et vesi annab tema pinnale mõjuvat rõhku edasi igas suunas. Samal ajal aga on vesi kõigis kolmes torus ka ühekõrgusel. See tõendab, et erinevates suundades edasiantud rõhud on võrdsed.

Rõhu edasiandmist uuris tuntud prantsuse teadlane Pascal. Ta tegi kindlaks rõhu edasiandmise seaduse vedelikes. Tema auks kannab see seadus Pascali nime.

Vedelik annab temale mõjuva rõhu edasi igas suunas ühetugevuselt.

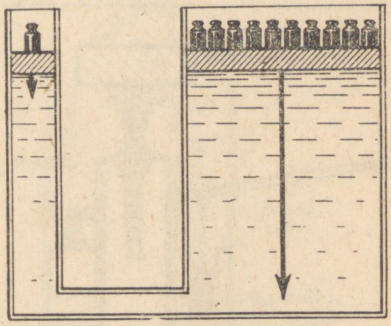
§ 42. Hüdrauliline masin.

Pascali seadusel põhineb hüdraulilise[1] masina ehitus.

Hüdraulilise masina põhiosadeks on kaks erineva läbimõõduga silindrit, mis omavahel on ühendatud toruga (joon. 85). Silindrite sees liiguvad tihedalt kolvid. Kolbidealune ruumala on täidetud vee või õliga (kõige sagedamini kasutatakse mineraalõlisid).

Oletame, et väiksema kolvi pindala on 10 cm^2, suurema kolvi pindala aga 100 cm^2 (joon. 85). Asetame väiksemale kolvile 1 kG raskuse vihi. Selle tulemusena hakkab väiksem kolb liikuma alla, surudes seejuures vedelikku väiksemast silindrist suuremasse.

Selle tulemusena hakkab suurem kolb tõusma. Pascali seaduse põhjal võime välja



Joon. 85. Erinevate ristlõigetega silindrites võivad kolvid jääda tasakaalu ainult siis, kui nad avaldavad vedelikule ühesugust rõhku.

[1] Hüdraulilise masina nimetus on tulnud kreekakeelsest sõnast *hydraulikos*, mis tõlkes tähendab v e s i. Selles masinas on töötavaks kehaks vedelik.

arvutada koormuse suuruse, mis tuleks asetada suuremale kolvile selleks, et see ei hakkaks liikuma.

10 cm^2 pindalaga kolvile mõjub jõud 1 kG. Seega avaldab väiksem kolb tema all olevale vedelikule rõhku

$$\frac{1\ kG}{10\ cm^2} = 0{,}1\ \frac{kG}{cm^2}.$$

Pascali seadus ütleb, et vedelik annab selle rõhu edasi igas suunas ühetugevuselt. Järelikult mõjub vedelik ka suuremale kolvile rõhuga $0{,}1\ \frac{kG}{cm^2}$.

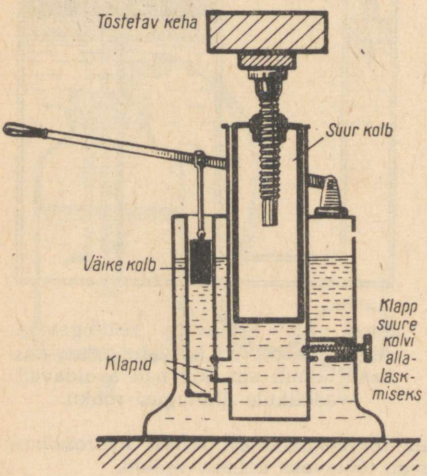
Seega mõjub suure kolvi igale ruutsentimeetrile ülespoole suunatud jõud suurusega 0,1 kG.

Kuna suure kolvi pindala on 100 cm^2, siis mõjub vedelik suuremale kolvile jõuga $0{,}1\ \frac{kG}{cm^2} \times 100\ cm^2 = 10\ kG$.

Kolbide tasakaalustamiseks on seega tarvis suuremale kolvile asetada 10 kG raskune koormus, s. o. 10 korda suurem koormus kui väiksemale kolvile. Meenutame, et suurema kolvi pindala on samuti 10 korda suurem väiksema kolvi pindalast.

Tehtud arvutused näitavad, et hüdrauliline masin võimaldab meil väikese jõuga ületada suuri takistusi.

Hüdraulilise masinaga võidame jõus nii mitu korda, kui mitu korda on suurema kolvi pindala suurem väiksema kolvi pindalast.



Joon. 86. Hüdraulilise tungraua töötamise skeem. Väikese kolvi allasurumisega lükatakse vedelik väiksemast silindrist suuremasse. Suuremasse silindrisse surutud vesi tõstab üles selles oleva kolvi koos kolvil oleva raskusega.

Hüdraulilise masina põhimõttel on ehitatud hüdrauliline press. Hüdraulilist pressi kasutatakse laialdaselt tööstuses ja põllumajanduses. Hüdraulilise pressi ehituse ja töötamise põhimõtet kirjeldatakse lähemalt paragrahvis 70.

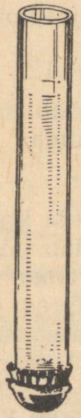
Harjutus 22.

1. Vedelik annab rõhumist edasi igas suunas. Missuguse vedeliku omadusega saab seda nähtust selgitada?
2. Presendist veevoolikul, kui ta pole veega täidetud, on lindi kuju. Missuguse kuju võtab voolik aga siis, kui ta veega täita? Vaatle ja selgita seda nähtust.
3. Joonisel 86 on kujutatud hüdraulilise tungraua lihtsustatud skeem. Kui rasket koormat saab tõsta selle tungrauaga, kui väiksema kolvi pindala on 1,2 cm^2, suurema kolvi pindala 1440 cm^2 ning väiksemale kolvile mõjub jõud 100 kG?
4. Hüdraulilise masina suurema kolvi pindala on 240 cm^2, väiksema kolvi pindala aga 12 cm^2. Kui suurt jõudu tuleb rakendada väiksemale kolvile, et suuremalt kolvilt saada 900 kG suurust jõudu?

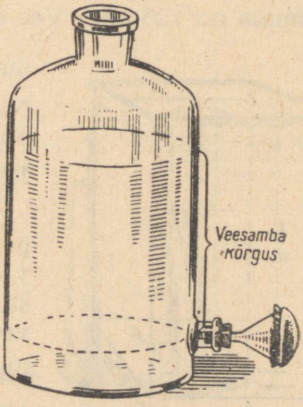
§ 43. Vedeliku rõhk anuma põhjale ja seintele.

Vedeliku rõhku anuma seintele ja põhjale on võimalik katselisel teel kergesti näidata.

Suleme klaastoru ühe otsa õhukese kummikelmega ning kallame siis torusse vett (joon. 87). Näeme, et kummikelme venib välja. Mida kõrgem on vedelikusammas torus, seda rohkem venib põhi välja ja järelikult seda suurem on vedeliku rõhk anuma põhjale (kummikelmele).



Joon. 87. Kui valada torusse vett, siis venib toru kummist põhi välja.



Joon. 88. Vedeliku rõhku anuma seintele saab teha nähtavaks, kui anuma külgseinas olev ava katta kummikelmega.

Vedelikel, nagu kõigil teistelgi kehadel, on oma kaal, mille tulemusena avaldavad nad anuma põhjale rõhku.

Katame nüüd lehtri õhukese kummikelmega ning torkame ta siis läbi korgi, mis suleb klaaspurgi külgseinas oleva ava (joon. 88). Kui valada purki vett, siis surub see kummikelme väljapoole, mis näitab, et vedelik avaldab rõhku ka anuma seintele. Tähendab, **anumasse valatud vedelik avaldab rõhku ka anuma külgseintele.**

Seda nähtust võib selgitada Pascali seaduse abil. Vaatleme vedelikusammast, mis asub pealpool seda nivood, mille juures me rõhku määrame. Oma kaaluga rõhub see vedelikusammas tema all olevale vedelikukihile. See vedelikukiht annab aga selle rõhu edasi igas suunas, järelikult ka anuma külgede suunas, mille tulemusena paindubki kummikelme väljapoole. Mida kõrgem on vedelikusammas anumas, seda tugevamini venib kummikelme välja.

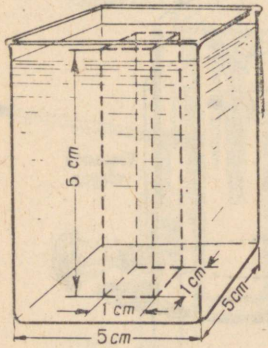
Järelikult, **vedelikusamba rõhk on seda suurem, mida kõrgem on vedelikusammas.**

§ 44. Anuma põhjale ja seintele mõjuva rõhu arvutamine.

Vaatleme nüüd, kuidas arvutatakse rõhku, mida vedelik avaldab anuma põhjale ja seintele.

Oletame, et meil on risttahukakujuline anum (joon. 89), mille põhja pindala on 25 cm^2 ja mille põhjale mõjub vertikaalne veesammas kõrgusega 5 cm. Arvutame rõhu anuma põhjale.

Kuna anuma põhja pindala on 25 cm^2, siis anumas oleva vee ruumala on 125 cm^3. Vee erikaal on $1\ \frac{G}{cm^2}$. Järelikult kaalub anumas olev vesi $1\ \frac{G}{cm^3} \times 125\ cm^3 = 125\ G$. Nii suur on vee rõhumisjõud anuma põhjale. Rõhk anuma põhjale on $125\ G : 25\ cm^2 = 5\ \frac{G}{cm^2}$.



Joon. 89. Anuma põhjale mõjuva rõhu arvutamine.

On ilmne, et kaks või kolm korda kõrgem veesammas avaldab põhjale ka kaks või kolm korda suuremat rõhku. Kõigi sarnaste arvutuste juures eeldatakse, et vee erikaal on mistahes sügavuses alati üks ja seesama $\left(1\ \frac{G}{cm^2}\right)$. See seletub asjaoluga, et praktiliselt pole vedelikud kokkusurutavad.

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

Elavhõbeda erikaal on 13,6 $\frac{G}{cm^3}$. Järelikult on elavhõbe 13,6 korda raskem kui vesi. Seepärast avaldab ka elavhõbe anuma põhjale 13,6 korda suuremat rõhku, s. o. 68 $\frac{G}{cm^2}$. Samasuguse kõrgusega petrooleumisamba rõhk anuma põhjale on 4 $\frac{G}{cm^2}$, sest petrooleumi erikaal on 0,8 $\frac{G}{cm^3}$.

Seega, et leida vedeliku rõhku $\left(\frac{G}{cm^2}\right)$ vertikaalsete seintega anuma põhjale, tuleb vedeliku erikaal $\left(\frac{G}{cm^3}\right)$ korrutada vedelikusamba kõrgusega (cm).

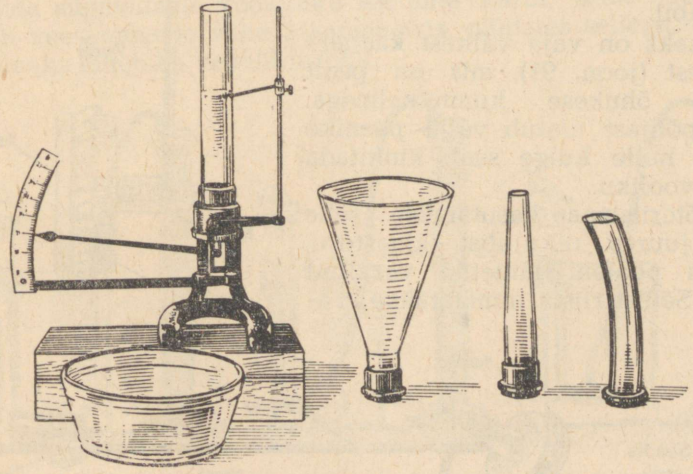
Lühidalt võib selle reegli kirjutada üles järgmiselt:

Rõhk anuma põhjale = vedeliku erikaal × vedelikusamba kõrgus.

Täpselt samuti arvutatakse rõhku ka anuma külgseina mingile pinnatükile, ainult et sel juhul tuleb vedelikusamba kõrguseks võtta selle pinnatüki keskpunkti kaugus vedeliku pinnast.

Me leidsime, kuidas arvutatakse vedeliku rõhku vertikaalsete seintega anuma põhjale. Et selgitada, kas sama arvutusviis sobib ka siis, kui meil on tegemist mistahes kujuga anumaga, teeme järgmise katse.

Joonisel 90 on kujutatud riist, mille juurde kuuluvad mitmesuguse kujuga, kuid ühesuguste põhjadega anumad. Nende anumate põhjaks on kummikelme, mis veesamba raskuse mõjul välja venib. Kummikelme väljavenimise suurust näitab osuti.



Joon. 90. Katseriist, mille abil saab näidata, et vedeliku rõhk anuma põhjale oleneb vedelikusamba kõrgusest, kuid mitte anuma kujust.

Anumad kruvitakse järgemööda katseriista metallalusele. Kõikidesse anumatesse valatakse võrdse kõrgusega veesammas. Näeme, et alati kaldub osuti skaalal ühe ja sama jaotuseni. See näitab, et kui veesamba kõrgused on anumates võrdsed, siis ka erineva kujuga anumate korral on rõhumisjõud anumate põhjadele ühesugused.

Kirjeldatud katsest järeldub, et **vedeliku rõhumisjõud anuma põhjale ei olene anuma kujust.**

Et leida rõhku, tuleb rõhumisjõud jagada põhja pindalaga. Kuna aga põhja pindalad on katseriista kõikidel anumatel võrdsed, siis on võrdsed ka rõhud, mida vesi avaldab nende anumate põhjadele.

Järelikult, **rõhk anuma põhjale ei olene anuma kujust.**

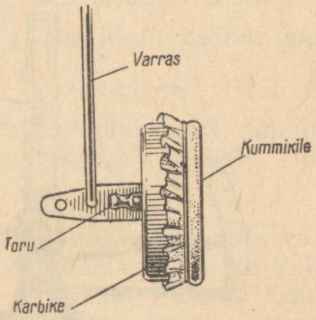
Vedeliku rõhk mistahes kujuga anuma põhjale on võrdne vedeliku erikaalu ja vedelikusamba kõrguse korrutisega.

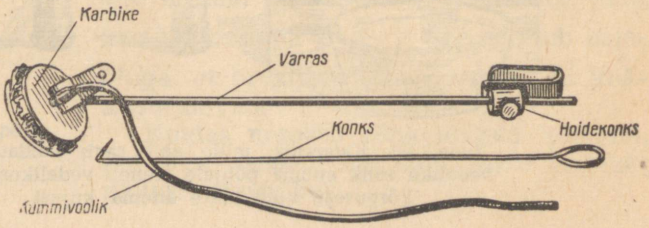
§ 45. Rõhk vedeliku sees.

Vedelik ei avalda oma kaaluga rõhku mitte ainult anuma põhjale ja seintele, vaid ka iga tema kiht peab taluma kõrgemalolevate kihtide rõhumist. Sellise rõhu olemasolu saab näidata järgmise katse abil.

Katseks on vaja väikest kaaneta karbikest (joon. 91), mis on pealt kaetud õhukese kummikelmega. Karbi põhjast ulatub välja peenike toruke, mille külge saab kinnitada kummivooliku.

Mõõteriistana kasutatakse selle katse juures u-kujulist klaastoru, mis on pooleni täidetud värvitud veega. Sellist riista nimetatakse m a-





Joon. 91. Seadis vedeliku sees oleva rõhu kindlaksmääramiseks.

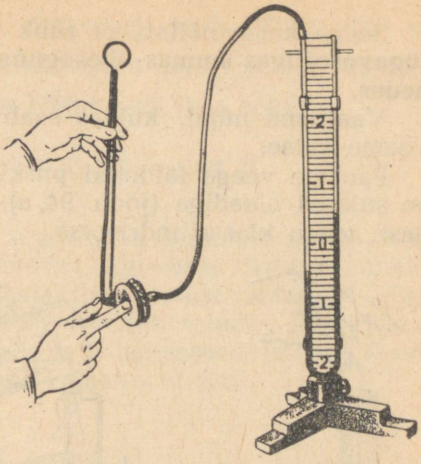
nomeetriks. Üksikasjalisemalt on manomeetritest juttu paragrahvis 69.

Manomeeter ühendatakse kummivooliku abil karbiga.

Vaatleme algul katseriista töötamist. Kui vajutada sõrmega nõrgalt karbi kummikelmele, siis veetase manomeetri ühes torus langeb, teises aga tõuseb (joon. 92).

Mida tugevamini kummikelmele vajutada, seda suuremaks muutub veesammaste kõrguste vahe manomeetris.

Järelikult võib manomeetri veesammaste kõrguste vahe järgi hinnata kummikelmele mõjuva rõhu suurust.

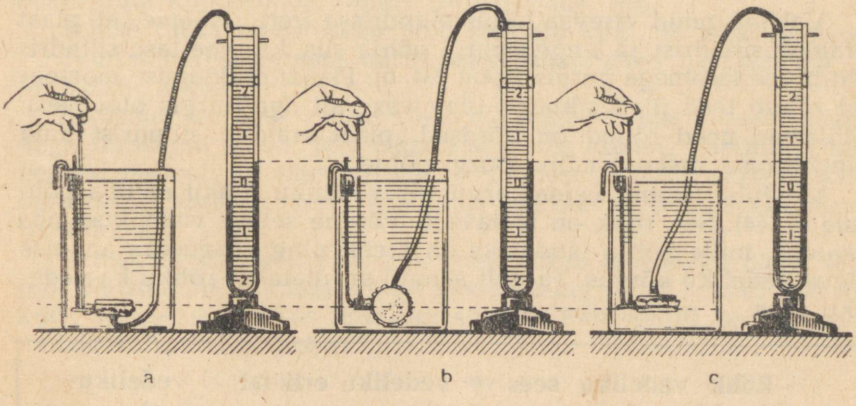


Joon. 92. Kummikelmele vajutamisel muutuvad vedelikusammaste kõrgused manomeetris.

Asetame nüüd karbi mingisuguse vedelikuga täidetud anumasse. Näeme, et seejuures veesammaste kõrgused manomeetris muutuvad, mis näitabki rõhu olemasolu vedeliku sees.

Pöörates nüüd karpi ühel ja samal sügavusel nii, et kummikelme asetseks kord ülal, siis all, vasakul või paremal, näeme, et vedelik ei rõhu mitte ainult ülalt alla, vaid ka alt üles ja kõrvale (joon. 93, *a*, *b*, *c*), kusjuures rõhk on igas suunas ühesugune.

Mida sügavamale vedelikku asetame karbi, seda suuremaks paisub veesammaste vahe manomeetris, näidates sellega, et seda suuremaks läheb ka vedeliku rõhk.

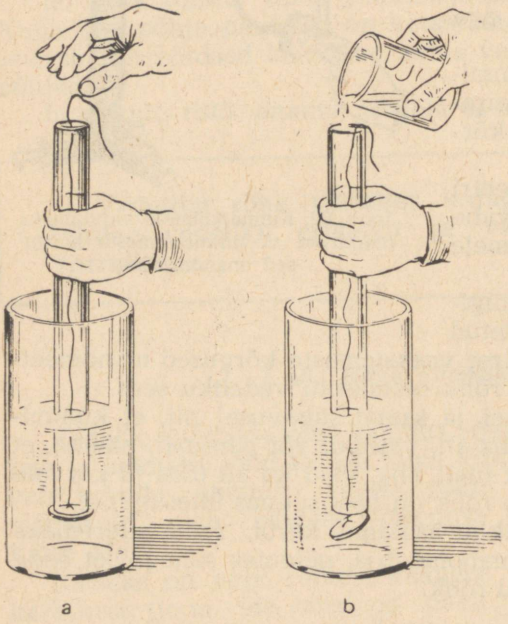


Joon. 93. Vedelik avaldab temasse asetatud kehale rõhku ülalt *(a)*, küljelt *(b)* ja alt *(c)*, kusjuures need rõhud on ühel ja samal sügavusel võrdsed.

Seega katse näitab, et **rõhk vedeliku sees on ühel ja samal sügavusel igas suunas ühesugune ning suureneb sügavuse suurenedes.**

Vaatleme nüüd, kuidas saab arvutada rõhku vedeliku sees. Teeme katse.

Paneme veega täidetud purki klaassilindri, mille alumine ots on suletud plaadiga (joon. 94, *a*). Vee rõhk alt surub plaadi tihedasti vastu klaassilindri otsa.



Joon. 94. Katse, mis kinnitab alt üles mõjuva rõhu olemasolu vedeliku sees.

Valame nüüd ettevaatlikult silindrisse vett. Näeme, et plaat eraldub silindrist ja langeb purgi põhja siis, kui vee tase silindris ühtib vee tasemega purgis (joon. 94, *b*). Plaadi eraldumise momendil rõhub teda ülalt silindris olev vesi, alt aga purgis olev vesi. Mõlemad need rõhud on võrdsed, plaat eraldub silindrist ning langeb oma raskuse mõjul purgi põhja.

Me juba teame, kuidas arvutada vedeliku rõhku anuma põhjale (§ 44). See rõhk on teatavasti võrdne sellise vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindalaks on 1 cm^2 ning kõrguseks anumas oleva vedeliku kõrgus. Täpselt samuti arvutatakse rõhku ka vedeliku sees.

Rõhk vedeliku sees = vedeliku erikaal × vedelikusamba kõrgus.

Kala, kes ujub meres 100 m sügavusel, peab taluma 100 m kõrguse veesamba rõhku, mis on ligikaudu 10,3 $\frac{kG}{cm^2}$. Kui näiteks kala keha pindala on 100 cm^2, siis rõhub vesi teda jõuga

$$10{,}3 \frac{kG}{cm^2} \times 100\ cm^2 = 1030\ kG = 1{,}03\ T.$$

Kala organism on kohanenud suure rõhu tingimustega. On olemas kalu, kes elavad mitme kilomeetri sügavuses. Selliste kalade kehad suudavad taluda mitmesajakilogrammist rõhumist iga ruutsentimeetri kohta. Inimorganism suudab taluda vee rõhku kuni 40 m sügavusel. Ilma spetsiaalsete kaitseseadmeteta suruks vesi suuremates sügavustes inimese rinnakorvi sisse.

§ 46. Tuukriülikond.

Jõgede põhjade puhastamisel, laevade ja tammide veealuste osade remontimisel, uppunud laevade ülestõstmisel jne. tuleb inimesel teha tööd vee all. Sellistel töödel kasutatakse spetsiaalseid kummeeritud riidest valmistatud tuukriülikondi. Tuukriülikonnad tõmmatakse soojade üleriiete peale. Ülikonna ülaosa külge kruvitakse metallist tuukrikiiver, mis on varustatud paksust klaasist aknakestega. Tuukri saapad on paksude tinataldadega ning tuukri rinnale ja seljale kinnitatakse tinaplaadid, sest muidu ei vajuks ta oma ülikonnas põhja. Tuukrikiivrisse surutakse pidevalt vooliku kaudu õhku hingamiseks. Kuna õhuvoolik kitsendab tuukri liikumist ning ei võimalda tal minna laskumiskohast kuigi kaugele, siis on viimasel ajal hakatud kasutama kaasavõetavaid õhuvarusid. Õhuvarud paigutatakse terasballoonidesse ning kinnitatakse tuukri seljale (joon. 95).

Sellise tuukrivarustusega võib laskuda kuni 90 m sügavusse.

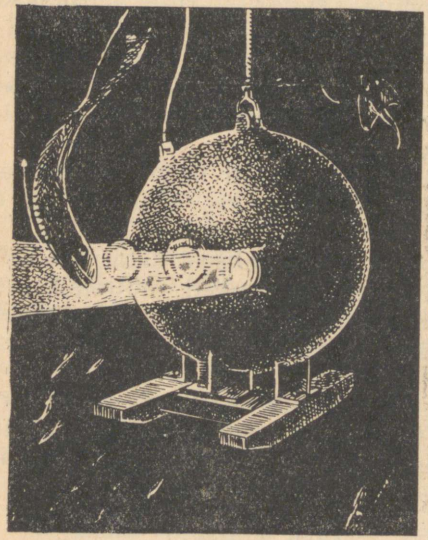
Suurte meresügavuste uurimiseks kasutatakse batüsfääre ja batüskaafe.

Batüsfäär kujutab endast väga tugevast paksust klaasist akendega teraskera (joon. 96). Kera sisemuses asuvad vaatlejad, kes peavad merepinnal (laeval) olevate inimestega sidet telefoni teel. Batüsfäärid lastakse merre spetsiaalsetelt laevadelt tugevate terastrossidega.

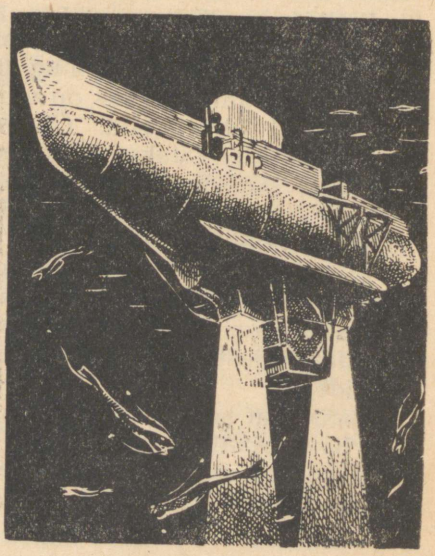
Batüskaaf seevastu pole aga veepealsete laevadega üldse seotud. Batüskaafil on olemas oma mootor ning ta võib selle abil liikuda suures sügavuses mistahes suunas. Batüskaafil on laskutud umbes 11 km sügavuseni.



Joon. 95. Kerge varustusega tuukrid. Tuukri näol on hingamismask, seljal kokkusurutud õhu balloon. Ühel tuukril on käes harpuunpüss, mis töötab suruõhuga, teisel aga fotoaparaat, millega saab pildistada vee all.



Joon. 96. Batüsfäär.



Joon. 97. Batüskaaf.

Harjutus 23.

1. Batüskaafil on laskutud 10 919 m sügavusele. Kui suur on rõhk selles sügavuses (merevee erikaal on 1,03)?

2. 10 cm kõrgune klaas on täidetud ääreni elavhõbedaga. Arvuta rõhk klaasi põhjale.

3. Joonisel 98 on kujutatud üks Pascali poolt tehtud katse. Veega täidetud vaati on pistetud pikk peenike toru. Kui kallata toru vett täis, siis lõhkeb vaat. Selgita seda nähtust.

4. Kui suure rõhu all purskub vesi välja anuma külgseinas olevast avast, kui ava on 40 cm allpool veepinda? (Veetase hoitakse muutumatuna.)

5. Kui suur on rõhk 0,6 m sügavusel vees? petrooleumis? elavhõbedas?

6. Kui suur jõud mõjub 11 km sügavusele ookeani laskunud batüskaafi aknale, mille pindala on 7,5 dm^2?

7. Tammis olev ava on suletud ruudukujulise luugiga. Luugi serva pikkus on 60 cm. Luugi ülemine äär on veepinnast 2,7 m allpool. Leia vee rõhumisjõud luugile.

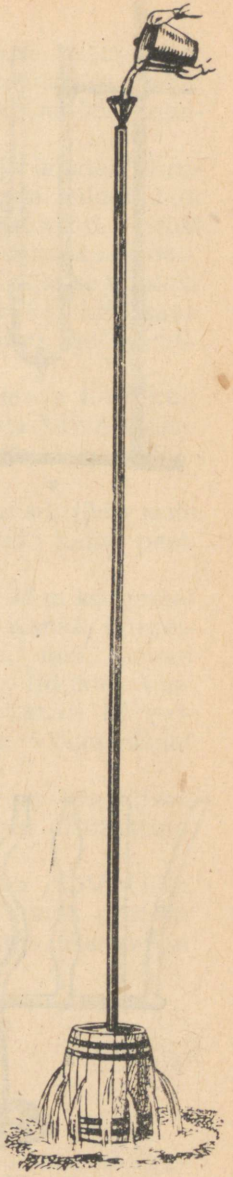
§ 47. Ühendatud anumad.

Joonisel 99 on kujutatud kaks anumat, mis on omavahel ühendatud kummivoolikuga. Selliseid anumaid nimetatakse ühendatud anumateks. Pigistame ühendustoru näpitsaga kinni ning valame parempoolsesse anumasse vett (joon. 99, *a*). Kui nüüd näpits avada, siis hakkab vesi voolama esimesest anumast teise. Voolamine kestab seni, kuni veetasemed mõlemas anumas saavad võrdseteks (joon. 99, *b*).

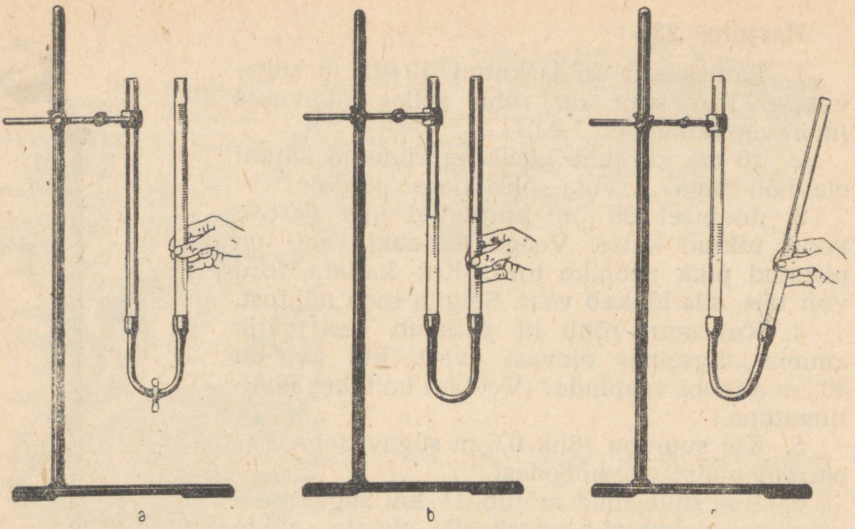
Kinnitame ühe anuma statiivi külge. Kui nüüd teist anumat tõsta, alla lasta või kallutada, siis näeme, et veetase mõlemas anumas jääb alati ühele ja samale kõrgusele (joon. 99, *c*).

Veetase jääb ühendatud anumates ühele ja samale kõrgusele ka siis, kui anumad on erineva kujuga (joon. 100).

Katsete tulemused ei muutu, kui vee asemel kasutada mingit teist vedelikku.

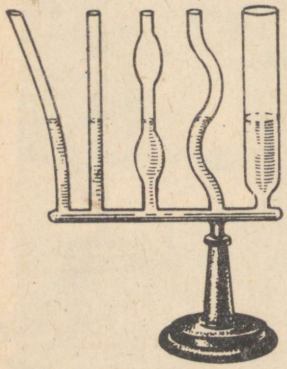


Joon. 93. Pascali katse vaadiga (ülesande nr. 3 juurde).



Joon. 99. Ühendatud anumad.

Ühendatud anumates jääb vedelik alati ühele ja samale kõrgusele.



Joon. 100. Ühendatud anumates jääb vesi alati ühekõrgusele, vaatamata sellele, et anumad on erineva kujuga.

Katsetest võib teha järgmise kokkuvõtte.

Seda seaduspärasust nimetatakse ühendatud anumate seaduseks. Ühendatud anumate seadust, mille me tuletasime katseliselt, võib selgitada, kui vaadelda vedelikusammaste rõhke igas anumas. Kui ühes anumas oleks vedelikusammas kõrgem kui teises, siis oleksid vedelikusammaste rõhud ühendustoru kõrgusel erinevad. Tänu oma liikuvusele ning mõjuvale rõhule hakkaks vedelik sellisest anumast voolama välja teise, kus vedelikusammas ning seega ka rõhk on madalam. Lõppude lõpuks vedelikunivood ning rõhud võrdsustuvad.

Seda ütlebki meile ühendatud anumate seadus.

§ 48. Lüüsid.

Lüüsid on hiiglaslikud ühendatud anumad. Lüüse kasutatakse laevade möödasuunamiseks jõgedele ehitatud tammidest (näit. elektrijaamade tammidest) või laevade suunamiseks mööda kanaleid ühest jõest teise (joon. 101).

Lüüs koosneb lüüsikambrist, väravatest I ja II ja laiadest torudest *A* ja *B*. Joonisel 101, *a* on kujutatud laev, mis sõidab läbi väravate I lüüsikambrisse. Toru *B* on seejuures suletud. Pärast laeva jõudmist lüüsikambrisse väravad I ja toru *A* suletakse (joon. 101, *b*). Nüüd avatakse toru *B* ning lüüsikambrisse lastakse voolata vett jõe ülemisest osast. Kui veetase jões ja lüüsikambris saab võrdseks, siis avatakse väravad II ning laev sõidab lüüsikambrist jõkke (joon. 101, *c*).

Ühe lüüsikambriga tõstetakse või langetatakse laeva harilikult 10—15 m. Kui tamm on kõrgem, siis tuleb kasutada kahte-kolme lüüsikambrit. Sel korral tõstetakse või langetatakse laeva järkjärgult ühest kambrist teise.

Kanalite ehitamisel juhtub sageli, et ühendatavad jõed pole võrdsetel kõrgustel ning peale selle ka maakoht, mida kanal peab läbima, on kõrgemal kummagi jõe nivoost.

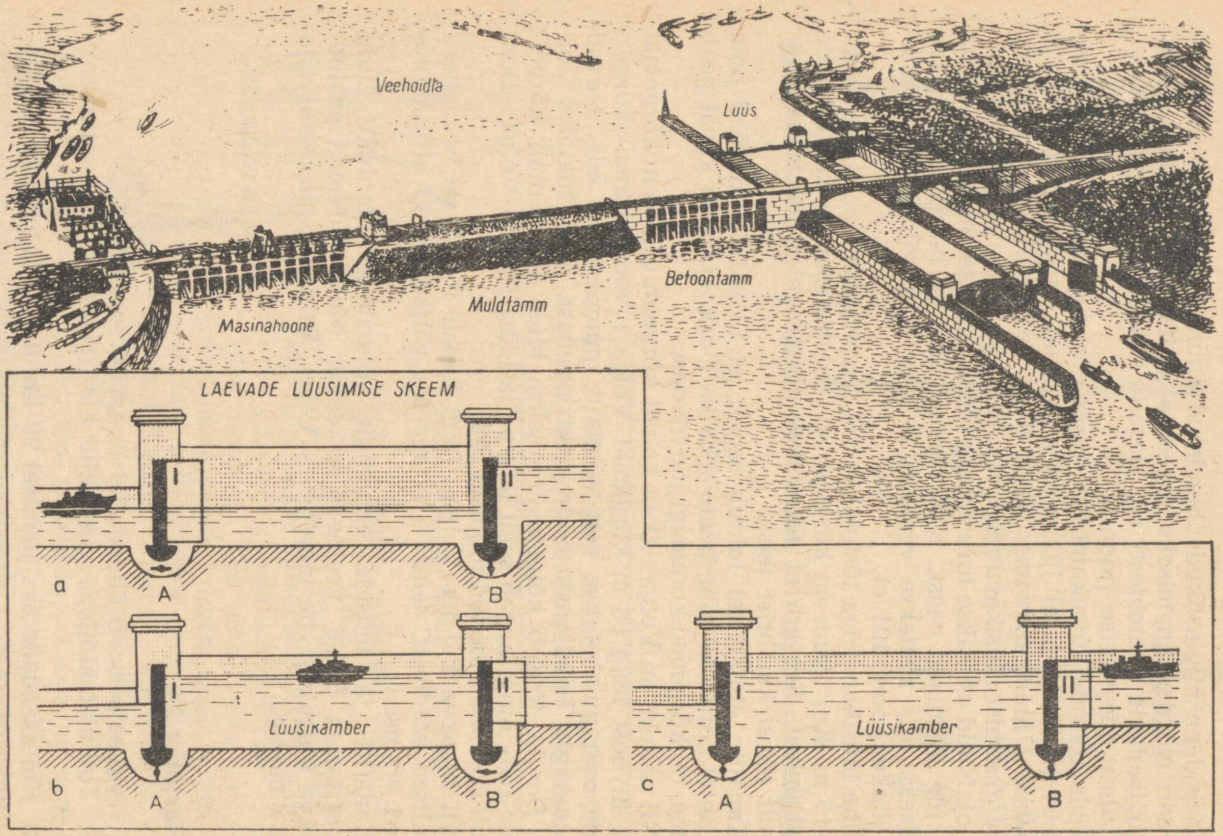
Nii näiteks on Volga—Doni kanali kõrgeim osa 44 m kõrgemal Doni nivoost ning 88 m kõrgemal Volga nivoost. Kanali kõrgeimasse ossa pumbatakse vett võimsate pumpadega, mis saavad oma energia Tsimljanski hüdroelektrijaamast. Laev, liikudes Volgalt Donile, tõuseb kõigepealt üheksa lüüsi abil kanali kõrgeimasse ossa ning langeb sealt läbi nelja lüüsi Donile. Volga—Doni kanali skeem on toodud joonisel 102.

Nii Moskva kui ka Volga—Doni kanali lüüsid on keerulised tehnilised seadmed, samal ajal aga ka väljapaistvad arhitektuurilised ehitused.

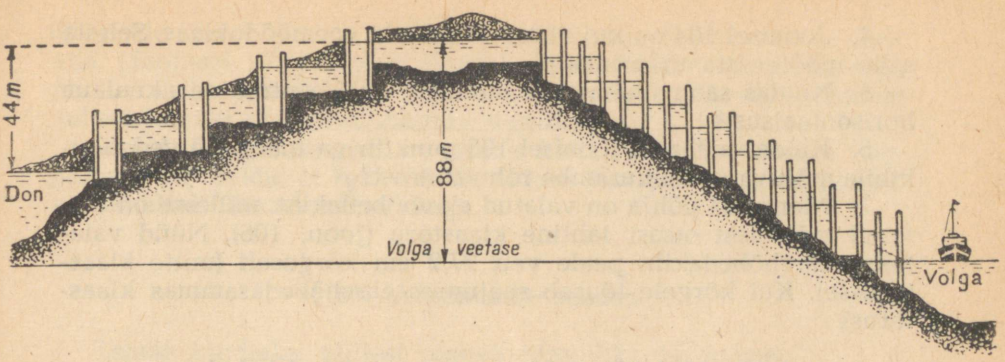
Kanalite ja lüüside ehitamine võimaldas luua NSV Liidu Euroopa-osas ühtse veeteede süsteemi. Meie kodumaa pealinn Moskva ühendati viie merega — Valge, Balti, Kaspia, Aasovi ja Musta merega.

Harjutus 24.

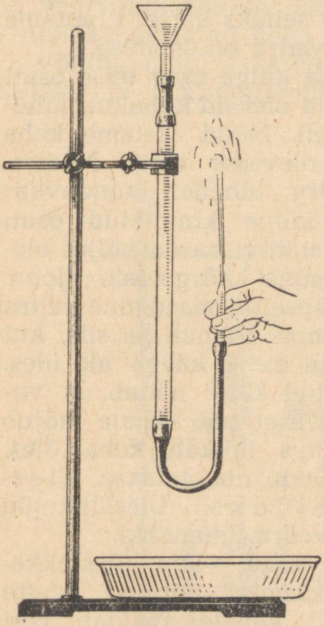
1. Milles seisneb ühendatud anumate seadus?
2. Too näiteid igapäevases elus kasutatavatest ühendatud anumatest.
3. Kui asendada üks joonisel 99 kujutatud ühendatud anumatest lühikese otsast kitseneva toruga ning lasta toru ots veenivoost allapoole, siis purskub toru otsast veejuga (joon. 103). Selgita seda nähtust.



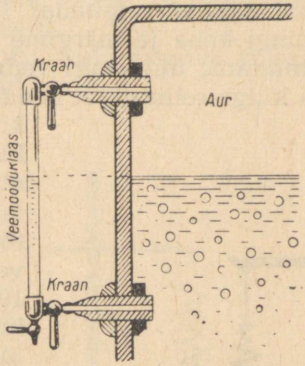
Joon. 101. Lüüs ja hüdroelektrijaama tamm. All on toodud laeva lüüsimise skeem.



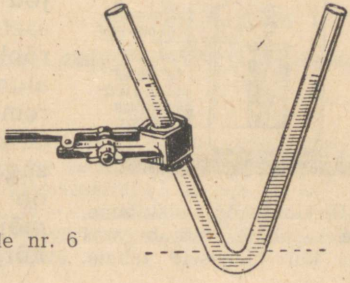
Joon. 102. Lenini-nimelise Volga-Doni kanali skeem.



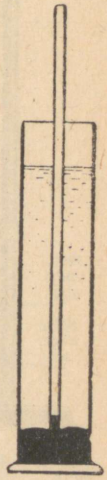
Joon. 103. Fontääni tekkimine.



Joon. 104. Aurukatla veemõõduklaas (ülesande nr. 4 juurde).



Joon. 105. Ülesande nr. 6 juurde.



Joon. 106

4. Joonisel 104 on kujutatud aurukatla veemõõduklaas. Selgita selle mõõteriista tööprintsiipi.

5. Kuidas saab ühendatud anumate abil kontrollida aknalaua horisontaalsust?

6. Kuidas määrata joonisel 105 punktiiriga märgitud vedelikukihile mõjuva vedelikusamba rõhu suurust?

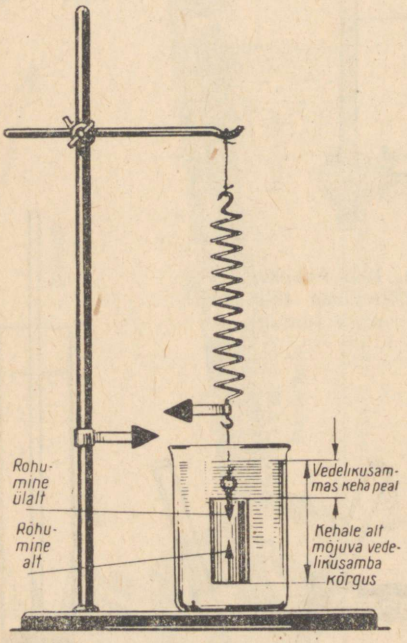
7. Mensuuri põhja on valatud elavhõbedakiht, millesse on pistetud mõlemast otsast lahtine klaastoru (joon. 106). Nüüd valatakse elavhõbedakihi peale vett 27,2 cm kõrguselt (mitte klaastorusse). Kui kõrgele tõuseb seejuures elavhõbedasammas klaastorus?

§ 49. Vedeliku mõju temasse asetatud kehale.

Vee all me võime kergesti tõsta üles kivi, mida õhus suudame ainult suure vaevaga tõsta. Kui võtta kätte kork, pista käsi vette ja lasta siis kork käest lahti, hüppab see kohe veepinnale tagasi.

Kuidas neid nähtusi selgitada? Teeme selleks katse. Riputame vedru otsa mingi keha ja märgime üles vedru pikenemise.

Selleks kinnitame ühe osuti vedru otsa külge ning teise osuti statiivi varda külge selliselt, et nende otsad oleksid kohakuti (ühekõrgusel). Nüüd asetame keha klaasis olevasse vette. Näeme, et vedru lüheneb tunduvalt: vedru külge kinnitatud osuti tõuseb statiivi varda küljes olevast osutist kõrgemale (joon. 107). Täpselt samasugune vedru lühenemine toimub ka siis, kui lükkame keha käega alt üles.



Joon. 107. Üleslükkejõu tekkimine. Keha alumisele tahule mõjub vesi suurema jõuga kui ülemisele tahule.

Tehtud katse näitab, et vedelikku asetatud kehale mõjub jõud, mis lükkab keha üles. Seda jõudu nimetatakse *üleslükkejõuks*. Üleslükkejõu mõjul vedru lühenebki.

Selgitame välja üleslükkejõu tekkimise põhjuse. Vette asetatud kehale avaldab vesi rõhku igas suunas. Kuid rõhk alumisele tahule on alati suurem kui ülemisele, sest alumine tahk on ülemisega võrreldes sügavamal vees. Jooniselt 107 on näha, et alumisele tahule mõjuva rõhu põhjustab palju kõrgem vedelikusammas kui

ülemisele. Järelikult on vee rõhk kehale alt üles suurem kui ülalt alla. (Joonisel 107 on need rõhud kujutatud erinevate pikkustega noolte abil.) Ülemisele ja alumisele tahule mõjuvate rõhkude vahe tekitabki alt üles suunatud üleslükkejõu.

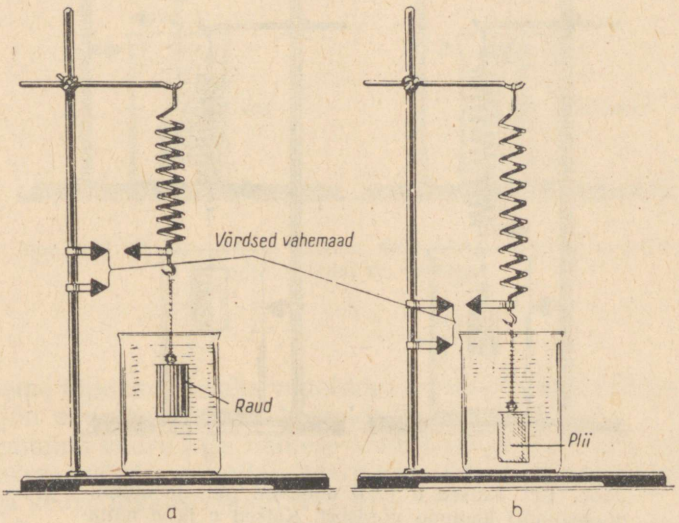
Samal põhjusel ilmneb see nähtus ka teistes vedelikkudes. Seepärast võib öelda, et **iga vedelik mõjub temasse asetatud kehale vertikaalselt üles suunatud jõuga.**

§ 50. Arhimedese seadus.

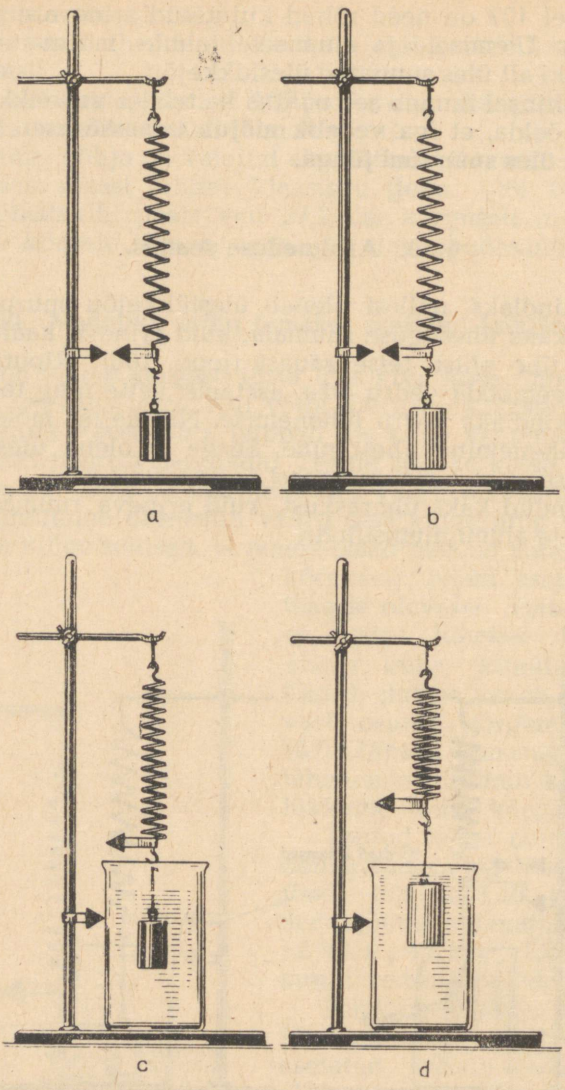
Teeme kindlaks, millest oleneb üleslükkejõu suurus.

Võtame kaks ühesuguse ruumala, kuid erineva kaaluga silindrit, näiteks ühe pliist, teise rauast (joon. 108). Riputame need silindrid järgemööda vedru otsa, asetame vette ning teeme mõlemal korral kindlaks vedru lühenemise. Näeme, et mõlemal juhul on vedru lühenemine ühesugune. Seega ei olene üleslükkejõud vedelikku asetatud keha raskusest.

Võtame nüüd kaks üheraskust, kuid erineva ruumalaga keha, näiteks plii- ja alumiiniumsilindri.



Joon. 108. Alumine osuti statiivivardal näitab vedru pikkust siis, kui keha oli õhus. Ülemine osuti näitab vedru lühenemist keha vetteasetamisel. Erinevate raskustega kehade katsed on kujutatud eraldi joonistel (*a* — raudsilindriga; *b* — pliisilindriga). Mõlemal juhul lüheneb vedru ühesuguse pikkuse võrra.

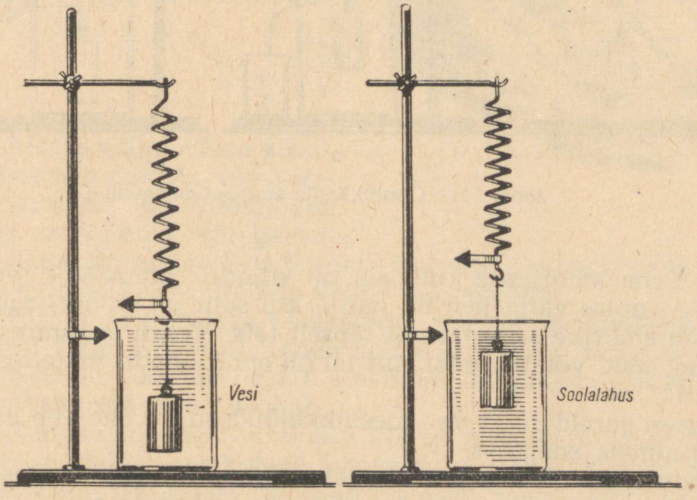


Joon. 109. Katsed *a* ja *b* näitavad plii- ja alumiiniumsilindri kaalude võrdsust. Katsed *c* ja *d* näitavad, et suurema ruumalaga kehale (alumiiniumsilindrile) mõjub suurem üleslükkejõud ning väiksema ruumalaga kehale (silindrile) väiksem üleslükkejõud.

Õhus venitavad need kehad vedrut ühtemoodi (joon. 109, *a* ja *b*). Kehade asetamisel vette aga näeme, et suurema ruumalaga silindrile (alumiiniumsilindrile) mõjub suurem üleslükkejõud (joon. 109, *c* ja *d*).

Järelikult, **üleslükkejõu suurus oleneb vedelikku asetatud keha ruumalast. Üleslükkejõud on seda suurem, mida suurem on vedelikku asetatud keha ruumala.**

Kui asetada vedru otsas rippuv keha järgemööda erinevatesse vedelikesse, näiteks vette, piiritusse, soolalahusesse jne. (joon. 110), siis selgub, et **mida suurem on vedeliku erikaal, seda suurem on kehale mõjuv üleslükkejõud.**



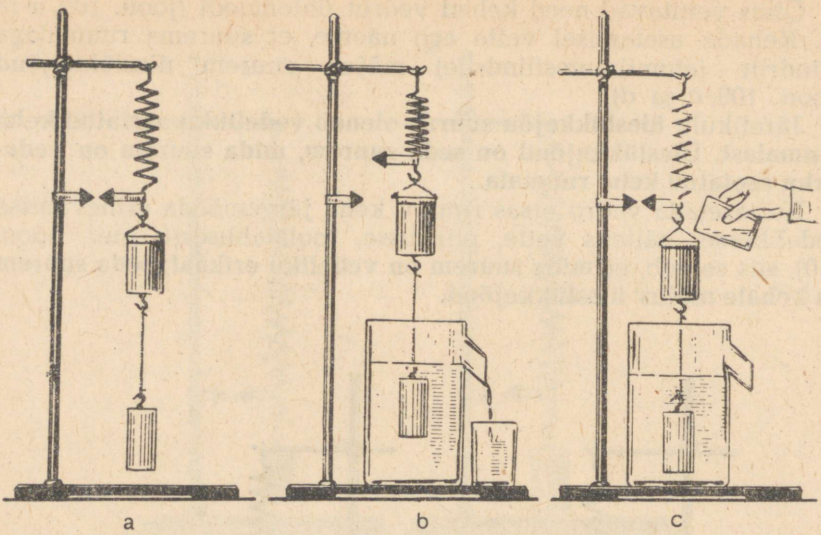
Joon. 110. Kehale mõjub suurem üleslükkejõud selles vedelikus, mille erikaal on suurem.

Teeme lõpuks kindlaks vedelikku asetatud kehale mõjuva üleslükkejõu suuruse. Selleks korraldame jällegi katse.

Riputame vedru otsa väikese ämbrikese ja selle alla ämbrikese ruumalaga võrdse silindri. Märgime statiivi vardale kinnitatud osutiga vedru pikkuse (joon. 111, *a*).

Täidame ülevooluanuma veega ning laseme siis ämbrikese all rippuva silindri ülevooluanumas olevasse vette (joon. 111, *b*).

Seejuures voolab silindri ruumalaga võrdne veehuik ülevooluanumast kõrvalolevasse klaasi. Vedru ots koos selle külge kinnitatud osutiga tõuseb üles, sest silindrile mõjub vee üleslükkejõud. Valame nüüd väljavoolanud vee vedru otsas rippuvasse ämbri-



Joon. 111. Üleslükkejõu suuruse määramine.

kesse. Kuna ämbrikese ruumala oli silindri ruumalaga võrdne, vett aga voolas välja just nii palju, kui suur oli silindri ruumala, siis saab ämbrike sellest veest täpselt täis. Vedru seejuures pikeneb ning osuti võtab asendi, mis tal oli enne silindri vetteasetamist (joon. 111, *c*).

Katsest järeldub, et vee üleslükkejõud on võrdne vee kaaluga keha ruumala suuruses.

Seaduse, mis võimaldab kindlaks määrata vedeliku üleslükkejõu suurust, avastas kreeka teadlane Arhimedes.

Vedelikku asetatud kehale mõjub vertikaalselt üleslükkejõud, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

Seda seadust nimetatakse Arhimedese seaduseks.

Harjutus 25.

1. Kuidas seletada asjaolu, et igale vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud?
2. Kui suur on vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud?

Arhimedes (287.—212. a. enne meie ajaarvamist).

Esimesel kohal mehhaanika (füüsika osa) loojate seas on vana-kreeka teadlane Arhimedes, kelle nimi on igaveseks läinud teaduse ajalukku. Arhimedeselt on pärit paljud tehnilised avastused (vee tõstmisseadmed, heitemasinad jt.).

Paljusid oma masinaid kasutas Arhimedes kodulinna Sürakuusa kaitsmisel vaenlaste vastu.

Üks tähtsamatest loodusseadustest, mille Arhimedes avastas, kannab tema nime. Selle seadusega tutvutakse vedelike ja gaaside omaduste tundmaõppimisel.



3. Mõtle välja selline katse, millega saaks näidata, et ka vedelik avaldab üleslükkejõudu teisele vedelikule või gaasile.

4. Rauatüki ruumala on 0,1 dm^3. Kui suur üleslükkejõud mõjub sellele kehale, kui ta asetada vette? petrooleumi?

5. 0,02 dm^3 ruumalaga vasksilinder riputati dünamomeetri otsa ja asetati vette. Kui suurt jõudu näitab seejuures dünamomeeter?

6. Keti piirkoormus on 6 T. Kas selle ketiga saab vee all hoida ülal 4 m^3 suurust graniitpanka?

7. Kangkaalu ühe kaalukausi kohale riputati niidi abil rauatükk, teise kaalukausi kohale aga niisama raske pliitükk. Kaalud jäävad seejuures tasakaalu. Kas tasakaal säilib, kui mõlemad kehad asetada vette?

8. Kaalukausside kohale riputati niitidega kaks ühesugust metallkuuli. Kaalud jäävad seejuures tasakaalu. Kas tasakaal säilib, kui üks kera asetada vette, teine aga petrooleumi?

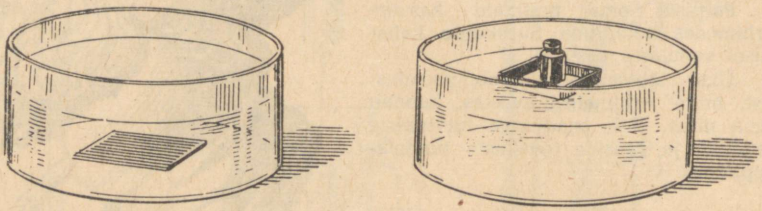
§ 51. Kehade ujumine.

Vaatlused ja katsed näitavad, et ühed kehad ujuvad vee pinnal, teised aga upuvad. Joonisel 112 on kujutatud ujuv palk. Kui see palk saagida laudadeks ning lauad asetada vette, siis ujuvad ka need veepinnal. Veepinnal ujub samuti laudadest tehtud paat. Kuid ujub ka terasest valmistatud laev. Üksikud terasplaadid (need, millest valmistatakse laeva kere) aga upuvad.

Joonisel 113 on kujutatud plekitükk, mis on vette uppunud, ning sellestsamast plekitükist tehtud karbike, mis ujub veepinnal.



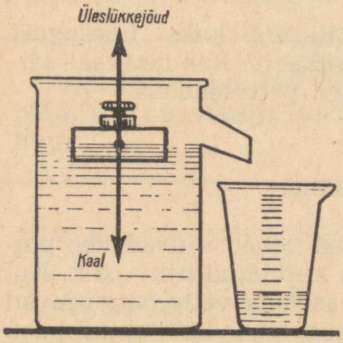
Joon. 112. Veepinnal ujuv palk. Osa palgist on vee sees.



Joon. 113. Plekitükk upub vees, samast plekist valmistatud karbike aga ujub veepinnal.

Miks plekitükk upub, plekk-karbike aga ujub ning võib kanda isegi väikest koormat (karpi asetatud kaaluvihti)? Et seliele küsimusele vastata, teeme katse.

Täidame ülevooluanuma veega. Kaalume plekk-karbi ja selles oleva vihi ning asetame need siis ettevaatlikult ülevooluanumas oleva vee pinnale. Karp vajub veidi vette ning tõrjub seega ülevooluanumast teatud hulga vett välja. See voolab anuma kõrval olevasse mensuuri (joon. 114). Väljatõrjutud vee ruumala järgi teeme kindlaks tema kaalu. Võrreldes väljatõrjutud vee kaalu karbi ja vihi kogukaaluga, näeme, et need on v õ r d s e d.

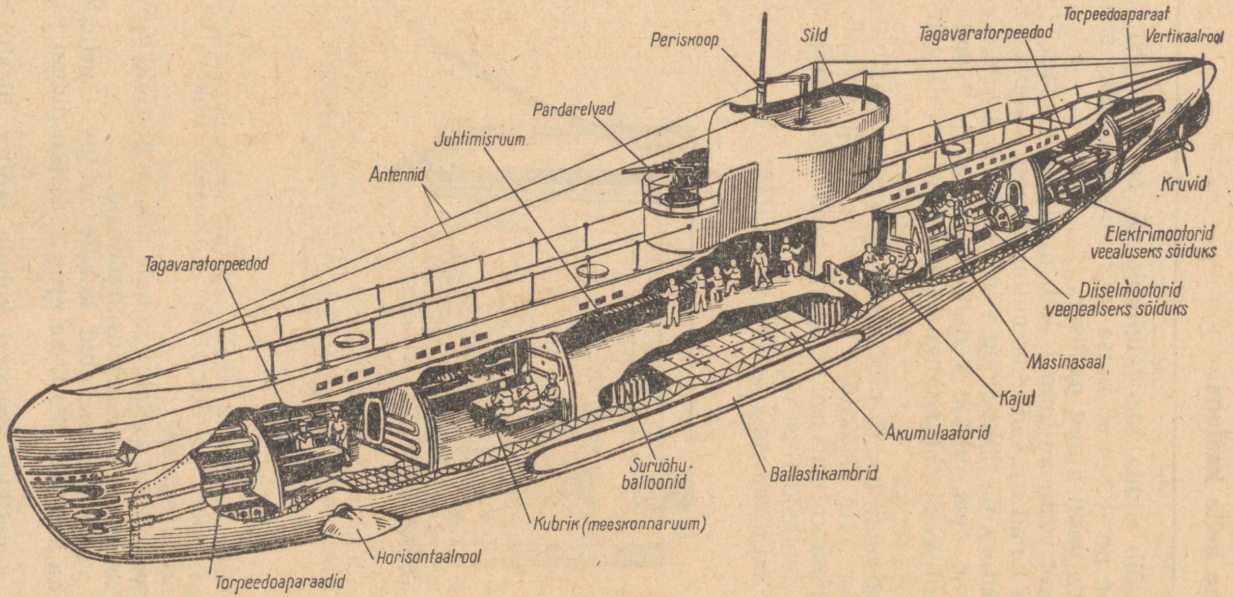


Joon. 114. Veepinnal ujuv vihiga karp surub teatud hulga vett ülevooluanumast välja.

Seega on väljatõrjutud vee kaal võrdne ujuva karbi ja vihi kogukaaluga.

Kui teha selliseid katseid teiste kehade ja teiste vedelikega (veega, piiritusega, soolalahusega jne.), siis näeme, et ujuva keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal on a l a t i võrdne selle keha kaaluga.

Keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal on aga võrdne üleslükke jõuga, millega vedelik mõjub temas olevale kehale. Seepärast võib küsimusele, kas vedelikku asetatud keha ujub selles vedelikus, vastata järgmiselt.



Joon. 115. Allveelaeva läbilõige.

Keha ujub vedelikus siis, kui temale mõjuv üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga.

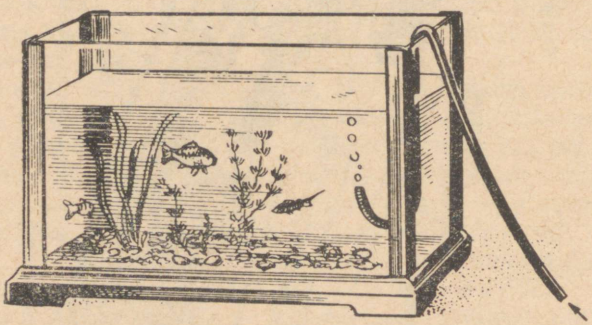
Keha võib ujuda kas täielikult või osaliselt vedelikku vajununa. Meie poolt tehtud katse juures ujus karbike selliselt, et ta oli vette vajunud ainult osaliselt.

Täielikult vette vajununa võib ujuda allveelaev (joon. 115). Loomad ja kalad ujuvad vees mitmesuguses sügavuses. Seejuures on neile mõjuv üleslükkejõud võrdne nende kaaluga.

Vaatleme, mis juhtub vedelikku asetatud kehaga siis, kui temale mõjuv üleslükkejõud on kas suurem või väiksem keha kaalust.

Me nägime juba, et plekitükk upub vees. Samuti upuvad ka kivid (joon. 116). Plekitüki või kivide poolt väljatõrjutud vesi kaalub vähem kui nad ise. Seega on nendele kehadele mõjuv üleslükkejõud nende kaalust väiksem.

Õhumullid tõusevad vees üles (joon. 116).



Joon. 116. Üleslükkejõu ja keha kaalu suhtest oleneb, kas keha upub (kivid), ujub (kalad) või tõuseb pinnale (õhumullid).

Õhumulli poolt väljatõrjutud vesi kaalub rohkem kui mull ise. Teeme nüüd järeldused.

1. **Kui vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud on suurem keha kaalust, siis keha tõuseb pinnale.**
2. **Kui vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga, siis keha ujub vedeliku pinnal või vedeliku sees.**
3. **Kui vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud on väiksem keha kaalust, siis keha upub.**

§ 52. Laboratoorne töö nr. 8.

Kehade ujumine vedelikes.

T ö ö v a h e n d i d: mensuur; kaalud; kaaluvihid; kummikorgiga katseklaas; kuivatuspaber; traatkonks; klaas; natuke kuiva liiva.

T ö ö k ä i k: 1. Vala katseklaasi nii palju liiva, et see pärast korgiga sulgemist ujuks mensuuris olevas vees vertikaalselt ning osa temast ulatuks veest välja.

2. Määra mensuuri abil kindlaks katseklaasile mõjuv üleslükkejõud. Üleslükkejõud on võrdne katseklaasi poolt väljatõrjutud vee kaaluga. Kirjuta üleslükkejõu suurus tabelisse.

3. Võta katseklaas veest välja, kuivata kuivatuspaberi abil kuivaks ning kaalu ta siis täpsusega 1 G. Kaalumistulemus kirjuta tabelisse.

4. Lisa katseklaasi veel veidi liiva. Leia jälle üleslükkejõud ja katseklaasi kaal.

Nii toimi mitu korda, kuni lõpuks katseklaas upub. Tulemused kirjuta tabelisse.

Katse nr.	Üleslükkejõud (G)	Katseklaasi kaal (koos liiva ja korgiga) (G)	Ujub või ei uju
1.			
2.			
3.			
4.			

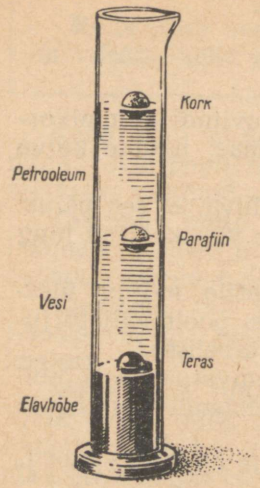
5. Töö käigus saadud andmete põhjal ütle, millal keha ujub ja millal upub.

6. Kujuta graafiliselt jõud, mis mõjuvad vette asetatud katseklaasile.

§ 53. Kehade ujumise sõltuvus keha ja vedeliku erikaalust.

Küsimusele, miks kork ujub vees, rauatükk aga mitte, vastatakse harilikult selliselt: kork on veest kergem, raud aga raskem. Seejuures peetakse silmas asjaolu, et korgi erikaal on vee erikaalust väiksem, raua erikaal aga suurem. Kas selline vastus on õige? Kontrollime seda katseliselt.

Valame mensuuri elavhõbedat, elavhõbeda peale vett ning vee peale omakorda petrooleumi. Võtame kolm võrdse ruumalaga kuulikest: ühe korgist, teise parafiinist ning kolmanda rauast.



Joon. 117. Erinevast ainest kuulikesed ujuvad selliste vedelike pinnal, mille erikaalud on kuulikeste erikaaludest suuremad.

Laseme mensuuri teraskuulikese. Näeme, et see kuul upub petrooleumis ja vees, kuid ujub elavhõbeda pinnal. Parafiinkuulike upub petrooleumis, kuid ujub vees, korkkuulike ujub aga petrooleumis (joon. 117).

Iga keha ujub sellise vedeliku pinnal, mille erikaal on suurem keha erikaalust.

Tõepoolest, korgi erikaal on 0,24 $\frac{G}{cm^3}$, petrooleumi erikaal aga 0,8 $\frac{G}{cm^3}$. Seepärast jäigi meie katses korkkuul ujuma petrooleumi pinnale.

Parafiini erikaal (0,9 $\frac{G}{cm^3}$) on suurem petrooleumi erikaalust, kuid väiksem vee erikaalust (1,0 $\frac{G}{cm^3}$). Nägime, et parafiinkuul uppus petrooleumis, kuid ujus vee pinnal.

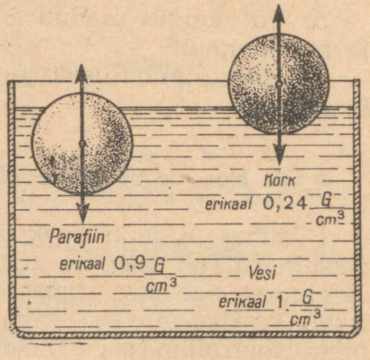
Raua erikaal (7,8 $\frac{G}{cm^3}$) on palju kordi suurem petrooleumi ja vee erikaalust. Seepärast raudkuul nendes vedelikes upub. Elavhõbedas raudkuul aga ei upu, vaid jääb ujuma elavhõbeda pinnale, sest elavhõbeda erikaal (13,6 $\frac{G}{cm^3}$) on suurem raua erikaalust.

Kuld- ja plaatinakuulid upuksid ka elavhõbedas, sest kulla ja plaatina erikaalud on elavhõbeda erikaalust suuremad.

Teeme veel ühe katse. Võtame kaks ühesuguse suurusega kuulikest: ühe parafiinist, teise korgist. Parafiinist kuulike on raskem kui korgist kuulike, sest parafiini erikaal (0,9 $\frac{G}{cm^3}$) on suurem kui korgi erikaal (0,24 $\frac{G}{cm^3}$).

Asetame mõlemad kuulikesed vette. Kuulikesed jäävad ujuma veepinnale, kuid parafiinist kuulike vajub seejuures sügavamale kui korgist kuulike (joon. 118).

Neid katseid on kerge selgitada. Tuletame meelde ujumise



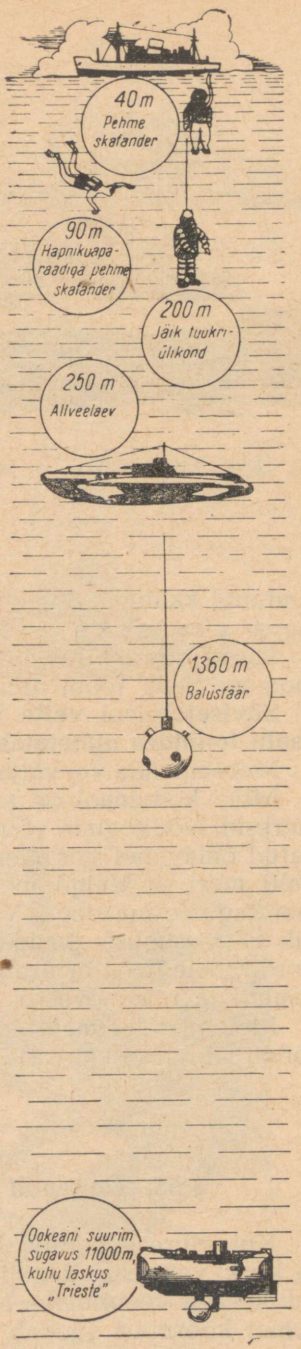
Joon. 118. Raskem parafiinkuulike vajub vees sügavamale kui kergem korkkuulike.

tingimust (§ 51): keha ujub ainult siis, kui vedeliku üleslükkejõud on võrdne keha kaaluga.

Kui keha erikaal on väiksem vedeliku erikaalust, siis keha kaaluga võrdse vedelikuhulga ruumala on keha ruumalast väiksem. Seepärast vajubki niisugune keha vedelikku ainult osaliselt.

Mida väiksem on ujuva keha erikaal vedeliku erikaaluga võrreldes, seda väiksem osa kehast vajub vedelikku.

Kui keha erikaal on vedeliku erikaalust suurem, siis isegi sel juhul, kui keha panna üleni vedelikku, jääb keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaal, s. o. üleslükkejõud, keha kaalust väiksemaks ning keha upub.



§ 54. Laevade ujumine.

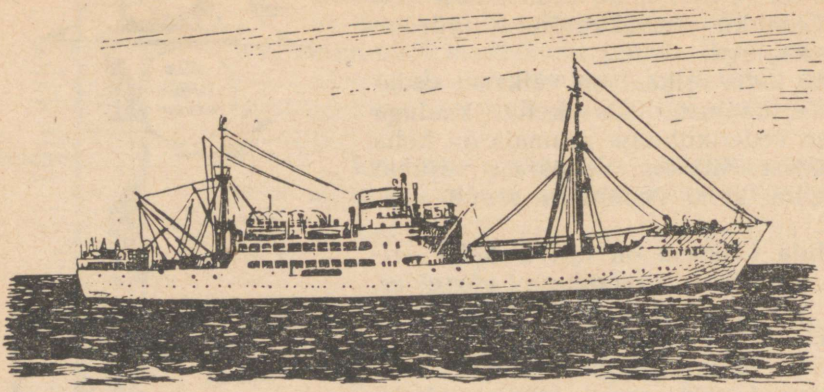
Meredel, järvedel ja jõgedel sõitvad laevad on valmistatud paljudest erinevatest materjalidest, mille erikaalud on väga mitmesugused. Harilikult tehakse laevakered terasplaatidest. Kõik laeva siseühendused, mis annavad laevale tema tugevuse, on valmistatud samuti mitmesugustest metallidest.

Laevade ehitamisel kasutatakse veel kümneid teisi materjale, mille erikaalud on vee erikaalust kas suuremad või väiksemad.

Miks püsivad aga laevad veepinnal, võivad peale võtta suuri koormaid ning toimetada neid vajalikesse kohtadesse?

Katse ujuva plekk-karbiga (§ 51) näitas, et karp surub vees oleva osaga välja sellise veehulga, mille kaal on võrdne karbi kaaluga.

Kõik laevad on oma ehituse põhimõttelt lähedased sellele karbile. Laeva veealuse osa poolt väljatõrjutud vee kaal on võrdne laeva ja temal oleva



Joon. 119. «Vitjas» — laev, mis on spetsiaalselt määratud teaduslikeks töödeks ookeanidel.

laadungi kaaluga. Sügavust, milleni laev vajub vette, nimetatakse laeva süviseks.

Laeva suurim lubatav süvis on laeva kerel märgitud punase joonega. Seda joont nimetatakse süvisejooneks.

Süvisejooneni vette vajunud laeva poolt väljatõrjutud vee kaalu tonnides nimetatakse laeva veeväljasurveks.

Merelaevade veeväljasurve on tavaliselt 5000 kuni 25 000 tonni.

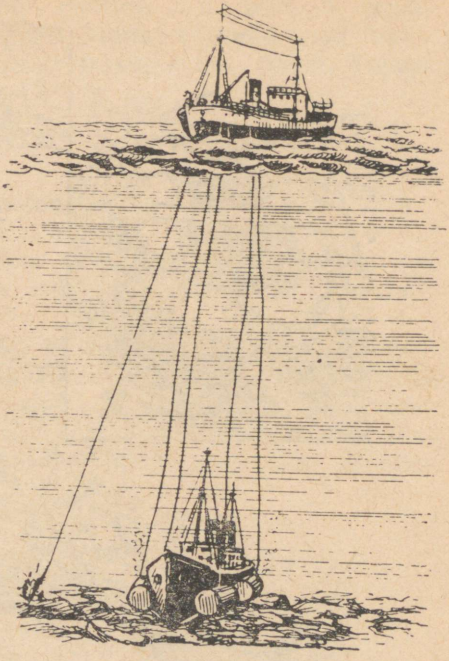
Meie kodumaal on palju laevatatavaid jõgesid, suuri järvi ja meresid. Nõukogude võimu aastail kaevatud kanalite abil on ühendatud omavahel viis merd: Must meri, Aasovi meri, Kaspia meri, Balti meri ja Valge meri. Meie maa on elavas kaubavahetuses meretaguste maadega. Veetransport on kõige odavam transpordiliik mitmesuguste kaupade vedamiseks. Seepärast ongi veetranspordil meie maal määratu suur tähtsus. Iga aastaga suureneb meie kauba- ja reisilaevastik.

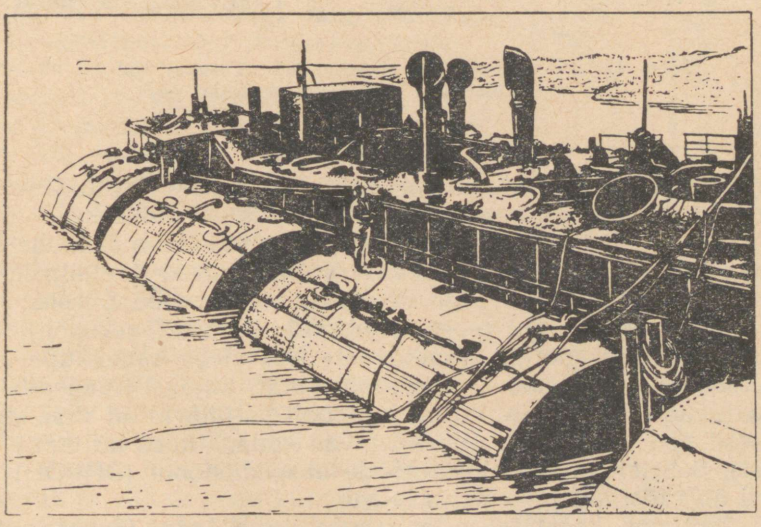
Meie maa laevaehitustehastes ehitatakse ka teaduslike uurimistööde läbiviimiseks vajalikke laevu (joon. 119).

§ 55. Uppunud laevade ülestõstmine. Pontoonid.

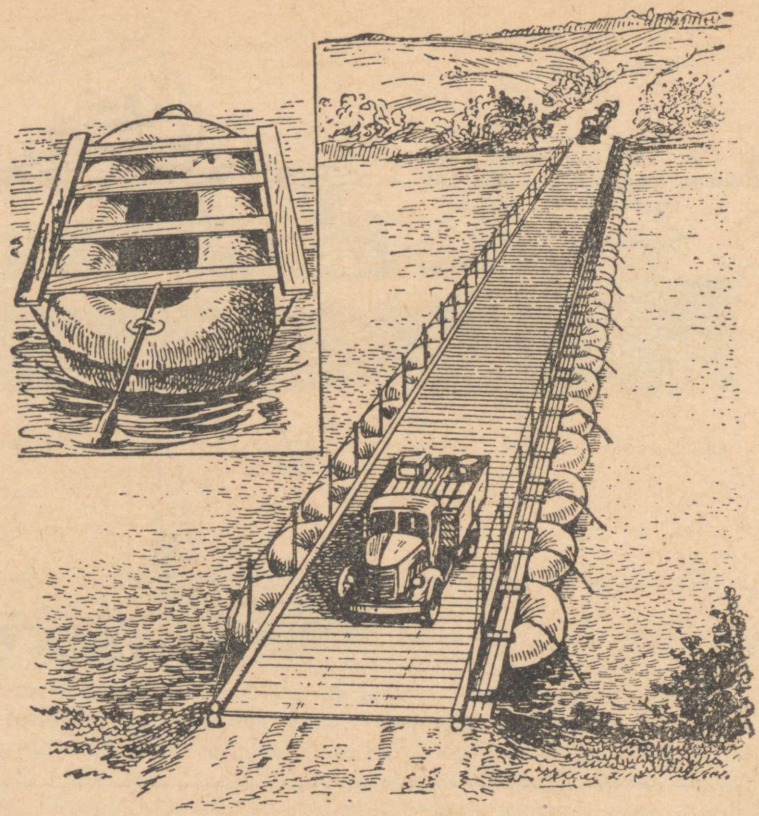
Kui suure korgitüki külge siduda väike pliitükike (koormus) ja kork vette suruda, siis tõuseb ta lahtilaskmisel kohe koos pliitükikesega veepinnale. Mida suurem on korgi ruumala, seda suuremat koormust suudab ta veepõhjast üles tõsta, sest vee üles-

Joon. 120. Enne uppunud laeva ülestõstmist kinnitatakse laeva külge pontoonid.





Joon. 121. Pontoonide abil merepinnale tõstetud laev.



Joon. 122. Kummipaatidele ehitatud sild. Vasakul ülal on kujutatud üks silla ehitamisel kasutatav paat.

lükkejõud korgile on võrdne korgi poolt väljatõrjutud vee kaaluga. Seda nähtust kasutatakse laevade ülestõstmiseks.

Kõigepealt määratakse kindlaks uppunud laeva asukoht. Pärast seda lastakse merepõhja laeva kõrvale suured metallpaagid — p o n t o o n i d (joon. 120). Et pontoone merepõhja lasta, selleks täidetakse need algul veega. Tuukrid kinnitavad merepõhja lastud pontoonid laevade alt läbiminevate trossidega kahekaupa kokku. Pärast seda pumbatakse pontoonid veest tühjaks. Kuna pontoonid kaaluvad nüüd vähem kui nende poolt väljatõrjutud vesi, siis tõusevad nad veepinnale ning tõstavad endaga koos ka laeva (joon. 121). Selliselt on veealuste tööde ekspeditsiooni (ЭПРОН) töötajad üles tõstnud juba palju laevu.

Pontoone kasutatakse aga ka ujuvsildade (pontoonsildade) ehitamiseks (joon. 122). Sõjaasjanduses kasutatakse pontoonidena

täispuhutavaid kummipaate. Nende paatide eelis seisneb nende kerguses ja selles, et õhust tühjakslastuina võtavad nad vähe ruumi. See võimaldab neid hõlpsasti transportida ühest kohast teise.

§ 56. Areomeetrid.

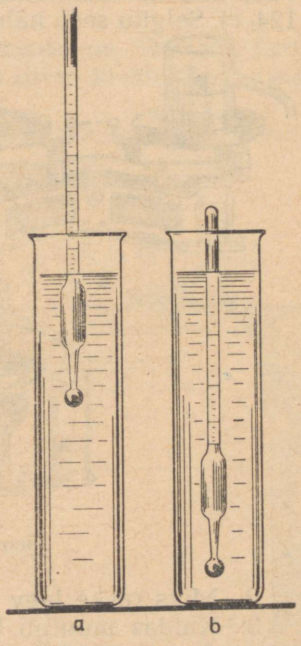
Puistame katseklaasi kuiva liiva või peenikesi haavleid nii palju, et katseklaas ujuks vees vertikaalselt. Märgime katseklaasile sügavuse, milleni ta vajub vette.

Asetame nüüd selle katseklaasi piiritusega täidetud anumasse. Näeme, et piirituses vajub ta sügavamale kui vees. Millega seda nähtust seletada? Asi seisneb selles, et piirituse erikaal on väiksem kui vee erikaal ning katseklaas peab seepärast piirituses ujudes suruma piiritust rohkem välja kui vett. Seepärast vajubki katseklaas piirituses sügavamale.

Kui aga sama katseklaas paigutada veest suurema erikaaluga vedelikku (näiteks soolalahusesse), siis ta seal nii sügavale ei vaju kui vees.

Kirjeldatud nähtusel põhineb areomeetri ehitus. Areomeetrid on riist, mille abil saab määrata vedelike erikaalu. Harilikult valmistatakse areomeeter peenikesest klaastorust, mille alumine osa on jämedam ning milles asub ballastireservuaar (ruum koormuse jaoks).

Joonisel 123 on kujutatud kaks vees ujuvat areomeetrit. Esimene neist (joon. 123, *a*) on määratud veest väiksema erikaaluga vedelike jaoks, teine (joon. 123, *b*) aga veest suurema erikaaluga vedelike jaoks. Mõlemad areomeetrid vajuvad vette jooneni, mille juurde on kirjutatud arv 1,000. See arv märgib vee erikaalu. Kui esimene areomeeter asetada näiteks piiritusesse, siis vajub ta seal sügavamale kui vees. Seepärast asuvad selle areomeetri skaala jaotused ülevalpool jaotust 1,000. Kui teine areomeeter asetada näiteks väävelhappesse, siis vajub ta vähem sisse kui vees. Seepärast asuvad seda tüüpi areomeetri jaotused allpool jaotust 1,000.



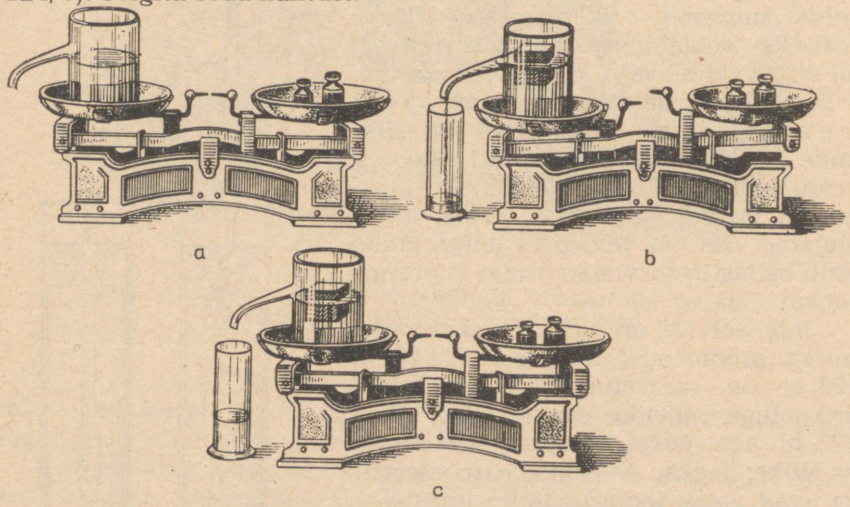
Joon. 123. Areomeetrid. *a* — areomeeter veest kergemate vedelike erikaalude mõõtmiseks; *b* — areomeeter veest raskemate vedelike erikaalude mõõtmiseks.

Joonisel 123 kujutatud areomeetriga võib mõõta erikaalu täpsusega 0,01 $\frac{G}{cm^3}$.

Sageli märgitakse areomeetri skaalale erikaalu asemel mõne teise füüsikalise suuruse väärtused, mis olenevad erikaalust. Selliseid riistu ei nimetata aga enam areomeetriteks. Kui näiteks areomeetrile märkida piirituse kangust iseloomustavad arvud, siis sellist riista nimetatakse s p i r t o m e e t r i k s. Areomeetrit, mis näitab suhkru hulka lahuses, nimetatakse s a h h a r i m e e t r i k s ja areomeetrit, mis näitab piima rasvasisaldust, l a k t o m e e t r i k s.

Harjutus 26.

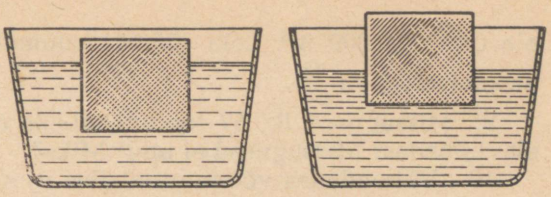
1. Kaaludel tasakaalustati ülevooluanum (joon. 124, *a*). Anumasse lasti puuklots, mille tulemusena kaalude tasakaal kadus (joon. 124, *b*). Pärast seda, kui klotsi poolt väljatõrjutud vesi oli voolanud ülevooluanumast välja, kaalud tasakaalustusid (joon. 124, *c*). Selgita seda nähtust.



Joon. 124. Ülesande nr. 1 juurde.

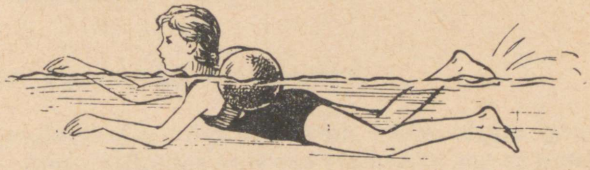
2. Miks raske laev ujub veepinnal, nael aga upub?
3. Kuidas muutub laeva süvis, kui laev sõidab jõest merre?
4. Joonisel 125 on kujutatud üks ja sama keha, mis ujub kahes erinevas vedelikus. Kumma vedeliku erikaal on suurem? Miks? Mida võib öelda keha kaalu ja üleslükkejõu kohta esimesel ja teisel juhul?
5. Puust ujuk asetatakse tema külge kinnitatud pliist koormusega algul vette ja siis petrooleumi. Kummalgi juhul ujuk ei upu. Kummas vedelikus vajub ujuk sügavamale?

Joon. 125. Ülesande nr. 4 juurde.



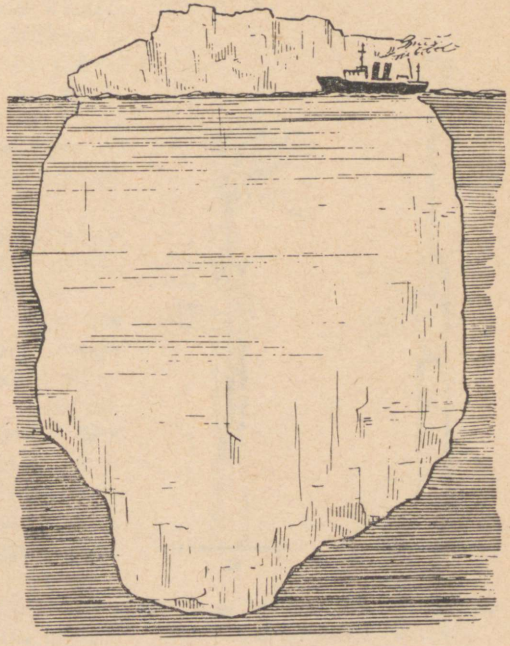
6. Joonisel 126 on kujutatud tüdruk, kes kasutab ujumisel korkvesti. Kui rasket koormust võib hoida selline korkvest vee peal, kui tema ruumala on 5 dm^3 ning ta vajub tervenisti vette?

Joon. 126. Ülesande nr. 6 juurde.



7. Laeva läbilõike pindala veepinna juurest on 5400 m^2. Laevale laaditud koorma mõjul suurenes laeva süvis 40 cm võrra. Leia selle koorma kaal.

8. Vees ujub jäämägi (joon. 127). Jäämäe veealuse osa ruum-



Joon. 127. Ülesande nr. 7 juurde.

ala on 1 000 000 m^3. Leia jäämäe ruumala ja kaal, kui merevee erikaal on 1,03 $\frac{G}{cm^3}$.

9. Missugused lk. 57 toodud tabelis olevad metallid upuvad elavhõbedas? Missugused ei upu? Miks?

10. Vähendades või suurendades ujumispõie mahtu, võib kala laskuda vees sügavamale või tõusta ülespoole. Selgita seda nähtust.

IV PEATÜKK.

GAASIDE OMADUSED.

§ 57. Gaaside kokkusurutavus.

Gaasid on nagu vedelikudki väga liikuvad. Meie elame gaasilises keskkonnas — õhus. Liikudes väikese kiirusega, me ei märkagi õhku, sest läbime teda väga kergesti.

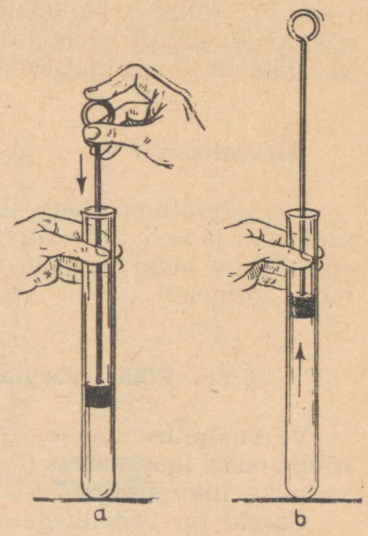
Vedelikku, nii nagu tahket kehagi, on väga raske kokku suruda. Et vähendada vedeliku ruumala kas või üsna tühise osa võrra, tuleb rakendada väga suurt rõhku. Gaasi ruumala võib aga vähendada mitu korda juba võrdlemisi väikese rõhu abil. Seda on kerge näidata ka katseliselt.

Asetame ühest otsast kinnisesse klaastorusse tihedalt liikuva kolvi (joon. 128). Kui suruda käega kolvivardale, siis võime võrdlemisi kergesti vähendada kolvi alla jääva õhu ruumala kaks, kolm ja isegi rohkem arv kordi (joon. 128, *a*). Kui surumine lõpetada, siis õhk paisub, lükkab kolvi üles ning võtab endise ruumala (joon. 128, *b*).

Gaasi ruumala muutumisel muutub ka gaasi poolt avaldatav rõhk. Ka seda võib vaadelda katseliselt.

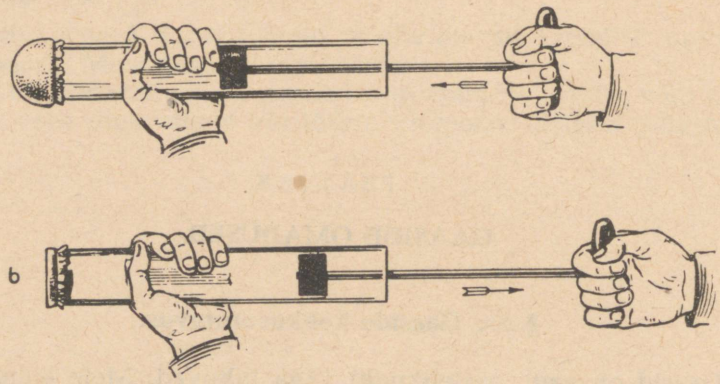
Võtame klaastoru, mille üks ots on suletud õhukese kummikelmega (joon. 129). Torusse on pandud tihedalt liikuv kolb. Surudes kolvile, vähendame kolvi all oleva õhu ruumala, s. o. surume gaasi kokku. Selle tagajärjel venib toru otsa sulgev kummikelme välja (joon. 129, *a*), mis näitab, et õhu rõhk torus suureneb.

Kui tõmmata kolb tagasi, siis suureneb kolvi all oleva õhu ruum-



Joon. 128. Katse, mis näitab õhu kokkusurutavust.

ala ja kummikelme taastab oma esialgse oleku, näidates sellega rõhu vähenemist torus (joon. 129, *b*).



Joon. 129. Õhu ruumala vähenemisel tema rõhk suureneb, ruumala suurenemisel aga väheneb.

Sama nähtus ilmneb ka siis, kui torus on õhu asemel mõni teine gaas.

Katsed näitavad, et **gaasi ruumala vähenemisel tema rõhk suureneb, ruumala suurenemisel aga rõhk väheneb.**

Gaaside hoidmiseks ning transportimiseks surutakse nad tugevasti kokku ning suletakse spetsiaalsetesse terasballoonidesse (joon. 4). Sellistes balloonides hoitakse näiteks õhku aliveelaevades, keevitamisel kasutatavat hapnikku, limonaadi valmistamisel kasutatavat süsihappegaasi ja paljusid teisi gaase.

Harjutus 27.

Tee jalgrattapumbaga järgmine katse. Sule sõrmega õhu väljavooluava ja suru kolvi all olev õhk kokku. Mida tunneb seejuures sõrm? Lase nüüd käepide lahti. Mis juhtub? Kuidas muutub õhu mõju sõrmele?

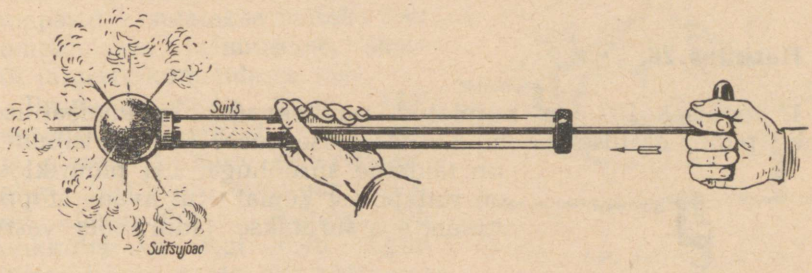
§ 58. Rõhu edasiandmine gaasides. Pascali seadus.

Varemõpitust teame, et vedelikud annavad neile mõjuvat rõhku edasi igas suunas (§ 41). Seda vedelike omadust selgitatakse vedelike liikuvusega.

Gaasid on vedelikega võrreldes veelgi liikuvamad ning nad annavad rõhku edasi täpselt samuti nagu vedelikudki. Kontrollime seda katsetega.

Võtame katseriista, mida me kasutasime vedeliku rõhu edasiandmise uurimisel (joon. 83).

Võtame kolvi silindrist välja ja täidame katseriista suitsuga. Kui nüüd kolb tagasi asetada ja sellele nõrgalt rõhuda, siis hakkab igast avast suitsu välja tungima (joon. 130).

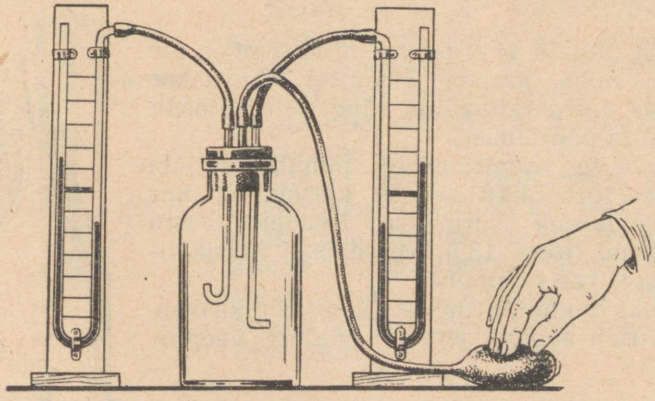


Joon. 130. Rõhu edasiandmine õhus. Koos õhuga tungib igast avast välja ka suits.

See katse näitab, et **gaasid annavad nagu vedelikudki rõhumist edasi igas suunas.**

Et kindlaks teha, kas edasiantava rõhu suurus oleneb suunast, teeme järgmise katse.

Joonisel 131 on kujutatud kummikorgiga suletud pudel. Läbi korgi on pandud kolm toru. Üks toru on ühendatud kummiballooniga, kaks ülejäänut aga manomeetritega. Pudelis olevate torude otsad on avatud erinevates suundades. Kui vajutada nõrgalt kummiballoonile, siis tõuseb vedelik mõlemas manomeetris võrdse pikkuse võrra. Katse näitab, et manomeetri näit ei sõltu sellest,



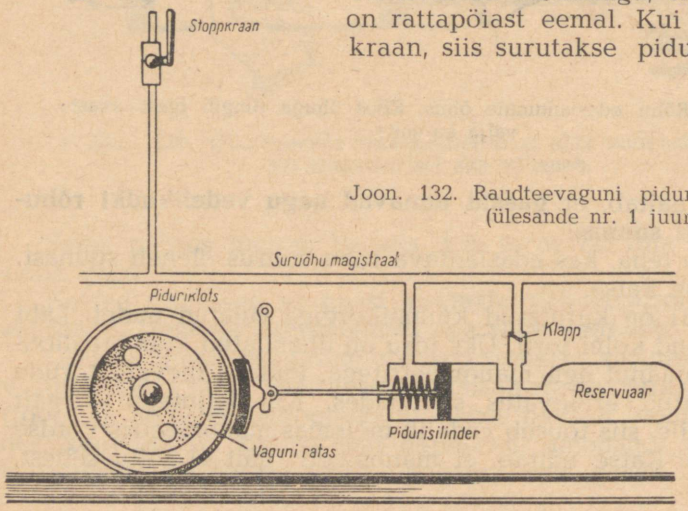
Joon. 131. Manomeetrid näitavad, et õhk annab rõnku edasi igas suunas muutusteta

millises suunas toru ots on avatud. Järelikult annab gaas temale avaldatava rõhu edasi igas suunas muutusteta. Selles seisnebki Pascali seadus gaaside kohta.

Gaas annab nagu vedelikki temale avaldatava rõhu edasi igas suunas ühetugevuselt.

Harjutus 28.

1. Joonisel 132 on kujutatud raudteevaguni pneumaatilise (õhk-) piduri ehituse skeem. Kui terasreservuaar ja pidurisilinder on täidetud suruõhuga, siis piduriklots on rattapöiast eemal. Kui avada stoppkraan, siis surutakse piduriklots vastu

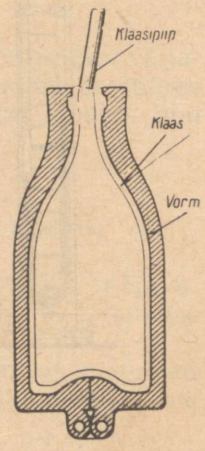


Joon. 132. Raudteevaguni pidurisüsteemi skeem (ülesande nr. 1 juurde).

rattapöida. Vaatle pidurisüsteemi skeemi ja tee kindlaks, miks kraani avamisel surutakse piduriklots vastu rattapöida ning pidurdatakse sel teel ratta pöörlemist.

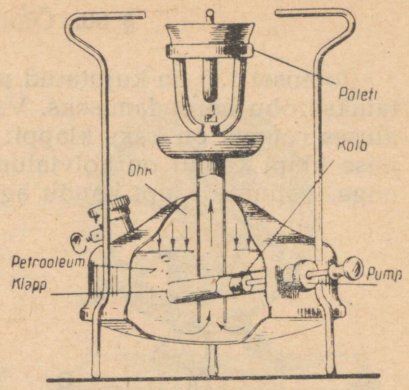
2. Pudelite valmistamisel puhutakse läbi spetsiaalse toru õhku sulasse klaasmulli, mis selle tulemusena surutakse tihedalt vastu pudeli vormi (joon. 133). MissuguseI füüsikalisel nähtusel see põhineb?

3. Miks õhumulli ruumala kogu aeg kasvab, kui ta tõuseb sügava anuma põhjast veepinnale?



Joon. 133. Pudeli valmistamine (ülesande nr. 2 juurde).

§ 59. Õhutihenduspump.

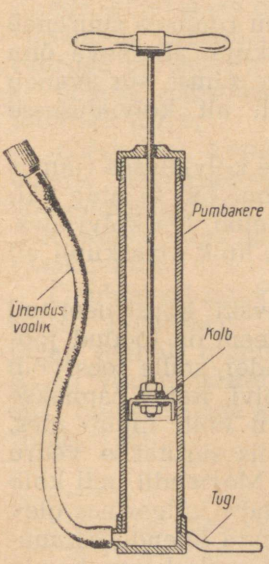


Joon. 134. Priimuse pump.

Õhutihenduspumpasid kasutatakse igapäevases elus ja tehnikas väga palju. Tutvume sellise pumba ehitusega. Õhutihenduspumpasid kasutatakse näiteks õhu pumpamiseks priimusesse, auto- või jalgrattakummidesse jne.

Priimuse pump (joon. 134) koosneb metalltorust, mille üks ots ulatub priimuse reservuaari. Selles otsas asub reservuaari avanev klapp. Pumba kolviks on nahkkübarake. Kui kolb liigub silindri põhja poole, siis kolvi ees olev õhk surub kübarakese servad tugevasti vastu toru. Kolvi sellisel liikumisel surutakse kolvi ees olev õhk kokku. Kasvava rõhu mõjul avaneb pumba põhjas olev klapp ning õhk pääseb pumbatorust priimuse reservuaari. Reservuaari pumbatud õhk avaldab omakorda rõhku priimuses olevale petrooleumile ning lükkab selle priimuse põletisse. Kui kolb liigub tagasi, siis pääseb uus õhk pumbatoru ja kolvikübara vahelt kolvi alla ning tsükkel võib korduda uuesti.

Täpselt sama põhimõtte järgi on ehitatud ka jalgratta- ja autopump (joon. 135). Erinevus seisneb ainult selles, et klapp ei ole siin mitte pumba küljes, vaid niplis — lühikeses torus, mille abil ühendatakse pump õhukummiga.



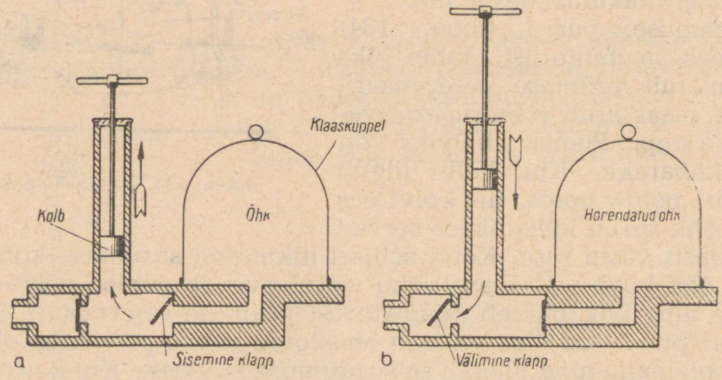
Joon. 135. Autopump.

Suure rõhu all kokkusurutud gaasi saamiseks kasutatakse aga palju võimsamaid pumpasid, nn. kompressoreid. Kompressori kolb pannakse liikuma kas aurumasina, elektrimootori või mõne muu jõuseadme abil.

Meie maal kasutatakse võimsaid kompressoreid näiteks ka looduslikku gaasi edasiandmiseks mööda torujuhtmeid leiukohalt tarbimiskohale. Nii näiteks suunatakse Stavropoli leiukoha looduslik gaas mööda torujuhtmeid Moskvasse ja paljudesse teistesse linnadesse.

§ 60. Õhuhõrenduspump.

Joonisel 136 on kujutatud pump, mida laboratooriumides kasutatakse õhu hõrendamiseks. Vaatleme selle pumba ehitust. Kolvialuses ruumis on kaks klappi: üks sisemine, teine välimine. Sisemise klapi kaudu on kolvialune ruum ühendatud kuplialuse ruumiga, välimise klapi kaudu aga väliskeskkonnaga.

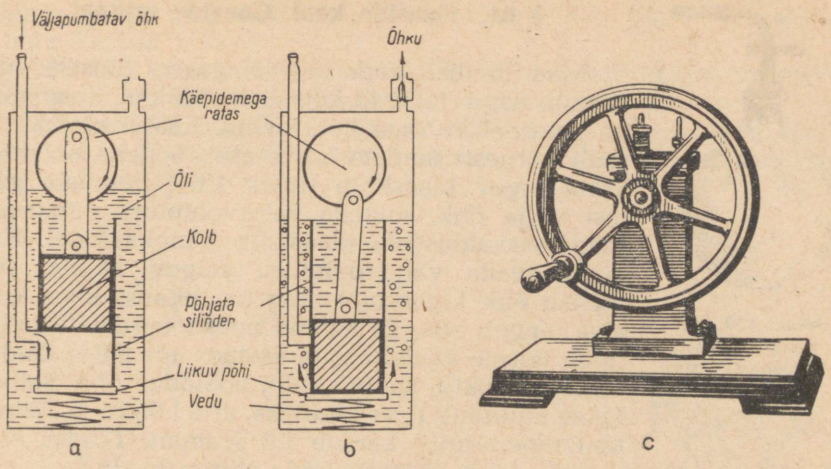


Joon. 136. Õhuhõrenduspump.

Kui kolb liigub üles, siis kolvi all oleva õhu ruumala suureneb ja seetõttu tema rõhk väheneb. Kuna klaaskupli all oleva õhu rõhk saab nüüd suuremaks kolvi all oleva õhu rõhust, siis avaneb sisemine klapp ning õhk tungib klaaskupli alt kolvialusesse ruumi.

Kui kolbi hakata suruma alla, siis surutakse kolvialuses ruumis olev õhk kokku, see avab välimise klapi (joon. 136, *b*) ning väljub pumbast. Sisemine klapp on seejuures suletud. Iga kolvi üles-alla käigu juures kirjeldatu kordub ning õhu hulk klaaskupli all järjest väheneb.

Koolikatsetes kasutatakse insener Komovski konstrueeritud õhuhõrenduspumpa. Sellise pumba ehituse skeem on toodud joonisel 137. Õliga täidetud metallnõus asub silinder, mille sees võib ratta pööramisega panna üles-alla liikuma kolvi. Ratas pannakse pöörlema kas käega või elektrimootoriga. Kui kolb liigub üles, siis suletakse silinder spetsiaalse põhjaga, mis surutakse vedru abil tihedalt vastu silindri otsa (joon. 137, *a*). Momendil, mil kolb jõuab oma kõrgeimasse asendisse, avaneb silindri külgseinas olev sisselaskeava. See ava on toru ja vooliku kaudu ühenduses anumaga, millest tahetakse õhku välja pumbata. Sisselaskeava kaudu tungib osa anumas olevast õhust kolvialusesse ruumi. Kui kolb



Joon. 137. Komovski pump.

liigub alla (joon. 137, *b*), siis surutakse see õhk silindrist õlisse. Kolb täidab selles pumbas ka silindri külgseinas oleva ava klapi ülesannet. Teiseks klapiks on vedruga varustatud põhi. Komovski pumba välisvaade on toodud joonisel 137, *c*.

Tööstuses kasutatakse palju uuema konstruktsiooniga õhuhõrenduspumpasid, milliste abil võib saada väga suure hõrenduse (vaakuumi[1]).

Õhuhõrenduspumpasid kasutatakse laialdaselt tolmuimejates. Pump tekitab tolmuimejas hõrendatud ruumi, kuhu tungib välisõhk, tuues endaga kaasa ka tolmu (joon. 138).



Joon. 138. Tolmuimeja.

[1] Vaakuum (ladinakeelsest sõnast *vacuum* — tühjus) — tühi ruum, täpsemalt gaasi hõrenduse ülim saavutatav piir. Raadiolampidest pumbatakse näiteks õhk välja umbes hõrenduseni 0,000001 $\frac{G}{cm^2}$.



Joon. 139. Klaaskera õhu kaalu demonstreerimiseks.

§ 61. Gaaside kaal. Gaaside erikaal.

Maa tõmbab enda poole gaase täpselt niisamuti nagu tahkeid kehi ja vedelikke. Seepärast on gaasidel ka oma kaal. Õhu kaalu olemasolu saab kergesti näidata katse abil. Selleks on vaja võtta tugev klaaskolb (joon. 139), pumbata sellest välja õhk, sulgeda väljavoolutoru näpitsaga ning tasakaalustada klaaskolb kangkaaludel. Kui nüüd avada väljavoolutoru sulgev näpits, siis voolab õhk klaaskolbi ning kaalukauss koos kolviga langeb alla. Et kaalud uuesti tasakaalustada, tuleb teisele kaalukausile asetada nii palju kaaluvihte, kui palju kaalub kolbi voolanud õhk. Sellise katse abil saab teha kindlaks, et 1 l õhku harilikul toatemperatuuril kaalub 1,3 grammi. Teades õhu kaalu ja tema ruumala, võib kergesti leida õhu erikaalu.

Samal viisil võib leida ka teiste gaaside erikaale.

Järgnevas tabelis on antud mõnede gaaside erikaalud $\left(\frac{G}{cm^3}\right)$.

Õhk	0,0013
Hapnik	0,0014
Süsihappegaas	0,0020
Looduslik gaas	0,0006
Vesinik	0,00009
Lämmastik	0,00125

Harjutus 29.

1. Missugune tabelis olev gaas on kõige raskem ja missugune kõige kergem? Põhjenda oma vastust.
2. Mitu korda on õhk raskem looduslikust gaasist? vesinikust?

§ 62. Õhurõhk.

Maad ümbritsevat õhukihti nimetatakse atmosfääriks[1]. Atmosfäär ulatub enam kui 1000 km kõrgusele. Me elame seega hiiglasliku õhuookeani põhjas, milleks on maakera pind.

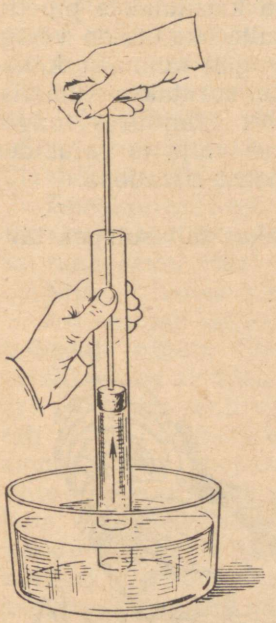
Nii nagu veekihidki, avaldavad ka õhukihid oma raskusest tingitud rõhku allolevatele kihtidele. Vahetult maapinnal olev õhukiht peab seega taluma kõigi kõrgemalolevate õhukihtide raskust. Vastavalt Pascali seadusele annab ta aga selle rõhu edasi igas suunas. Seega peab ka maakera pind ja sellel olevad kehad

[1] Atmosfäär — tuleneb kahest kreekakeelsest sõnast: *atmos* — aur, õhk ja *sphaira* — kera.

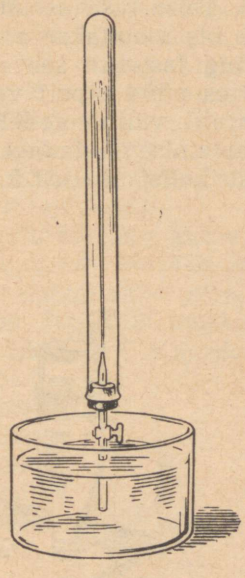
taluma kõigi õhukihtide kaalu ehk, nagu sel juhul öeldakse, õ h u r õ h k u.

Õhurõhu olemasolu tõestuseks võivad olla paljud igapäevasest elust tuttavad nähtused. Vaatleme mõnda sellist nähtust.

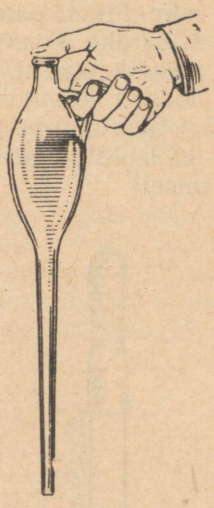
Asetame otsapidi vette pika klaastoru, mille sees liigub tihedalt kolb. Kui tõmmata kolbi ülespoole, siis tõuseb koos kolviga üles ka vesi (joon. 140).



Joon. 140. Õhurõhu mõjul tõuseb vesi koos kolviga üles.



Joon. 141. Fontään õhutühjas ruumis.



Joon. 142. Vedelike proovide võtmiseks kasutatav riist (ülesande nr. 1 juurde).

Kolvi liikumisel üles jääb kolvi ja veepinna vahele õhutühi ruum. Välise õhurõhu mõjul liigub kolvi järel sellesse ruumi vesi.

Seda nähtust kasutatakse veepumpade ehitamisel. Pumpade ehitust käsitleme hiljem.

Joonisel 141. on kujutatud pikk silindriline nõu. Nõu on suletud korgiga, millest läbi on pandud kraaniga toru. Nõust pumbatakse õhk välja ja toru asetatakse otsapidi vette. Kui nüüd kraan avada, siis purskab vesi suure hooga nõusse, sest väline õhurõhk on suurem nõu sees olevast rõhust.

Harjutus 30.

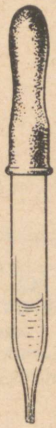
1. Vedelike proovide võtmiseks kasutatakse riista, mis on esitatud joonisel 142. See riist kujutab endast piklikku anumat, mille üla- ja alaosas on väikesed avad. Riist asetatakse vedelikku, suletakse sõrmega ülemine ava ning tõstetakse ta siis vedelikust välja. Kui nüüd ülemine ava avada, siis voolab vedelik riistast välja.

Selgita selle riista töötamist.

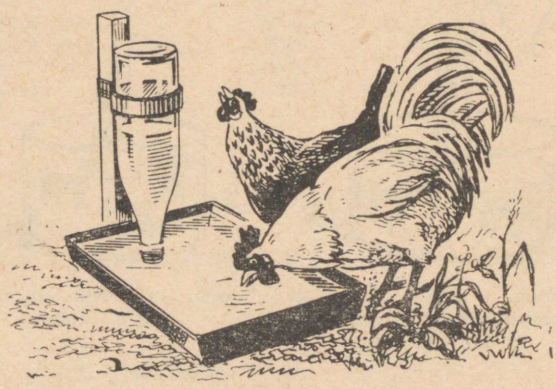
2. Arstimi tilgutamiseks silma või kõrva kasutatakse pipetti. Pipett kujutab endast peenikest klaastoru, mille üks ots on veelgi peenem (joon. 143). Teise otsa asetatakse sageli kummist kübarake. Pipeti peenike ots asetatakse vedelikku, surutakse kummist kübarake kokku ning lastakse see siis lahti. Seejuures tungib vedelik pipetti. Võttes nüüd pipeti vedelikust välja ja vajutades nõrgalt kummikübarale, väljub vedelik pipetist tilkadena.

Selgita pipeti kasutamise põhimõtet.

3. Missugust füüsikalist nähtust kasutatakse täitesulepea täitmisel?



Joon. 143. Pipett (ülesande nr. 2 juurde).



Joon. 144. Kanade jooginõu (ülesande nr. 4 juurde).

4. Joonisel 144 on kujutatud kanade automaatne jooginõu. Jooginõu koosneb pannikujulisest anumast ja veega täidetud pudelist, mille suu on pandud anumas olevasse vette veidi allapoole veepinda. Miks sellise jooginõu puhul vesi ei voola pudelist välja? Kui vesi anumas väheneb ning pudeli suu jääb veest välja, siis voolab osa vett pudelist anumasse. Miks? Millal katkeb vee juurdevool?

§ 63. Torricelli katse. Õhurõhu mõõtmine.

Õhurõhku ei saa arvutada selliselt, nagu arvutati vedeliku rõhku anuma põhjale (§ 44). Sellise arvutuse tegemiseks peaksime teadma atmosfääri kõrgust ja õhu erikaalu. Atmosfääri kõrgus pole aga täpselt määratav. Samuti muutub õhu erikaal. Maa lähedal on õhu erikaal suurem, kõrgemates õhukihtides aga üha väiksem.

Õhurõhku on aga sellele vaatamata võimalik mõõta.

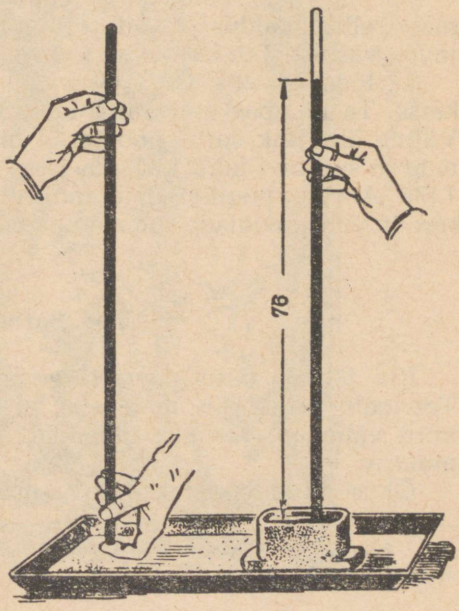
Võtame ühest otsast kinnise 1 m pikkuse klaastoru ning täidame selle elavhõbedaga. Suleme toru lahtise otsa tihedasti sõrmega ja pistame selle otsa elavhõbedaanumasse (joon. 145). Sõrme võtame toru otsa eest ära alles siis, kui toru on juba otsapidi elavhõbedas. Nüüd näeme, et osa elavhõbedat voolab torust välja. Torusse jääb umbes 76 cm kõrgune elavhõbedasammas. Elavhõbeda peale torusse jääb õhutühi ruum.

Esmakordselt tehti selline katse XVII sajandil itaalia õpetlase Torricelli ettepaneku põhjal. Seepärast tuntaksegi seda katset tänapäeval Torricelli katse nime all.

Miks ei voola kogu elavhõbe selle katse juures torust välja? Asi seisneb selles, et atmosfäär avaldab anumas olevale elavhõbedale rõhku. Elavhõbe annab selle rõhu edasi igas suunas, järelikult ka alt üles torusse. See rõhk hoiabki elavhõbedat torus ega lase teda sealt välja voolata, s. t. atmosfääri rõhk tasakaalustab torus oleva elavhõbedasamba kaalu. Seepärast võib õhurõhu suurust teha kindlaks elavhõbedasamba rõhu kaudu. Elavhõbedasamba kõrgust mõõdetakse kas sentimeetrites või millimeetrites.

Kui õhurõhu suurus on 76 cm elavhõbedasammast, siis tähendab see seda, et õhurõhk on niisama suur kui 76 cm kõrguse vertikaalse elavhõbedasamba rõhk.

Arvutame, kui tugevasti rõhub 76 cm kõrgune elavhõbedasammas 1 cm^2 suurusele pinnale. See jõud on võrdne 76 cm kõrguse ja 1 cm^2 suuruse põhjapindalaga elavhõbedasamba kaa-



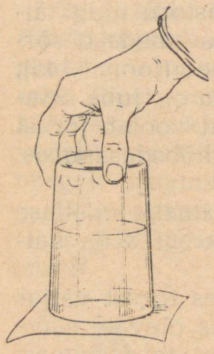
Joon. 145. Torricelli katse.

luga. Selle samba ruumala on 76 cm^3, elavhõbeda erikaal on 13,6 $\frac{G}{cm^3}$. Seega kaalub elavhõbedasammas

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

Järelikult on õhurõhk sel juhul 1,0336 $\frac{kG}{cm^3}$.

Harjutus 31.



Joon. 146. Paberiga kaetud klaasist ei voola vesi välja.

1. Täida teeklaas veega, kata paberitükiga kinni, aseta siis paberile käsi ning pööra klaas põhjaga üles. Kui nüüd võtta käsi alt ära (joon. 146), siis vesi klaasist välja ei voola. Miks? Põhjenda oma vastust.

2. 1 m pikkusest klaastorust, mis on sulatatud ühes otsast kinni, teises otsas asub aga kraan, on pumbatud välja õhk. Kui asetada kraanipoolne toruots elavhõbedasse ning seejärel avada kraan, kas täidab siis elavhõbe terve toru? Mis juhtub, kui elavhõbeda asemel võtta vett?

3. Kas Torricelli katse puhul sõltub elavhõbedasamba kõrgus toru diameetrist?

4. Mis juhtub elavhõbedasambaga Torricelli katse juures, kui toru kallutada? Kuidas saab sellise kalduasetatud toruga mõõta õhurõhu suurust? Põhjenda vastust. Tee ka vastav joonis.

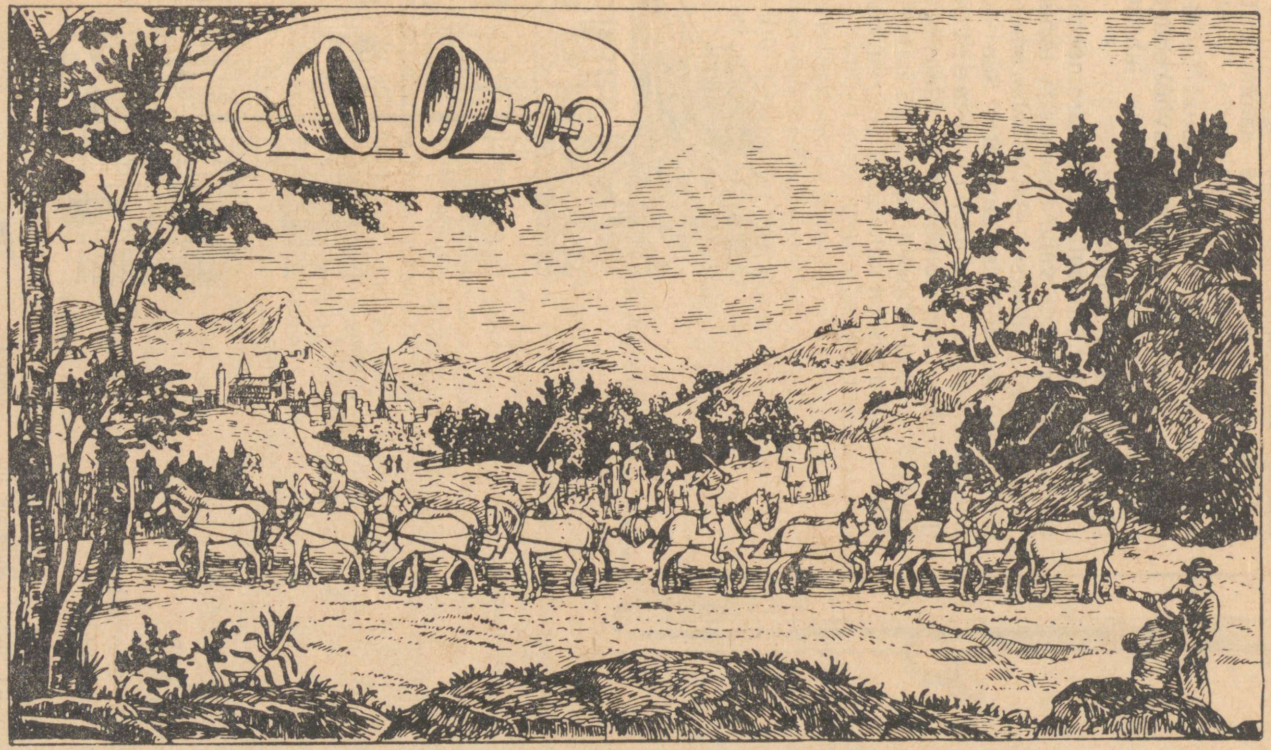
5. 1654. a. viis Otto Guericke Magdeburgis läbi järgmise katse. Ta pumpas õhu välja kahe kokkupandud poolkera vahelt. Väline õhurõhk surus poolkerad nii tugevasti teineteise vastu, et neid ei suutnud lahti kiskuda isegi kaheksa paari hobuseid (joon. 147). Arvuta poolkeradele mõjuv õhu rõhumisjõud, kui poolkerade välispindalade summa oli 2800 cm^2.

§ 64. Baromeeter.

Kui jälgida mitu päeva järgemööda elavhõbedasamba kõrgust Torricelli torus, siis märkame, et see muutub: kord suureneb, kord väheneb. See aga tähendab, et õhurõhk ei ole püsiv, vaid muutuv.

Õhurõhku mõõdetakse b a r o m e e t r i g a.[1]

[1] B a r o m e e t e r tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *baros* — raskus ja *metreo* — mõõdan.



Joo. 147. Otto Guericke poolt Magdeburgis tehtud katse (vanaaegse joonise järgi).
Ülal on kujutatud katse juures kasutatud poolkerad.



Joon. 148. Anumbaromeeter.



Joon. 149. Sifoonbaromeeter.

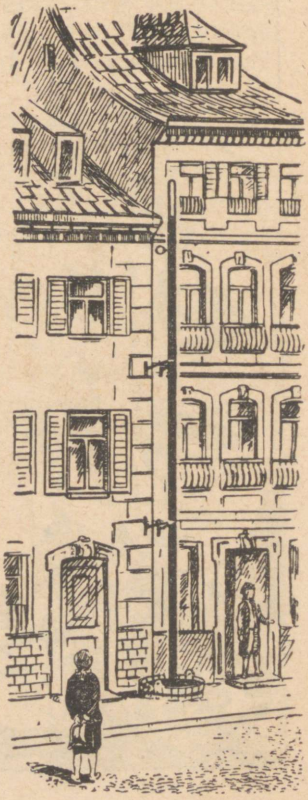
Kui Torricelli toru varustada vertikaalse skaalaga, millelt saab lugeda elavhõbedasamba kõrgust, siis saame lihtsaima anumbaromeetri.

Anumbaromeeter on kujutatud joonisel 148. Selles riistas on elavhõbedaga täidetud klaastoru pistetud oma lahtise otsaga elavhõbeda anumasse.

Õhurõhku mõõdab anumbaromeetris elavhõbedanivoode vahe anumas ja torus.

Mõnikord tehakse elavhõbebaromeeter ilma elavhõbeda anumata. See on nõndanimetatud sifoonbaromeeter (joon. 149). Sifoonbaromeetri klaastoru koosneb kahest erineva pikkusega harust. Pikema haru ots on suletud ja suurem osa temast on täidetud elavhõbedaga. Elavhõbeda peal torus asub õhutühi ruum. Lühikese haru ots on avatud ning lõpeb laiema osaga, millesse valgub õhurõhu vähenemise korral elavhõbe.

Sifoonbaromeetris mõõdab õhurõhku elavhõbedanivoode vahe baromeetri mõlemas harus.



Joon. 150. Pascali vesibaromeeter Rouen'i linnas (ülesande nr. 3 juurde).

Harjutus 32.

1. Miks elavhõbebaromeeter peab rippuma vertikaalselt?

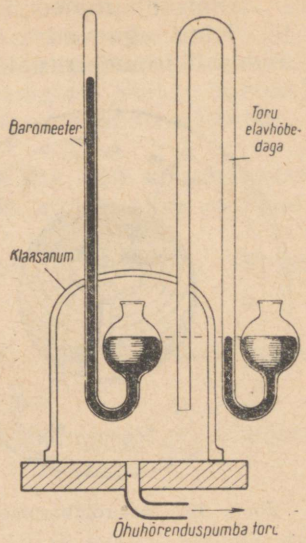
2. Kas baromeeter näitab õigesti, kui toru ülaosse satub õhumullike?

3. Pascal ehitas Rouen'i[1] linnas oma maja kõrvale vesibaromeetri (joon. 150). Kui kõrge oli veesammas selles baromeetris, kui õhurõhk oli 760 mm elavhõbedasammast?

4. Väite tõestuseks, et elavhõbeda tõusu põhjuseks baromeetris on õhurõhk, tegi Pascal järgmise katse.

Ta võttis tugeva klaasnõu (joon. 151) ja asetas selle sisse sifoonbaromeetri alumise otsa. Anumast väljus peale selle veel kõver toru, mille välimises otsas oli laiem osa elavhõbeda jaoks.

Kuidas muutuvad elavhõbedanivood baromeetris ja kõveras torus, kui anumast hakata õhuhõrenduspumbaga õhku välja pumpama? Missugusteks kujunevad elavhõbedanivood baromeetris ja torus, kui kogu õhk välja pumbata?



Joon. 151. Ülesande nr. 4 juurde.

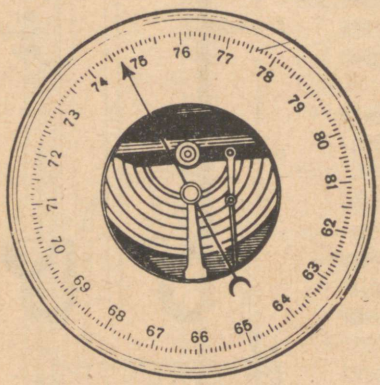
§ 65. Aneroidbaromeeter.

Elavhõbebaromeetri abil on võimalik määrata õhurõhku väga täpselt. Selle baromeetri puuduseks on aga see asjaolu, et tema klaastoruga peab olema äärmiselt ettevaatlik, eriti baromeetri transportimisel. Selles suhtes on palju mugavam aneroidbaromeeter[2]. Aneroidbaromeetri väline vaade on esitatud joonisel 152. Aneroidbaromeetri tähtsaimaks osaks on õhutühi laineliste seintega metallkarbike (joon. 153). Et väline õhurõhk karpi ei purustaks, on karbi kaane külge kinnitatud vedru, mis kisub karbi kaasi väljapoole. Õhurõhu suurenemisel surutakse karp rohkem kokku, õhurõhu vähenemisel kisub vedru aga kaasi teineteisest eemale. Ülekandemehhanismi abil antakse karbi kaante nihkumine edasi osutile, mis pöördub vastavalt õhurõhu muutumisele kas paremale või vasakule. Osuti alla kinnitatakse skaala, mis gradueeritakse elavhõbebaromeetri näitude järgi. Nii näiteks tähendab arv 74,7, mida näitab osuti joonisel 152, et antud momendil on elavhõbebaromeetris elavhõbedasamba kõrgus 74,7 sm.

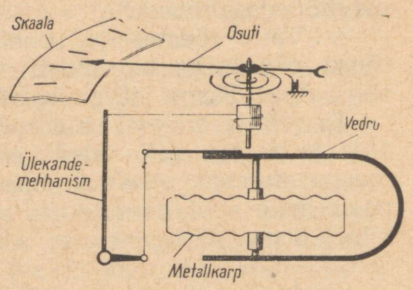
[1] Rouen (loe: ruaan) — linn Loode-Prantsusmaal.

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

Aneroidbaromeetrid on väga tundlikud rõhu muutumise suhtes. Kuna aga vedru elastsus ei jää kogu aeg ühesuguseks, siis aneroidbaromeetri näidud teatud aja möödudes ei ole enam õiged.



Joon. 152. Aneroidbaromeeter.



Joon. 153. Aneroidbaromeetri ehitus.

Et mitte teha suuri vigu aneroidbaromeetriga mõõtmisel, on tarvis aneroidbaromeetrit aeg-ajalt võrrelda elavhõbebaromeetriga ning teha vajaduse korral vastav paranduste tabel õigete tulemuste saamiseks.

Õhurõhu teadmisel on suur tähtsus ilmade ennustamisel, sest õhurõhk on tihedalt seotud ilmastiku muutumisega. Õhurõhu suurenemine on tavaliselt seotud ilusa ilma saabumise ja püsimisega. Õhurõhu vähenemine räägib omakorda sellest, et saabuvad tuulised, pilves ja sajused ilmad. Baromeeter on seepärast üheks tähtsaimaks mõõteriistaks meteoroloogilistel[1] vaatlustel.

§ 66. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel.

Me teame juba, et gaasirõhk oleneb tema kokkusurutuse astmest. Mida rohkem on gaas kokku surutud, seda suurem on tema rõhk ja, ümberpöördult, mida vähem on gaas kokku surutud, seda väiksem on tema rõhk.

Maapinna lähedal olevat õhukihti rõhuvad kõik tema peal olevad õhukihid. Mida kõrgemale aga maapinnast tõusta, seda nõrgemini rõhuvad vaadeldavat kihti ülemised õhukihid ja seda väiksem on sellele kihile mõjuv rõhk.

Kirjeldatud nähtuse õigsuse kontrollimiseks otsustas Pascal teha koos oma sõbraga Torricelli katse üheaegselt mäe jalamil ja tipus. Rõhk mäe tipul osutus väiksemaks kui mäe jalamil.

[1] Meteoroloogia — teadus Maa atmosfääris toimuvatest nähtustest.

Koolis kasutatava aneroidbaromeetri abil võime veenduda, et isegi juba koolimaja erinevatel korrustel on õhurõhk erinev.

Vaatlused näitavad, et merepinnal on õhurõhu keskmiseks suuruseks 76 cm ehk 760 mm elavhõbedasammast. Mida kõrgemal asub vaatluskoht merepinnast, seda väiksemat rõhku näitab baromeeter.

Õhurõhku, mille tasakaalustab 76 cm ehk 760 mm kõrgune elavhõbedasammas 0° temperatuuri juures, nimetatakse normaalseks õhurõhuks.

Nagu me leidsime (§ 63), on normaalse õhurõhu suurus $1{,}0336\ \frac{kG}{cm^2}$.

Füüsikas on rõhu ühikuks võetud rõhk $1{,}0336\ \frac{kG}{cm^2}$. Seda rõhuühikut nimetatakse füüsikaliseks atmosfääriks.

Tehnikas kasutatakse arvutuste hõlbustamiseks teistsugust rõhuühikut, nn. t e h n i l i s t a t m o s f ä ä r i.

Tehniline atmosfäär on rõhk $1\ \frac{kG}{cm^2}$.

Katsed näitavad, et kui tõusta umbes 12 m võrra kõrgemale, siis baromeetri näit väheneb 1 mm võrra. Alljärgnevas tabelis on toodud mõningaid andmeid õhurõhu suuruse kohta erinevatel kõrgustel merepinnast.

Kõrgus merepinnast meetrites	0	200	400	600	1000	2000	3000	5000	10 000	15 000	20 000
Õhurõhk elavhõbedasamba millimeetrites	760	741	722	704	4	590	526	405	198	90	41

Teades õhurõhu sõltuvust kõrgusest, võib baromeetri näitude järgi teha kindlaks kõrguse merepinnast. Aneroidbaromeetreid, mille skaalalt saab vahetult lugeda tõusu kõrgust, nimetatakse a l t i m e e t r i t e k s (kõrgusemõõtjateks). Altimeetreid kasutatakse lennunduses ja tõusmisel mägedele (alpinismis).

Harjutus 33.

1. Mäe jalamil näitas baromeeter 760 mm elavhõbedasammast, mäe tipul aga 722 mm. Kui kõrge oli ligikaudu see mägi?
2. Selgita, miks reisijad tunnevad lennuki kiirel allalaskumisel kõrvades valu?

3. Millega seletada nähtust, et tõustes lennukiga õhku hakkab täitesulepea tinti välja ajama?

4. Lenini mägedel asuva Moskva Riikliku Ülikooli peahoone kõrgus maapinnalt torni alusel oleva platvormini on 200 m. Kuidas muutub baromeetri näit, kui tõusta maapinnalt sellele platvormile?

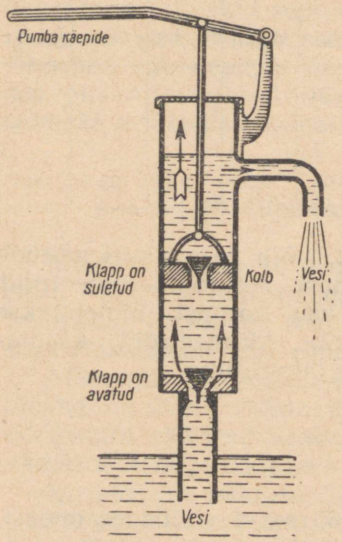
§ 67. Kolbpump.

Paragrahvis 62 kirjeldati vee tõusmist klaastorus kolvi järel (joon. 140).

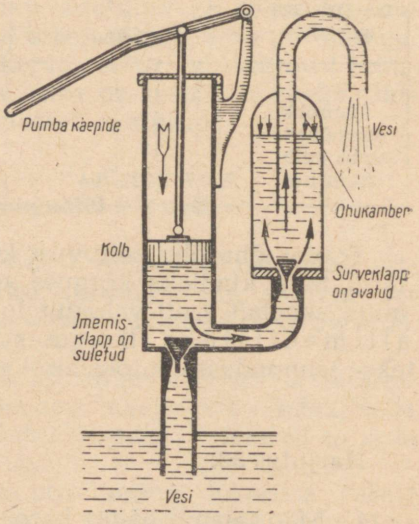
Seda nähtust kasutatakse kolbpumpade ehitamisel.

Kolbpump, mis on skemaatiliselt kujutatud joonisel 154, koosneb torust, mille sees liigub tihedalt üles-alla kolb. Toru põhja ja torus liikuvasse kolbi on tehtud klapid, mis avanevad ainult ülespoole. Kolvi liikumisel üles lükkab vesi välise õhurõhu survel alumise klapi lahti ja liigub kolvialusesse ruumi.

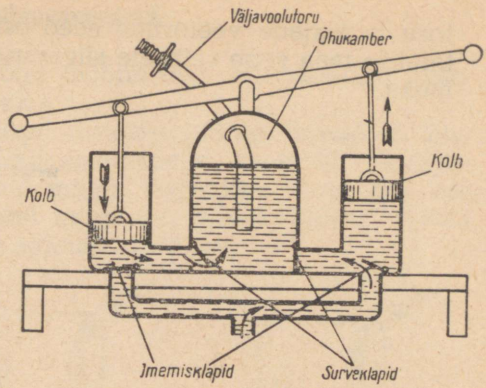
Kolvi liikumisel alla surub kolvi all olev vesi alumise klapi kinni. Vesi, millel ei ole nüüd enam võimalik alumise ava kaudu pumbast lahkuda, lükkab lahti ülemise klapi ja voolab läbi kolvis oleva ava kolvi peale. Kui kolb liigub seejärel uuesti üles, siis tõstab ta üles ka kolvi peal oleva vee, mis lõpuks väljavoolutoru kaudu pumbast välja voolab. Samal ajal imetakse kolvi alla uus vesi, mis kolvi järjekordsel allaliikumisel kolvi peale voolab jne.



Joon. 154. Kolbpump.



Joon. 155. Survekambriga kolbpump.



Joon. 156. Tuletõrje käsipumba skeem. Vaheldumisi töötavad kolvid suruvad vett survekambrisse. Siit väljub vesi tuletõrjevoolikusse pideva joana.

Teades õhurõhu suurust (76 cm elavhõbedasammast) võib kergesti arvutada, et kolbpumbaga saab tõsta vett 13,6 korda kõrgemale kui 76 cm, sest vee erikaal on 13,6 korda väiksem elavhõbeda erikaalust. Seega saab kolbpumbaga tõsta vett umbes 10,3 m kõrgusele.

Vaadeldud pumbast ei voola vett välja pidevalt, vaid ainult siis, kui kolb liigub üles.

Pideva veejoa võib saada survekambriga varustatud kolbpumba abil (joon. 155). Selles pumbas läheb vesi, kui kolb liigub alla, mööda toru üles ja surub kokku survekambris oleva õhu. Pärast kolvi esimesi käike hakkab vee hulk kambris suurenema, sest mitte kogu vesi ei jõua välja voolata. Vesi surub kambris oleva õhu ikka tugevamini ja tugevamini kokku. Neil momentidel, mil pumba kolb liigub üles (pump imeb vett), rõhub kokkusurutud õhk vett kambrist välja ja tagab seega vee katkematu voolamise toru mööda üles.

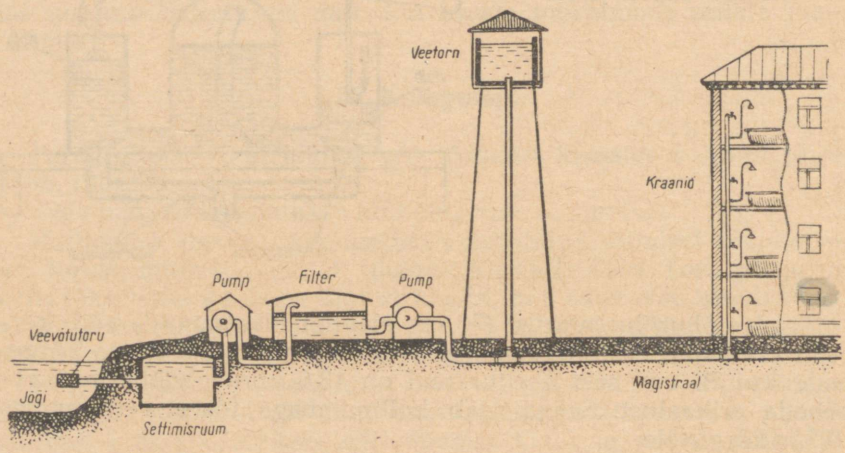
Samasugust pumpa kasutatakse lihtsates tuletõrjepumpades, mida isegi veel tänapäeval külades kasutatakse (joon. 156).

§ 68. Veevärgi ehitus.

Ühendatud anumates jäävad veenivood ühekõrgusele. Seda nähtust kasutatakse veevärgi ehitamisel. Veevärgi ehituse skeem on toodud joonisel 157. Veevärgi tähtsaimaks osaks on kõrge veetorn, mis ulatub asula või linna kõikidest majadest kõrgemale. Torni ülaosas asub veepaak. Seega on ka paak kõikidest majadest kõrgemal. Puhastatud ning hoolikalt filtreeritud jõe- või järvevesi pumbatakse võimsate pumpade abil magistraaltorusse ja veetornis olevasse paaki. Selle paagi ülesandeks on hoida ühtlane surve (rõhk) veevärgi kõigis osades.

Magistraaltoruga ühendatakse majade veetorud. Magistraal-

toru ja majade veetorude need osad, mis ei asu majades, paigutatakse maa sisse sellisele sügavusele, et neis voolav vesi ei külmuks.



Joon. 157. Veevärgi ehituse skeem.

Veetornis olev paak, magistraal ja majade veetorud moodustavad ühendatud anumate süsteemi.

Linnade veevõrgu magistraal ehitatakse kinnise ringina, millest igas suunas väljuvad veetorud. Veevõrgu selline ehitus võimaldab remondi otstarbel sulgeda magistraali mis tahes lõiku, ilma et seejuures ülejäänud veevõrgu osa välja lülitataks.

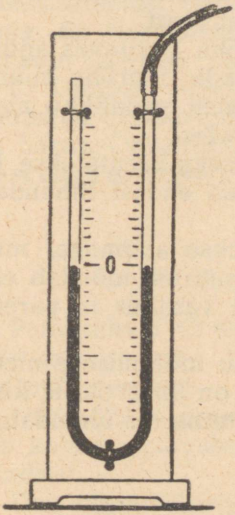
Harjutus 34.

1. Vett tuleb pumbata 30 m kõrgusele. Kui suur rõhk peab seejuures olema pumba silindris?
2. Kui kõrgele tõuseks kolvi all petrooleum, kui välisõhu rõhk on 750 mm elavhõbedasammast?
3. Missuguse rõhuga peab pump andma vett veetorni, kui veetase paagis on 45 m pumbast kõrgemal?
4. Maja esimesel korrusel on veevärgist tuleva vee rõhk $3\,\frac{kG}{cm^2}$. Missugune rõhk on veel selle maja kuuendal korrusel (ühe korruse kõrgus on 3,5 m)?

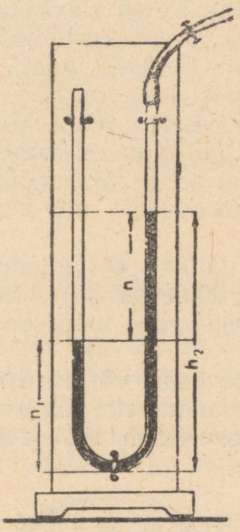
§ 69. Manomeetrid.

Gaaside ja vedelikkude rõhu mõõtmiseks kasutatavaid riistu nimetatakse manomeetriteks[1].

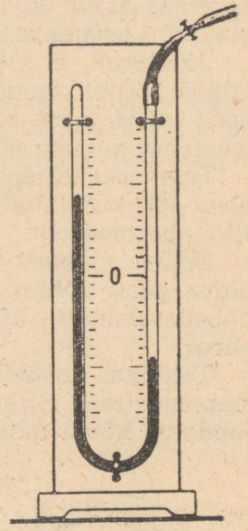
Manomeetreid on mitut tüüpi. Joonisel 158 on kujutatud lahtine vedelikmanomeeter. Selline manomeeter koosneb U-kujulisest torust, millesse on valatud mingit vedelikku. Toru üks ots ühendatakse kummivooliku abil anumaga, milles olevat rõhku tahetakse mõõta, toru teine ots avaneb aga õhku.



Joon. 158. Lahtine vedelikmanomeeter.



Joon. 159. Mõõtmine manomeetriga.



Joon. 160. Kinnine vedelikmanomeeter.

Kirjeldatud manomeetri tööpõhimõtte selgitamiseks teeme järgmise katse. Täidame U-toru kuni pooleni värvitud veega (et vesi oleks paremini näha). Kuna rõhk mõlemas harus olevale veele on ühesugune, siis jääb vesi toru mõlemas harus ühekõrgusele. Imeme nüüd kummivooliku kaudu toru paremast harust õhku välja. Selle tulemusena väheneb õhurõhk parempoolses harus ja vesi hakkab vasakust harust voolama paremasse. Voolamine kestab seni, kuni rõhud mõlemas manomeetri harus võrdsustuvad. Joonisel 159 on näidatud vedelikusammaste asendid pärast seda, kui osa õhku toru parempoolsest harust eemaldati.

---

[1] Manomeeter tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *manos* — hõre ja *metreo* — mõõdan.

Rõhk manomeetri vasakus harus on võrdne õhurõhu ja h_1* cm kõrguse veesamba rõhu summaga, rõhk paremas harus on aga võrdne hõrendatud õhu rõhu ja h_2 cm kõrguse veesamba rõhu summaga. Seega on hõrendatud õhu rõhk manomeetri parempoolses harus võrdne välise õhurõhu ja h cm kõrguse veesamba rõhu vahega, kus h on parempoolses ja vasakpoolses manomeetri harus olevate veesammaste h_2 ja h_1 vahe.

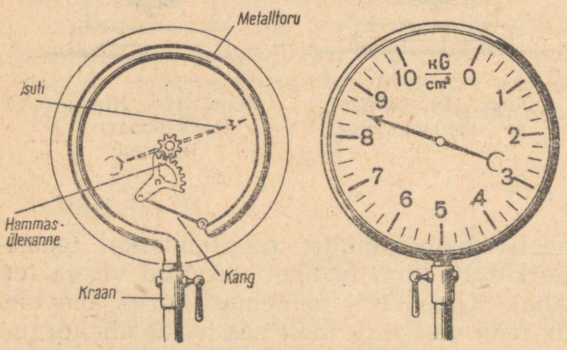
Kui näiteks õhurõhk on 76 cm elavhõbedasammast ja kõrgus h 5 cm elavhõbedasammast, siis hõrendatud õhu rõhk manomeetri paremas harus on võrdne 76 cm elavhõbedasammast miinus 5 cm elavhõbedasammast, s. o. 71 cm elavhõbedasammast.

Järelikult, et määrata kindlaks gaasi rõhku uuritavas anumas lahtise vedelikmanomeetri abil, on vaja teada õhurõhu suurust. Seda mõõdetakse baromeetriga. Mida kergemat vedelikku manomeetrisse valada, seda tundlikum on manomeeter.

Tugevasti hõrendatud gaasi rõhu mõõtmiseks kasutatakse joonisel 160 kujutatud manomeetrit, mis kujutab endast lühendatud sifoonbaromeetrit.

Sellise manomeetri lahtine ots ühendatakse anumaga, milles oleva gaasi rõhku tahetakse mõõta. Rõhu suurust mõõdab elavhõbedasammaste kõrguste vahe manomeetri vasakus ja paremas harus.

Tehnikas kasutatakse gaasi või auru rõhu mõõtmiseks metallmanomeetreid. Sellise manomeetri põhiosaks on ühest otsast kinnijoodetud kõver metalltoru (joon. 161). Toru teine ots ühendatakse



Joon. 161. Metallmanomeeter. Vasakul on kujutatud manomeetri ehitus (vaade tagant).

kraani abil anumaga, milles olevat rõhku tahetakse mõõta. Kui rõhk torus suureneb, siis muutub toru pisut sirgemaks. Toru kinnise otsa liikumine antakse kangi ja hammasratta abil edasi osutile, mis võib liikuda piki skaalat. Rõhu vähenemisel võtab toru oma elastsuse tõttu esialgse kuju tagasi. Samal ajal liigub muidugi ka osuti skaala nulljaotuse poole.

* Kõrgust märgitakse füüsikas tavaliselt tähega h.

Harjutus 35.

1. Milleks kasutatakse manomeetreid?
2. Milliseid manomeetreid sa tunned?
3. Kuidas töötab vedelikmanomeeter?
4. Kuidas on ehitatud metallmanomeeter?
5. Lahtine vedelikmanomeeter on täidetud elavhõbedaga. Manomeetri üks haru on vooliku abil ühendatud anumaga, milles asuva gaasi rõhku tahetakse mõõta. Õhurõhk on 760 mm elavhõbedasammast. Selles manomeetri harus, mis on ühendatud anumaga, on elavhõbedasammas 10 cm madalamal kui teises torus. Kui suur on gaasi rõhk anumas?
6. Lahtine vedelikmanomeeter on täidetud petrooleumiga. Anumaga ühendatud harus on vedelik 20 cm madalamal kui teises harus. Õhurõhk on 750 mm elavhõbedasammast. Kui suur on gaasi rõhk anumas?

§ 70. Hüdrauliline press.

Paragrahvis 42 vaadeldi Pascali seadusele põhineva hüdraulilise masina tööd. Üheks selliseks hüdrauliliseks masinaks on hüdrauliline press.

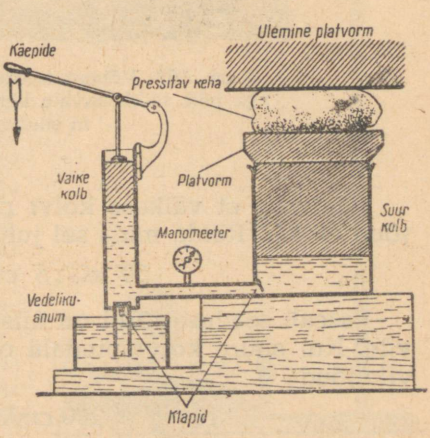
Hüdraulilise pressi skeem on toodud joonisel 162. Press koosneb kahest omavahel ühendatud ja kolbidega varustatud terassilindrist.

Ühe silindri diameeter on teise diameetrist mitu korda suurem. Kolbidealune ruum on täidetud vedelikuga, kas veega või õliga. Sagedamini õliga.

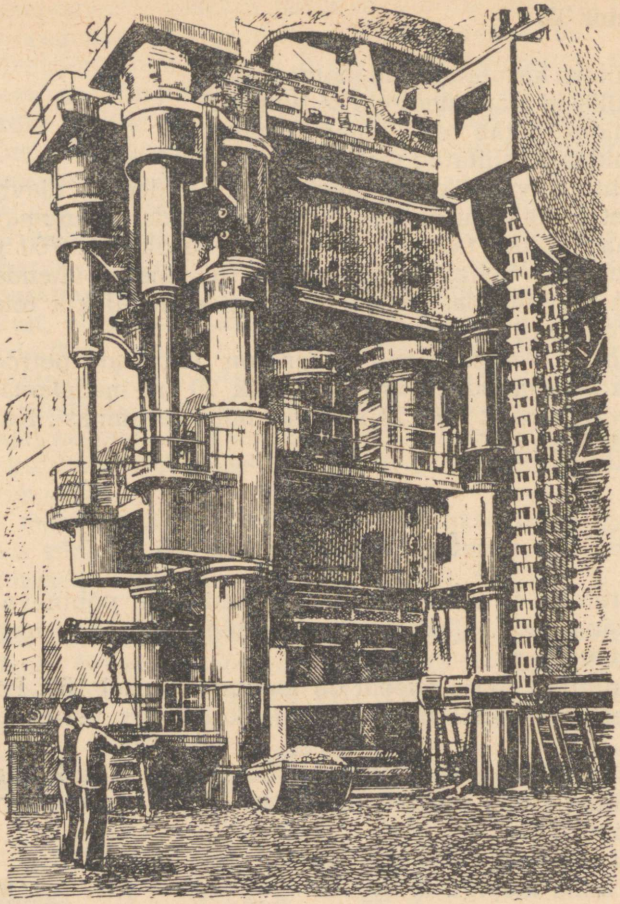
Pressi väiksem silinder koos kolvi ja kahe klapiga ei kujuta endast midagi muud kui meile juba tuttavat kolbpumpa (§ 67).

Pressitav keha asetatakse suure silindri kolviga ühendatud platvormile. Kolvi tõusmisel surutakse keha liikuva platvormi kohal oleva liikumatu platvormi vastu.

Kui väike kolb liigub üles, siis surub välisõhk osa õlinõus olevast õlist väikesesse silindrisse. Väikese kolvi liikumisel alla surutakse õli aga väikesest silindrist suurde, kus ta avaldab rõhku suurele kolvile.



Joon. 162. Hüdraulilise pressi ehitus.



Joon. 163. Võimas hüdrauliline press. Sellise pressiga võib töödeldavale kehale avaldada kuni 1200 tonni suurust jõudu.

Oletame, et väikese kolvi pindala on 5 cm^2 ja sellele mõjub jõud 50 kG. Rõhk, mida sel juhul avaldab väike kolb õlile, on

$$50\ \text{kG} : 5\ \text{cm}^2 = 10\,\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}.$$

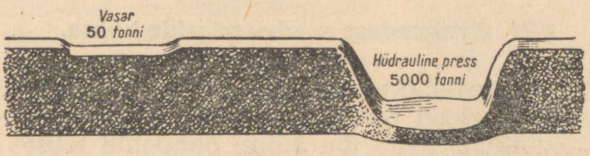
Pascali seaduse järgi on niisama suur ka õli rõhk suurele kolvile. Kui suure kolvi pindala on 200 cm^2, siis mõjub sellele kolvile jõud

$$10\,\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} \times 200\ \text{cm}^2 = 2\,000\ \text{kG} = 2\ \text{T}.$$

Sellise jõuga mõjub kolb ka pressitavale kehale.

Tänapäeval tööstuses kasutatavad hüdraulilised pressid võimaldavad saada kümnete tuhandete tonnideni ulatuvaid jõude.

Hüdraulilisi presse kasutatakse seal, kus on vaja rakendada suurt jõudu, näiteks õli väljapressimisel seemnetest õlitöötlemistehastes, vineeri, kartongi, heinte jne. pressimisel. Võimsate hüdrauliliste presside abil valmistatakse tehastes masinate terasvõlle, raudteevagunite rattaid, plastmassidest ja paljudest teistest materjalidest esemeid. Võimsa hüdraulilise pressi üldvaade on toodud joonisel 163. Pressi suur silinder on paigutatud vertikaalselt, kolb laskub alla. Väikest silindrit pole joonisel näha. Väikese silindri kolb pannakse liikuma elektrimootoriga.



Joon. 164. 50-tonnise jõuga mõjunud auruhaamri ja 5000-tonnise jõuga mõjunud hüdraulilise pressi poolt põhjustatud kuju muutused ühe ja sellesama terasetüki juures.

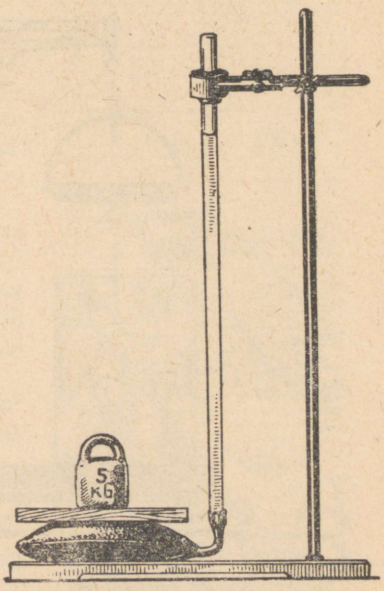
Joonisel 164 on näidatud, kuidas terasplokk on muutnud oma kuju 5000 tonni suuruse jõu mõjul, mida terasele avaldas hüdrauliline press. Väga tugev teras on pressi hiiglasliku jõu mõjul deformeerunud samuti nagu taignatükk inimese käes.

Harjutus 36.

1. Joonisel 165 on kujutatud jalgpallikumm, mis on ühendatud vertikaalse klaastoruga. Kummis ja torus on vesi. Kummile asetatakse lauatükk ja sellele viht 5 kG. Veesamba kõrgus torus on 1 m.

a) Tee kindlaks lauatüki toetuspindala.

b) Kui suur peaks olema lauatüki toetuspindala siis, kui vesi asendada petrooleumiga? elavhõbedaga? Arvutused tee täpsusega 0,1 cm^2.



Joon. 165. Ülesande nr. 1 juurde.

c) Kui kõrge peaks olema petrooleumisammas ja kui kõrge elavhõbedasammas sel juhul, kui lauatüki toetuspindala oleks niisama suur kui vee korral?

d) Milles seisneb selle katse sarnasus hüdraulilise pressi tööga?

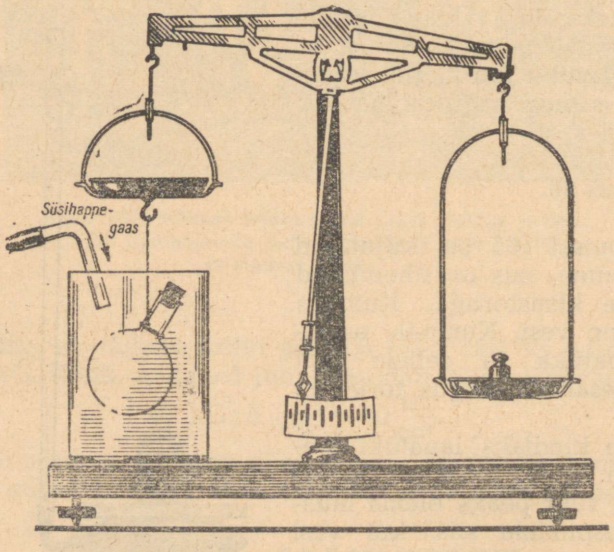
2. Tee kodus järgmine katse. Võta jalgpallikumm ja ühenda see väikese klaas- või metalltoru abil kummivoolikuga. Aseta pallikummile lauatükk ja seisa selle peale. Puhu nüüd kummivooliku kaudu õhku kummi. Sellega tõstad sa end üles. Missugusele seadusele põhineb see katse?

§ 71. Arhimedese seadus gaaside kohta.

Me teame, et vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud (§ 50). Õhupallide lend näitab, et ka õhus olevatele kehadele mõjub üleslükkejõud. Selle jõu mõjul õhupallid tõusevadki üles.

Gaasi asetatud kehale mõjuva üleslükkejõu suuruse võib kindlaks teha katseliselt.

Riputame kaalukausi alla, mis on kinnitatud kaalukangi külge lühikese hoidjaga, klaaskera või korgiga suletud suure klaaskolvi (joon. 166). Klaaskolvi alla asetame niisuguse nõu, et kolb mahuks tervenisti sellesse nõusse. Tasakaalustame kaalud ja seejärel täi-



Joon. 166. Gaasi asetatud kehale mõjuva üleslükkejõu kindlakstegemine.

dame nõu süsihappegaasiga. Kaalude esialgne tasakaal kaob. Kaalukauss, mille külge on riputatud kolb, tõuseb üles. Selleks et kaalusid uuesti tasakaalustada, tuleb sellele kaalukausile asetada vihte. Nende vihtide kaal on võrdne kolvile mõjuva üleslükkejõuga. Seejärel leiame kolvi poolt anumast väljatõrjutud süsihappegaasi kaalu.

Selleks on tarvis süsihappegaasi erikaal korrutada kolvi ruumalaga. Kolvi poolt väljatõrjutud süsihappegaasi kaal osutub võrdseks kolvile mõjunud üleslükkejõuga. Seega on Arhimedese seadus kehtiv nii vedelikes (§ 50) kui ka gaasides.

Gaasi asetatud kehale mõjub üleslükkejõud, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud gaasi kaaluga.



§ 72. Lendamine õhus.

Juba ammu unistasid inimesed pilvede kohal lendamisest, sõitmisest õhuookeanis samuti nagu nad sõitsid merel. Õhusõitudeks hakati kõigepealt kasutama õhupalle (joon. 167).

Alguses täideti õhupalle kuuma õhuga. Praegu kasutatakse selleks kas vesinikku või heeliumi. 1 m^3 vesinikku kaalub normaaltingimustes 0,09 kG, 1 m^3 heeliumi 0,18 kG. Samal ajal kaalub 1 m^3 õhku 1,3 kG.

Toodud arvudest järgneb, et 1 m^3 ruumalaga ja vesinikuga täidetud pall võib õhus tõsta raskust

$$1{,}3 \text{ kG} - 0{,}09 \text{ kG} = 1{,}21 \text{ kG}.$$

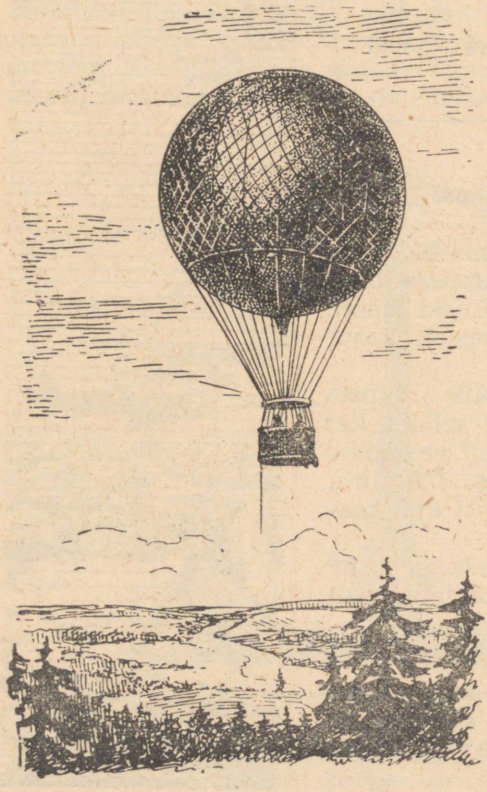
1 m^3 õhu kaalu ja samasuguse hulga gaasi kaalu vahet nimetatakse gaasi ühe kuupmeetri kandejõuks.

Järelikult on 1 m^3 vesiniku kandejõud 1,21 kG, 1 m^3 heeliumi kandejõud aga 1,3 kG — 0,18 kG = 1,12 kG.

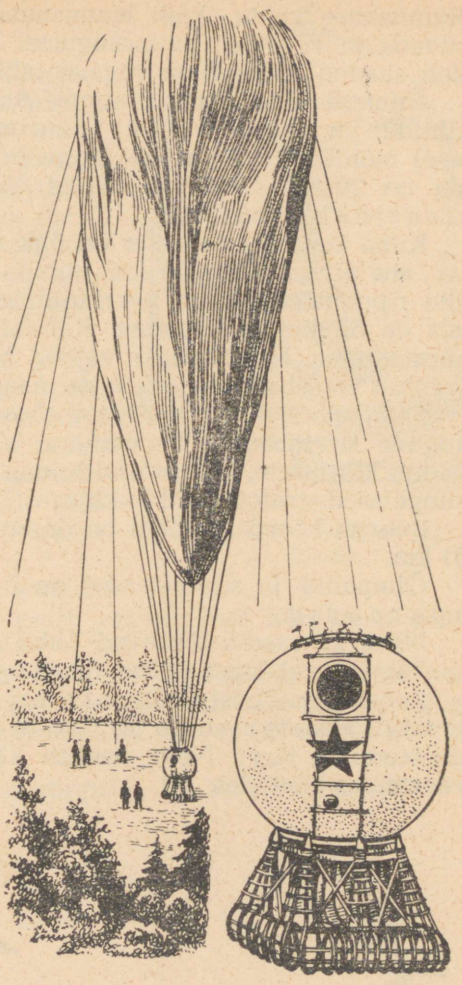
Vesiniku kandejõud on küll suurem, kuid õhupallides eelistatakse vesinikule heeliumi, sest heelium ei põle.

Õhupalli kest valmistatakse kummeeritud siidriidest. Trosside abil kinnitatakse kesta külge kerge kabiin. Kui näiteks vesinikuga täidetud õhupalli kesta ruumala on 350 m^3, siis mõjub pallile üleslükkejõud 423,5 kG. Kui seejuures kest, vesinik ja kabiin kaaluvad kokku 200 kG, siis võib selline õhupall tõsta õhku 223,5 kG raskuse koorma, s. o. kaks inimest, mõõteriistad ja vähesel määral ballasti — kuiva liivaga täidetud kotte.

Mida kõrgemale õhupall tõuseb, seda väiksemaks jääb üleslükkejõud, sest ülemiste kihtide hõre õhk õhupalli ruumala suuruses kaalub vähem kui maapinnal. Et õhupalliga veelgi kõrgemale tõusta, tuleb liiv kottidest alla heita ning sellega vähendada kabiini kaalu. Lõppude lõpuks saavutab õhupall oma tõusu maksimumi — lae. Õhupalli maandamiseks lastakse kestast osa gaasi läbi spetsiaalse klapi välja.



Joon. 167. Õhupall.



Joon. 168. Stratostaat. All on kujutatud stratostaadi gondel.

Horisontaalsuunas liigub selline õhupall ainult tuule mõjul, seepärast nimetatakse niisuguseid õhusõidukeid ka aerostaatideks[1].

Atmosfääri ülakihtide uurimiseks lastakse meie maa paljudest kohtadest iga päev üles 1—2 m diameetriga õhupalle, nn. sondpalle. Sondpallid tõusevad 35—40 km kõrgusele ning nad on varustatud kergete mõõteriistadega, mis annavad raadio teel vaatluspunkti andmeid lennukõrguse, õhurõhu, temperatuuri ja

[1] Aerostaat tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *aer* — õhk ja *statos* — seisev.

õhuniiskuse kohta. Palli lennusuuna järgi võib määrata tuule suunda ja tugevust mitmesugustel kõrgustel. Sellistelt sondpallidelt saadud andmed on väga vajalikud ilmade ennustamiseks.

Inimese ülestõusmine atmosfääri ülemiste (üle 12—16 km) kihtide, nn. *stratosfääri* uurimiseks toimub ka tänapäeval veel mõnikord hiiglaslike õhupallide abil. Selliste pallide ruumala on 20 000—30 000 m^3. Neid õhupalle nimetatakse *stratostaatideks* (joon. 168).

Kuna suurtes kõrgustes on õhk väga hõre ja seega elukardetav, siis ei saa inimesed seal viibida lahtises kabiinis. Stratostaadi alla riputatakse kerge kerakujuline akendega kabiin (gondel), mis on õhukindlalt suletav. Kabiini sisemuses hoitakse õhurõhk normaalsena. Hingamiseks vajalik hapnik võetakse kaasa kokkusurutult terasballoonides. Sidet maaga peetakse raadio teel.

Oma aja kohta rekordiline tõus toimus 1934. a. Julged nõukogude stratonaudid Fedossejev, Vassenko ja Ussõskin tõusid 22 km kõrgusele. Laskumisel toimus aga avarii, mille tulemusena kangelased-stratonaudid hukkusid.

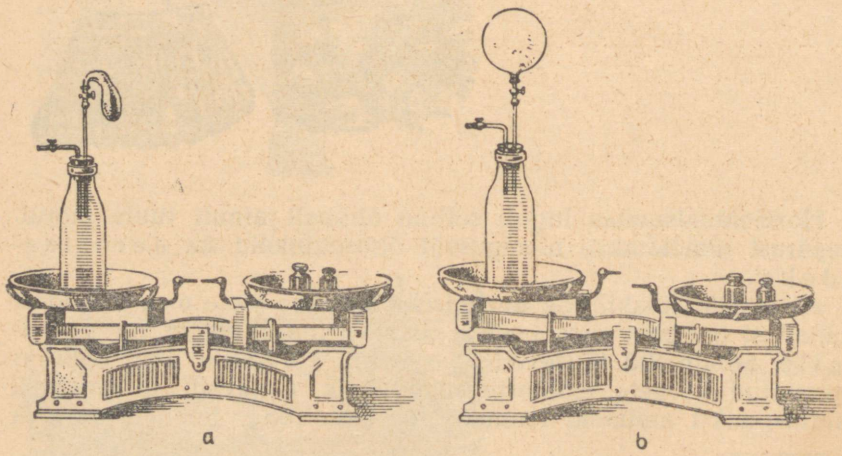
Suurim kõrgus, milleni on õnnestunud tõusta stratostaadil, on 31 km.

Õhupallid ja stratostaadid on *õhust kergemad lennuaparaadid*.

Need aparaadid tõusevad õhku Arhimedese seaduse järgi.

Tänapäeval kasutatakse õhutranspordis põhiliselt lennukeid.

Lennuk on õhust raskem. Lennuki õhkutõusmine ja lend ei toimu Arhimedese seaduse järgi, vaid teiste palju keerulisemate loodusseaduste järgi. Neid seadusi käsitletakse füüsika õppimisel vanemates klassides.

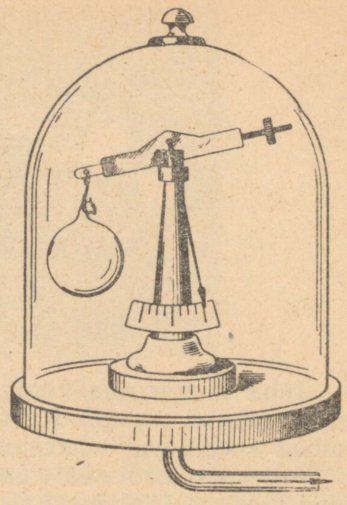


Joon. 169. Ülesande nr. 1 juurde.

Harjutus 37.

1. Kaaludel tasakaalustatakse pudel, milles on suruõhk. Läbi pudeli korgi on pandud kraaniga toru. Toru ülemise otsa külge on seotud kummipall (joon. 169, *a*). Kui kraan avada, siis osa pudelis olevast õhust läheb palli, mis selle tagajärjel paisub (joon. 169, *b*). Näeme, et kaalude tasakaal kaob. Selgita seda nähtust.

2. Kangkaalude ühe õla külge on kinnitatud kerge klaaskera (joon. 170). Kaalud on tasakaalustatud kangi teise õla otsas oleva mutri abil. Kui sellised kaalud asetada õhupumba kupli alla ja sealt õhk välja pumbata, siis kaalude tasakaal kaob. Miks?



Joon. 170. Ülesande nr. 2 juurde.

3. 100 dm^3 ruumalaga kummipall on täidetud vesinikuga. Kui palju on see pall kergem niisama suurest õhuga täidetud pallist?

4. Õhupalli kesta ruumala on 1 500 m^3. Pall on täidetud heeliumiga (1 liiter heeliumi kaalub 0,18 G). Palli kest koos gondliga kaalub 250 kG. Kas see õhupall suudab tõsta õhku viis 65 kG raskust reisijat?

5. Miks sondpallid suures kõrguses harilikult lõhkevad?

V PEATÜKK.

ALGTEADMISI AINE EHITUSEST.

§ 73. Aine molekulaarne ehitus.

Juba kauges minevikus, kaks ja pool tuhat aastat tagasi avaldasid mõned teadlased arvamust, et kõik looduses eksisteerivad kehad koosnevad väikestest osakestest — a a t o m i t e s t.[1]

Tolle aja teadlased vaatlesid aatomeid kui piiri, milleni võib aine jagamisel minna. Aatomeist väiksemaid osakesi nende arvates eksisteerida ei võinud.

Tänapäeval me teame, et tõeliselt on kehade väikseimateks koostisosadeks m o l e k u l i d[2], mis omakorda koosnevad veel väiksematest osakestest — aatomitest. Näiteks koosneb väikseim veeosake — vee molekul — kolmest aatomist: kahest vesiniku ja ühest hapniku aatomist.

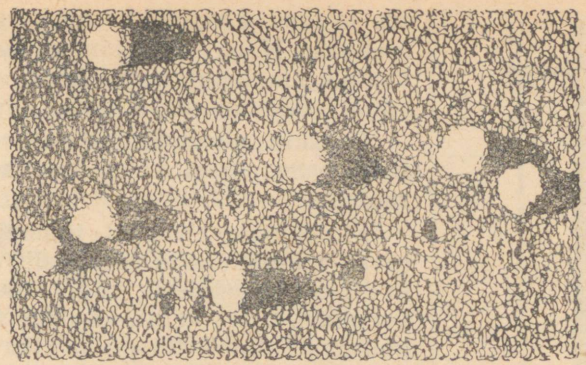
Kui lõhkuda mingi aine molekul osadeks, siis nende osakeste omadused on antud aine omadustest täiesti erinevad. Nii näiteks eraldub vee molekulide lõhkumisel kaks gaasi — vesinik ja hapnik.

Tänapäeva teadus on tõestanud, et nii nagu molekulgi, on ka aatom keerulise ehitusega.

Suuruselt on kõik molekulid väga väikesed, kuigi erinevate ainete molekulid erinevad mõningal määral üksteisest oma suuruse poolest. Molekulide läbimõõdud on kõigest mõned kümnemiljondikud millimeetrist. Kui molekule oleks võimalik tihedalt üksteise kõrvale ritta asetada, siis saaks 10 000 000 molekulist ainult 2 mm pikkuse rea. Molekulide väiksus võimaldab saada mitmesugustest ainetest väga õhukesi kihte. Nii võib näiteks õlitilk valguda veepinnale laiali kihina, mille paksus on ainult 0,00001 mm.

Isegi väikeste mõõtmetega keha koosneb tohutust arvust molekulidest. 1 cm^3 õhus või mõnes teises gaasis on temperatuuril 0° C ja rõhu juures 760 mm elavhõbedasammast 27 000 000 000 000 000 000 molekuli. See on väga suur arv. Et selle hiiglasliku arvu suurust endale ette kujutada, oletame, et läbi

[1] A a t o m tuleneb kreekakeelsest sõnast *atomos*, mis tähendab jagamatu.
[2] M o l e k u l tuleneb ladinakeelsest sõnast *moles* — kogu, hulk.



Joon. 171. Elektronmikroskoobi abil saadud valgu molekulide foto.

väikese ava läheb miljon molekuli sekundis. Sel juhul kuluks nimetatud hulga molekulide läbiminekuks sellest avast 840 000 aastat.

Kuna molekulide mõõtmed on väga väikesed, siis ei saa neid palja silma või hariliku mikroskoobiga näha. Kõige suuremaid molekule on õnnestunud näha ja fotografeerida (joon. 171) ainult elektronmikroskoopide abil.

§ 74. Molekulaarjõud.

Kui kõik kehad koosnevad molekulidest, miks siis tahked kehad või vedelikud ei lagune üksikuteks molekulideks? Mis sunnib molekule hoiduma koos?

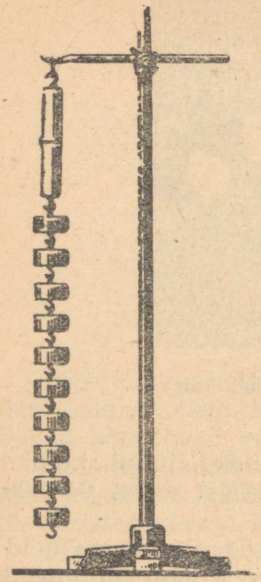
Asi on selles, et **molekulide vahel eksisteerivad vastastikused külgetõmbejõud.** Iga molekul tõmbab oma naabermolekule enda poole ja need omakorda ka seda molekuli.

Kui me lõikame katki nööri, murrame pooleks puupulga või rebime puruks paberi, siis me ületame molekulidevahelised külgetõmbejõud.

Kahe molekuli või aatomi vahelist külgetõmbejõudu pole üldse võimalik märgata. Kui aga tõmbavad üksteist miljonid sellised osakesed, siis osutub üldine tõmbejõud juba küllaltki suureks. Seepärast on raske kätega katki tõmmata nööri või raudtraati.

Molekulidevahelised külgetõmbejõud on erinevatel ainetel erinevad. Sellega seletubki ainete erinev tugevus. Nii näiteks on terastraat tunduvalt tugevam sama jämedusega vasktraadist. See tähendab, et terase osakesed tõmbavad üksteist suurema jõuga kui vase osakesed.

Vedelikes on molekulidevahelised külgetõmbejõud aga palju väiksemad kui tahketes kehades. Sellega seletub vedelike voola-



Joon. 172. Kaks seatinatükki ühinevad molekulaarsete jõudude mõjul.

vus ja see, et vedelikke on kerge jaotada osadeks. Kuna külgetõmbejõud hoiavad vedeliku molekule siiski koos, siis säilitab antud vedelikuhulk ka oma ruumala.

Gaaside molekulid ei ole omavahel seotud. Seepärast ei säilita nad ka oma ruumala.

Molekulidevahelised tõmbejõud muutuvad märgatavaiks ainult siis, kui molekulid on teineteisele väga lähedal. Kaks veepiiska liituvad üheks, kui nad kokku puutuvad. Kaks tinapulka jäävad teineteise külge, kui värskelt lõigatud pulkade otsad tihedalt teineteise vastu suruda (joon. 172). Seejuures võib liitumine olla niivõrd tugev, et tinapulgad ei eraldu teineteisest ka nende külge riputatud küllalt suurte raskuste mõjul.

Molekulide vahel mõjuvad peale külgetõmbejõudude ka tõukejõud.

Tõukejõud muutuvad ilmsiks tahkete või vedelate kehade kokkusurumisel. Katsed näitavad, et isegi väga suurte rõhkude korral muutuvad tahkete kehade või vedelike ruumalad väga vähe. Kokkusurumist takistavad molekulidevahelised tõukejõud.

Järelikult, **molekulidevahelised külgetõmbejõud hoiavad molekule üksteise lähedal, tõukejõud aga takistavad nende lõpmatut lähenemist.**

Teeme järgmise katse. Valame klaastorusse poolest saadik vett, vee peale aga ettevaatlikult piiritust, kuni toru saab täis. Suleme siis toru korgiga ja loksutame teda seni, kuni vesi ja piiritus on hästi segunenud. Näeme, et segatult on nende kahe vedeliku koguruumala väiksem kui segamata vedelike korral. See tähendab, et segus asetsevad molekulid üksteisele lähemal. Katse näitab kujukalt, et vedeliku ruumala saaks vähendada tema molekulide lähendamise teel.

Gaase on palju kergem kokku suruda kui vedelikke. Sellest võib järeldada, et gaasi molekulide vahel on suured vahemaad.

§ 75. Molekulide liikumine.

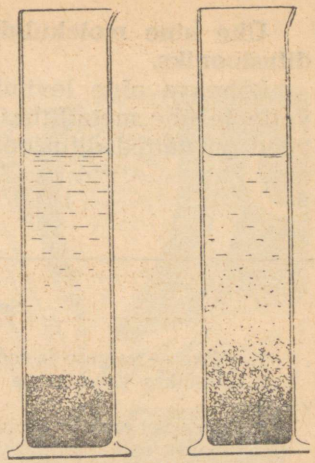
Gaasid, nagu me teame, täidavad kogu selle ruumala, kus nad asetsevad. Seda nähtust saab selgitada gaasi molekulide liikumisega.

Niipea kui suurendada selle anuma ruumala, kus gaas asetseb, lendavad sellesse ruumiossa gaasi molekulid ja täidavad selle kiiresti.

Lõhnavate ainete (naftaliin, lõhnaõli) levimine toas toimub samuti tänu nende ainete molekulide liikumisele õhus.

Katseliselt on tehtud kindlaks, et gaaside molekulid liiguvad väga suurte kiirustega (400—1200 meetrit sekundis). Need kiirused ületavad sageli püssikuuli lennukiiruse (865 meetrit sekundis).

Tekib küsimus, miks siis lõhnavad ained ei levi silmapilkselt selles ruumis, kuhu nad satuvad? Asi on selles, et lõhnavate ainete molekulide liikumist takistavad õhu molekulid.



Joon. 173. Difusioon vedelikes. Algul asetseb raskem vedelik all. Aja jooksul vedelikud segunevad.

Molekule on isegi 1 cm^3 õhus väga palju ja need liiguvad nii kiiresti, et lõhnava aine molekul põrkab oma teel väga palju kordi vastu õhu molekule. Kokkupõrgete tulemusena muutub alatasa lõhnava aine molekuli kiirus nii suuna kui ka suuruse poolest, mistõttu molekuli tee kujutab endast väga keerulist murdjoont. Seepärast ongi lõhnava aine molekulil väga raske liikuda mingis kindlas suunas läbi suure hulga kaootiliselt liikuvate õhu molekulide.

Kõik see viib selleni, et lõhnava aine molekulid levivad ruumis üsna aeglaselt.

Tahkete kehade, vedelike ja gaaside molekulid on pidevas liikumises.

Teeme järgmise katse. Valame mensuuri veidi vasevitrioli lahust (värvuselt tumesinine) ja selle peale ettevaatlikult puhast vett (joon. 173). Algul on vee ja temast raskema vasevitrioli lahuse vahel terav piir. Kui lasta mensuur kaks-kolm nädalat seista, siis piir vedelike vahel kaob ja vesi värvub järk-järgult siniseks. See tähendab, et vasevitrioli osakesed liiguvad veeosakeste vahele, täites nii kogu mensuuri. Molekulide levimine vedelikes toimub aeglasemalt kui gaasides, sest vedelikes paiknevad molekulid tihedamalt.

Tahketes kehades on aga molekulide ümberasetumine veelgi raskem.

Kui kaks metallitükki asetada lihvitud pindadega vastamisi, siis võivad nad küllalt pika aja möödudes kasvada teineteise külge, sest selle aja jooksul tungivad ühe metallitüki osakesed teisesse, ühendades nii tükid tervikuks.

Ühe aine molekulide tungimist teise ainesse nimetatakse difusiooniks.

Lõhnava aine levimine õhus, vasevitrioli osakeste tungimine vette ja ühe metallitüki osakeste tungimine teise metallitükki — need on näited difusioonist gaasides, vedelikes ja tahketes kehades.

Selgitus tabeli V juurde.

1. Päike — valguse ja soojuse allikas.
2. Tehnikas kasutatakse laialdaselt kehade kuumutamist, näiteks metallide valamisel.
3. Põlemisel eraldub soojust, mis soojendab meid.
4. Soojust on vaja toidu valmistamisel.
5. Gaasileek lõikab metalli.
6. Hõõguvad gaasid panevad liikuma raketi.

SOOJUSNÄHTUSED LOODUSES, TEHNIKAS JA KODUSES MAJAPIDAMISES

TABEL V



VI PEATÜKK.

ALGTEADMISI SOOJUSNÄHTUSTEST.

§ 76. Soojusnähtused.

Meie ümber toimuvad mitmesugused füüsikalised protsessid, mis on seotud kehade kuumenemise ja jahtumisega ning kehade üleminekuga ühest olekust teise. Sellistest nähtustest võiks nimetada näiteks õhu ja maapinna soojenemist ning jahtumist, jää sulamist, vee soojenemist ja keemist, metallide sulamist jne. Kõiki selliseid nähtusi nimetatakse soojusnähtusteks.

Juba iidsest ajast alates kasutavad inimesed igapäevases elus mitmesuguseid soojusnähtusi. Puude põlemisest soojeneb ahi. Hiljem ahi jahtub, kuid see-eest muutub toas olev õhk järjest soojemaks. Pliidil olev teekann koos selles oleva veega kuumeneb. Eriti laiaulatuslikult kasutatakse mitmesuguste kehade kuumutamist ja jahutamist tööstuses, näiteks metallide töötlemisel.

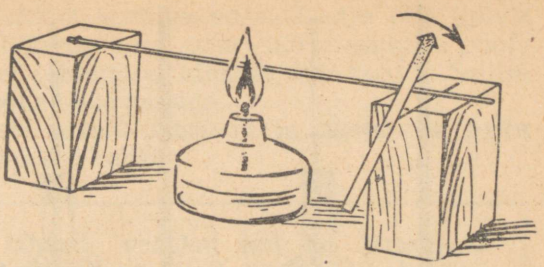
Soojusnähtuste tundmaõppimine võimaldas inimestel ehitada aurumasina ja sisepõlemismootori. Need jõumasinad panevad liikuma vedureid ja laevu, autosid ja lennukeid. Soojusnähtustel põhineb ka reaktiivmootorite ja rakettide tegevus, sealhulgas muidugi ka nende rakettide tegevus, millega saadeti orbiidile Maa ja Päikese kunstlikud kaaslased ning inimesi kandvad kosmoselaevad.

§ 77. Kehade soojuspaisumine.

Eelmises paragrahvis käsitletud soojusnähtuste hulka kuulub ka kehade soojuspaisumine. Vaatleme seda nähtust katsete abil.

1. Tahkete kehade paisumine. Tahked kehad paisuvad soojenemisel niivõrd vähe, et seda on palja silmaga raske märgata. Vaatleme mõningaid lihtsaid lisaseadiseid, mis võimaldavad jälgida tahkete kehade soojuspaisumist.

Kinnitame raudtraadi ühe otsa tugevasti klotsi külge, teise otsa aga asetame nõelale, mis on pistetud läbi paberist osuti (joon. 174). Traadi soojendamisel nõel koos osutiga pöördub. Pöördumise põhjuseks on traadi pikenemine soojendamisel. Pikenev



Joon. 174. Kuumutamisel traat pikeneb ja pöörab seejuures nõela ning osutit.

traat veereb üle nõela ja paneb nõela koos osutiga pöörlema. Traadi jahtumisel pöördub nõel koos osutiga vastupidises suunas.

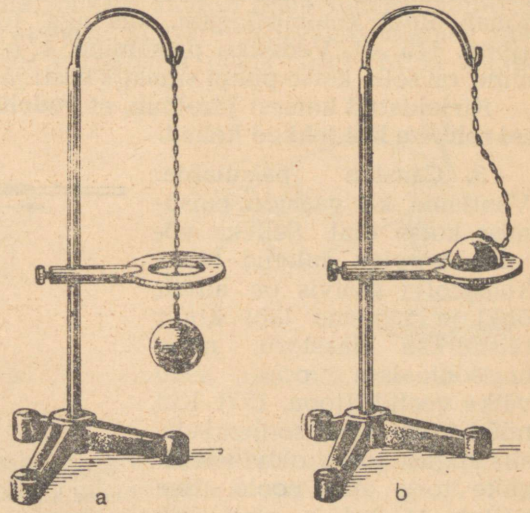
Täpselt samasugune nähtus toimub ka vasktraadi, alumiiniumtraadi või mõnest teisest ainest varda soojendamisel.

Teeme veel ühe katse. Võtame messing- või vaskkuuli, mis külmalt mahub täpselt läbi rõnga (joon. 175, *a*). Kui seda kuuli soojendada põleti leegil, siis kuul paisub ega mahu enam rõngast läbi (joon. 175, *b*). Mõne aja pärast kuul jahtub ja tõmbub kokku, rõngas aga soojeneb kuulist ja paisub. Näeme, et nüüd mahub kuul jällegi rõngast läbi.

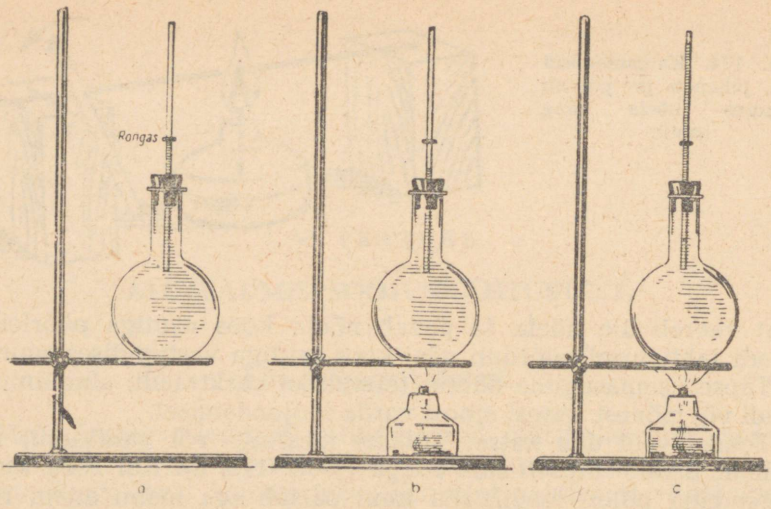
Soojenemisel tahked kehad paisuvad, jahtumisel aga tõmbuvad kokku.

2. Vedelike paisumine. Vedelike soojuspaisumist võib vaadelda järgmise lihtsa katse abil.

Täidame kolvi ääreni veega või mõne teise vedelikuga ja suleme ta siis tihedalt korgiga, millest on läbi pandud peenike



Joon. 175. Kuumutamata kuulike läheb kergesti läbi rõnga, kuumutatult aga jääb rõngale.

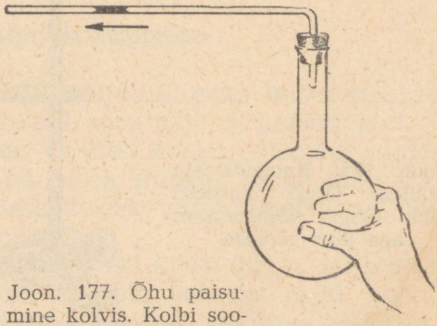


Joon. 176. Kolvi soojendamisel vedelikusammas algul langeb, siis aga tõuseb kiiresti. Kummirõngakesega on märgitud vedelikusamba esialgne kõrgus.

klaastoru. Kolvi sulgemisel täidab vedelik osaliselt toru. Märgime kummirõngakesega vedelikusamba kõrguse torus (joon. 176, *a*). Kolvi soojendamisel märkame, et vedelik algul torus veidi langeb (joon. 176, *b*). See on tingitud sellest, et kõigepealt soojenevad kolvi seinad ja seetõttu kolvi ruumala suureneb. Kolvi edasisel soojendamisel hakkab vedelikusamba kõrgus torus tõusma, jõuab algul kummirõngani, siis aga tõuseb veelgi kõrgemale (joon. 176, *c*). Vedeliku paisumine, s. o. tema ruumala suurenemine, on selle katse puhul silmaga hästi jälgitav.

Kirjeldatud katsest järeldub, et **vedelikud paisuvad soojenemisel rohkem kui tahked kehad.**

3. Gaaside paisumine. Vaatleme ka gaaside paisumist katse abil. Selleks võtame korgiga suletud tühja klaaskolvi (kolvis on ainult õhk) ja paneme läbi korgi täisnurkse klaastoru, mille horisontaalses osas asub väike veetilk (joon. 177). Kui nüüd kolbi käes soojendada, siis liigub torus olev veetilgake toru otsa poole. See näitab, et kolvis olev õhk



Joon. 177. Õhu paisumine kolvis. Kolbi soojendatakse käega.

soojenemisel paisus ja lükkas veetilga edasi. Lastes õhu kolvis jahtuda, hakkab veetilk liikuma torus oma endise asukoha poole tagasi, näidates sellega, et jahtumisel tõmbub õhk kokku. Sellise katse võib sooritada ka mõne teise gaasiga.

Järelikult, **soojenemisel gaasid paisuvad ja seejuures palju rohkem kui vedelikud ja tahked kehad.**

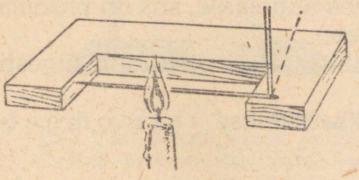
Kõik kehad, nii tahked, vedelad kui ka gaasilised soojenemisel paisuvad ning jahtumisel tõmbuvad kokku.

Kõrvalekaldumisi sellest seaduspärasusest on väga vähe.

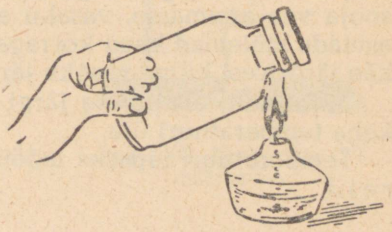
Harjutus 38.

1. Löö lauatüki sisse kaks naela nii, et viiekopikane raha mahuks parajasti nende vahelt läbi. Kuumuta nüüd viiekopikalist ja tee kindlaks, kas raha mahub ka veel nüüd naelte vahelt läbi või mitte. Selgita vaadeldud nähtust.

2. Tee lauatüki sisse sellise pikkusega väljalõige, et sukanõel, mille üks ots on vajutatud väljalõike ühe serva sisse, ulatuks oma silmapoolse otsaga lauatüki peale (joon. 178). Läbi sukanõela silma torka lauatüki sisse vertikaalselt teine, peenem nõel. Peenikese nõela kõrvale, kuid mitte enam sukanõela silmast läbi, torka lauatüki sisse veel üks nõel, mis oleks esimesega paralleelne. Soojenda nüüd sukanõela tuletiku või küünla leegis. Mida kauem sa sukanõela soojendad, seda rohkem kaldub tema silmast läbipistetud nõel oma esialgsest asendist kõrvale. Kõrvalekaldumise suurust on hea jälgida teise, vertikaalse nõela järgi. Mida selline katse näitab?



Joon. 178. Ülesande nr. 2 juurde.



Joon. 179. Ülesande nr. 3 juurde.

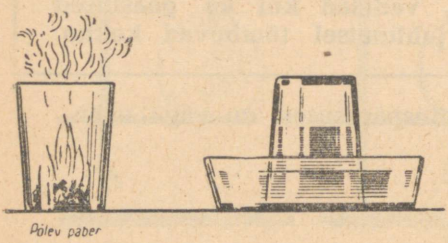
3. Kinnijäänud klaaskorgi äravõtmiseks tuleb pudeli kaela küünla või piirituslambi leegil nõrgalt soojendada (joon. 179). Miks see kergendab korgi äravõtmist?

4. Miks sepp kuumutab rattarehvi enne selle rattale asetamist?

5. Too näiteid tahkete kehade soojuspaisumisest ja kokkutõmbumisest.

6. Kui talvel osta petrooleumi, kas võib siis ääreni täidetud petrooleuminõu jätta seisma sooja ruumi? Miks?

7. Aseta veega täidetud alustassile tühi teeklaas põhjaga üles. Kui nüüd klaasi kätega soojendada, siis hakkavad läbi vee tõusma õhumullid. Tee selline katse ja selgita seda.



Joon. 180. Ülesande nr. 4 juurde.

8. Põleta teeklaasis ära tükk paberit ja keera siis klaas kummuli veega täidetud taldrikule. Jälgi mõnda aega vee taset klaasis ja taldrikul. Joonista katse üles ja selgita seda (joon. 180).

§ 78. Temperatuur.

Me teame, et kaevust või veevärgist võetud külm vesi muutub soojendamisel algul soojaks, siis aga kuumaks.

Sõnadega «külm», «soe», «kuum» me iseloomustame kehade erinevaid soojusastmeid ehk temperatuure.

Köetud ahju temperatuur on kõrgem kui kütmata ahju temperatuur. Talvel on õhu temperatuur väljas madalam kui suvel.

Sageli me hindame keha temperatuuri oma aistingute järgi. Seejuures võib aga kergesti eksida. Asetame näiteks parema käe sooja vee anumasse, vasaku aga külma vee anumasse. Kui nüüd asetada mõlemad käed korraga leige vee anumasse, siis on parema käe järgi vesi külm, vasaku järgi aga soe.

Järelikult, aistingute järgi ei saa mitte alati otsustada õigesti keha temperatuuri üle.

Temperatuuri täpseks mõõtmiseks kasutatakse termomeetreid.

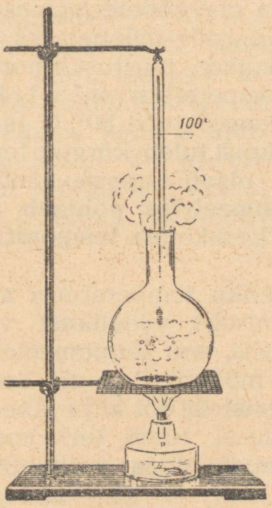
§ 79. Termomeetri ehitus.

Termomeetri töö põhineb kehade soojuspaisumisel. Mida tugevamini keha soojendada, seda rohkem ta paisub.

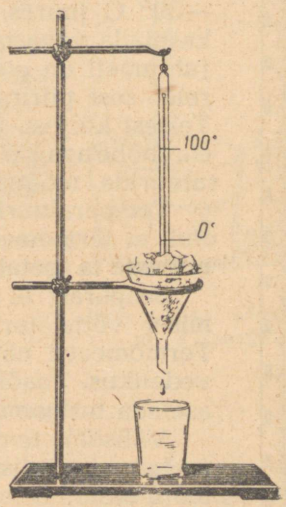
Termomeeter valmistatakse klaastorust, mille seesmine kanal on väga peenike ja täiesti ühtlane. Toru ühes otsas on kas silindri-

või kerakujuline reservuaar. Reservuaar ja osa torust täidetakse elavhõbedaga. Seejärel soojendatakse reservuaari seni, kuni elavhõbe täidab paisudes kogu toru. Samal hetkel sulatatakse toru ülaosa kinni. Lõpetades termomeetri soojendamise, hakkab elavhõbe jahtuma ja tõmbub kokku. Selle tagajärjel langeb elavhõbedasammas torus alla, elavhõbeda kohale jääb aga õhutühi ruum.

Selliselt valmistatud termomeetritoru asetatakse keeva vee auru (joon. 181). Termomeeter soojeneb siin auru temperatuurini. Torus olev elavhõbe paisub ja tõuseb teatud kindlale kõrgusele. See kõrgus märgitakse kas torule või toru külge kinnitatud skaalale kriipsuga. Kriipsu juurde kirjutatakse arv 100. Seejärel asetatakse termomeeter sulavasse jäässe. Termomeeter võtab nüüd sulava jää temperatuuri (joon. 182). Elavhõbe tõmbub torus kokku ja elavhõbedasamba kõrgus väheneb teatud kindla nivooni. Elavhõbedasamba otsa kohal tõmbame skaalale või torule kriipsu ja kirjutame selle juurde 0.



Joon. 181. Vee keemispunkti (100°) kindlakstegemine ja märkimine termomeetri torule või skaalale.



Joon. 182. Nullpunkti (0°) määramine.

Jaotuste 0 ja 100 vaheline kaugus jagatakse sajaks võrdseks osaks. Ühte niisugust osa nimetatakse kraadiks[1].

[1] Kraad tuleneb ladinakeelsest sõnast *gradus* — samm. Temperatuuri väljendavale arvule lisatakse temperatuuri sümbolina märk °, näiteks 10°, 36,6° jne.

Täpselt samasugused jaotused kantakse ka 100°-st kõrgemale ja 0°-st madalamale.

Punkte 0° ja 100° nimetatakse termomeetri põhipunktideks.

Temperatuure alla 0° kirjutatakse ja loetakse koos märgiga «miinus» (—). Näiteks —15° loetakse: «miinus 15 kraadi» ehk ka «15 kraadi alla nulli».

Kirjeldatud viisil saadud termomeetri skaalat nimetatakse Celsiuse skaalaks[1] (joon. 183), selle õpetlase nime järgi, kes väga palju töötas esimeste termomeetrite täiustamisel. Mõnedes maades (näiteks Inglismaal) kasutatakse aga termomeetreid, mille skaalad on valmistatud teisel viisil.



Joon. 183. Celsiuse skaalaga termomeeter.

Celsiuse skaalat nimetatakse mõnikord ka sentikraadskaalaks. Selleks et märkida temperatuuri mõõtmist sentikraadskaala järgi (s. o. Celsiuse skaala järgi), kirjutatakse mõõtmistulemuse juurde täht C, näit. 20° C.

Termomeetrites ei kasutata mitte ainult elavhõbedat, vaid ka mõningaid teisi vedelikke. Elavhõbe tahkestub —39° C juures. Seepärast ei saa elavhõbetermomeetreid kasutada väga madalate temperatuuride mõõtmiseks. Neil juhtumeil on otstarbekohane kasutada piiritustermomeetreid, sest piirituse tahkestumistemperatuur on —114° C. Teisest küljest, piiritus hakkab keema juba 80° C juures, elavhõbe aga 357° C juures. Seepärast tuleb kõrgete temperatuuride mõõtmiseks kasutada elavhõbetermomeetreid.

Temperatuuri mõõtmine termomeetriga põhineb asjaolul, et termomeeter võtab selle keskkonna temperatuuri, millesse ta asetatakse.

Seepärast ei saa näiteks vedeliku temperatuuri mõõtmisel võtta termomeetrit lugemiseks vedelikust välja. Termomeetri näit tuleb lugeda siis, kui termomeeter on vedelikus. Toaõhu temperatuuri mõõtmisel ei ole kasulik asetada termomeetrit kuuma radiaatori või ahju lähedale.

Välisõhu temperatuuri mõõtmisel tuleb termomeeter asetada varjulisse kohta, et kaitsta teda päikesekiirte mõju eest.

---

[1] Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis kasutatakse absoluutset termodünaamilist skaalat (Kelvini skaalat). (Toim.)

Harjutus 39.

1. Kahel termomeetril on reservuaarides ühepalju elavhõbedat, kuid nende torude sisemised diameetrid on erinevad.

Kas elavhõbedasambad tõusevad mõlemas termomeetris ühesugusele kõrgusele, kui termomeetrid asetada keeva vee auru?

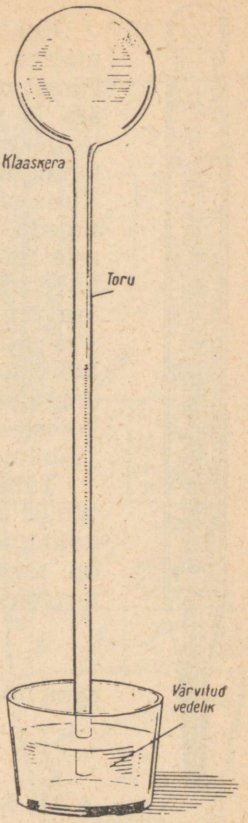
2. Kirjeldame XVI sajandil kasutatud termomeetrit (joon. 184).

Väikese diameetriga klaastoru, mille ühes otsas on kera, on pistetud oma lahtise otsaga värvitud vedeliku anumasse. Kera soojendamisel tungib osa õhku kerast ja torust läbi vedeliku välja. Miks?

Kui lõpetada kera soojendamine, siis tõuseb vedelik mööda toru üles. Miks?

Kuidas töötab selline termomeeter? Kuidas mõjutab väline õhurõhk selle termomeetri näite?

3. Suvel meile näib, et vesi on jões õhtul palju soojem kui päeval. Kui aga mõõta termomeetriga vee temperatuuri päeval umbes kella 3 ajal, siis selgub, et vee temperatuur on päeval siiski kõrgem kui õhtul (võimaluse korral tee selline mõõtmine). Selgita, milles on asi.



Joon. 184. Ülesande nr. 2 juurde.

§ 80. Meditsiiniline termomeeter.

Meditsiinilise termomeetri skaala on valmistatud vahemiku jaoks 34°—42° C (joon. 185), sest selles vahemikus kõigub inimese keha temperatuur. Kuna haige ravimisel on vaja teada täpset kehatemperatuuri, siis meditsiinilise termomeetri skaala on jaotatud kümnendikeks kraadideks. Et kraadi pikkus skaalal oleks kümnendikeks jaotamiseks küllalt suur, siis tehakse klaastoru kanal reservuaari laiusega võrreldes väga kitsas. Selle tulemusena pääsab juba üsna nõrgast termomeetri soojendamisest, et elavhõbeda ruumala suureneks ja seega elavhõbedasammas märgatavalt tõuseks toru kitsas kanalis.

Termomeetri selline ehitus võimaldab kergesti määrata temperatuuri täpsusega 0,1°.



Kehatemperatuuri mõõtmiseks asetatakse termomeeter viieks kuni kümneks minutiks kaenla alla. Pärast nimetatud aja möödumist võetakse termomeeter ära ja vaadatakse, millist temperatuuri ta näitab. Me teame aga, et termomeeter näitab keskkonnaga võrdset temperatuuri ainult siis, kui ta asub selles keskkonnas. Kuna meditsiinilist termomeetrit on väga raske sel ajal lugeda, kui ta asub kaenla all, siis on meditsiinilisele termomeetrile ehitatud lisaseade, mis ei lase elavhõbedasammast langeda alla ka pärast termomeetri äravõtmist. Jooniselt 185 on näha, et elavhõbedareservuaarist veidi kõrgemal on termomeetri torus kitsas koht, kust elavhõbe paisumisel kergesti läbi läheb. Jahtumisel aga takistab see koht elavhõbeda tagasivoolamist reservuaari. Elavhõbedasammas katkeb ning jääb torus endisele kõrgusele.

Tähendab, antud termomeeter näitab ka pärast jahtumist seda temperatuuri, mille ta omandas kehaga kokkupuutumisel. Et elavhõbe läheks reservuaari tagasi, on tarvis termomeetrit raputada. (Mittemeditsiinilisi termomeetreid pole muidugi tarvis raputada.)

Joon. 185. Meditsiiniline termomeeter.

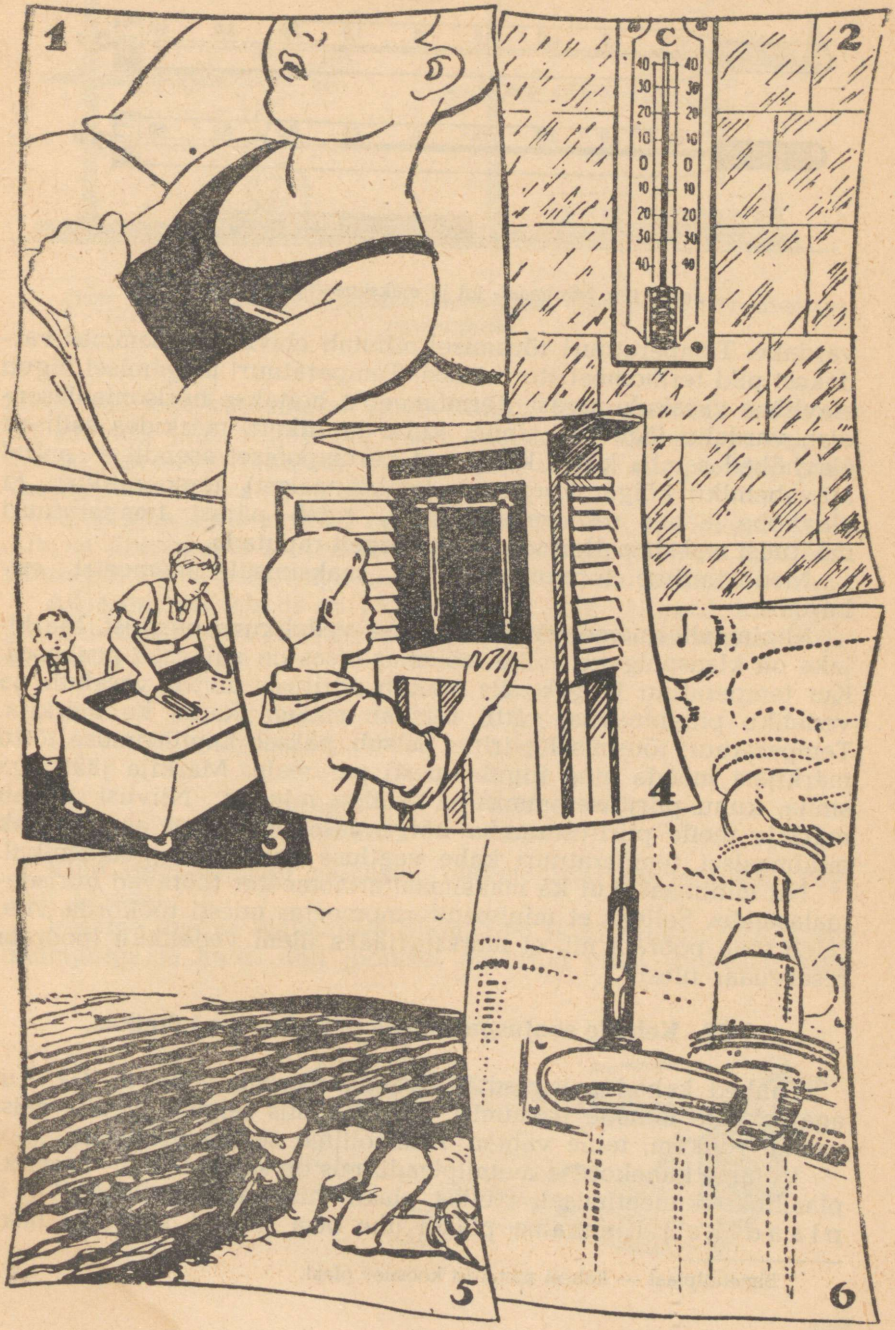
§ 81. Maksimaal- ja minimaaltermomeetrid.

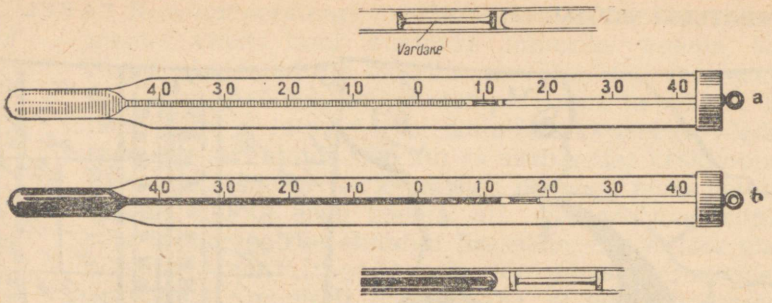
Meteoroloogiajaamades[1] kasutatakse mingi ajavahemiku, näiteks ööpäeva kõige kõrgema ja kõige madalama temperatuuri mõõtmiseks erilisi maksimaal- ja minimaaltermomeetreid. Joonisel 186 on all kujutatud maksimaaltermomeeter, ülal aga minimaaltermomeeter. Maksimaaltermomeetri toru on täidetud elavhõbedaga. Temperatuuri märkijaks on siin teras-

[1] Meteoroloogiajaam — ilmajaam, kus pidevalt viiakse läbi atmosfääri temperatuuri, rõhu jne. mõõtmisi.

Selgitus tabeli VI juurde.

1. Inimese keha temperatuuri mõõdetakse meditsiinilise termomeetriga.
2. Välisõhu temperatuuri mõõtmiseks kasutatakse välistermomeetrit.
3. Vannivee temperatuuri mõõdetakse termomeetriga.
4. Meteoroloogiajaamas asuvad termomeetrid spetsiaalses onnis.
5. Külviaegade kindlaksmääramiseks on tarvis teada pinnase temperatuuri.
6. Vedelike temperatuure mõõdetakse ka tööstuses termomeetriga.


1
2
C
40 30 20 10 0 10 20 30 40
3
4
5
6



Joon. 186. Minimaal- (*a*) ja maksimaaltermomeeter (*b*).

vardake. Temperatuuri tõusmisel nihutab elavhõbedasammas vardakest piki termomeetritoru edasi. Temperatuuri langemisel liigub elavhõbe vasakule tagasi (termomeetrit hoitakse horisontaalasendis), vardake jääb aga sinna, kuhu ta lükati, märkides selliselt elavhõbedasamba kõige kaugemat parempoolset asendit — antud ajavahemiku kõige kõrgemat (maksimaalset) temperatuuri. Et elavhõbe läheks reservuaari tagasi, tuleb pärast temperatuuri mõõtmist maksimaaltermomeetrit kergelt raputada.

Meditsiiniline termomeeter on maksimaaltermomeetri erikujuks.

Minimaaltermomeetris kasutatakse vedelikuna piiritust. Märkijaks on klaaspulgake, mille mõlemas otsas on väikesed peakesed. Kui temperatuur langeb, siis nihkub piiritusesammas vasakule ja vedeliku pindpinevuse tõttu tõmbab endaga kaasa ka märkija. Temperatuuri tõusmisel piiritus paisub, pääseb kapillaarsuse tõttu märkijast mööda ning liigub uuesti paremale. Märkija jääb aga sinna, kuhu piiritusesammas ta esialgu nihutas. Niiviisi näitab märkija meile piiritusesamba kõige vasakpoolsemat asendit ehk minimaalset temperatuuri kahe vaatluse vahelisel ajavahemikul.

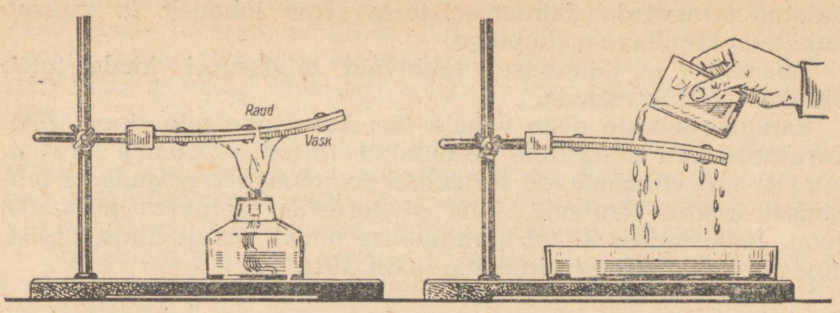
Nii minimaal- kui ka maksimaaltermomeeter töötavad horisontaalasendis. Selleks et minimaaltermomeeter uuesti töökorda viia, tuleb seda pöörata nii, et märkija jääks üleni vedelikku (pöörata reservuaar üles).

§ 82. Kehade soojuspaisumise arvestamine tehnikas.

Tahked kehad paisuvad soojenemisel väga vähe (§ 77). Kui aga tahkete kehade paisumisi võrrelda, siis selgub, et üks neist paisub rohkem, teine vähem. Kontrollime seda katseliselt.

Võtame kahekordse metallplaadi, mis on saadud raud- ja vaskplaadi kokkuneetimisel. (Sellist plaati nimetatakse bimetallplaadiks[1].) Kinnitame plaadi ühe otsa statiivi külge ja hak-

[1] Bimetallplaat — kahest metallist koosnev plaat.



Joon. 187. Kuumenemisel paindub bimetallplaat ühele poole, jahtumisel aga teisele poole.

kame siis teda kuumutama (joon. 187, *a*). Plaat paindub seejuures nii, et vask jääb väljapoole, raud sissepoole. Kui pärast kuumutamise lõpetamist jahutada plaati külma veega, siis paindub plaat vastupidises suunas (joon. 187, *b*).

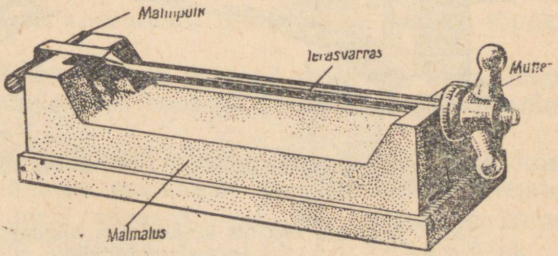
Kuna plaadi kumer külg on pikem kui nõgus, siis katsest järeldub, et ühesugusel soojendamisel paisub vask rohkem kui raud. Ühesugusel jahtumisel aga tõmbub vask rohkem kokku kui raud.

Alljärgnevas tabelis on toodud arvud, mis näitavad, kui palju pikeneb millimeetrites erinevast ainest 1 m pikkune varras soojenemisel 1° C võrra:

	(mm)
Klaas	0,010
Raud	0,012
Vask	0,017
Messing	0,018
Alumiinium	0,024

Kuid isegi sellistel väikestel pikenemistel on tehnikas väga suur tähtsus.

Võtame tugeva malmaluse (joon. 188) ja kinnitame selle külge malmpulga ja mutri abil joonisel näidatud viisil tugevasti kuu-

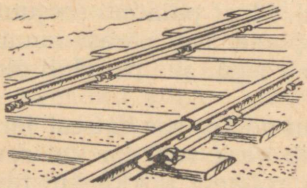


Joon. 188. Jahtumisel purustab terasvarras malmpulga.

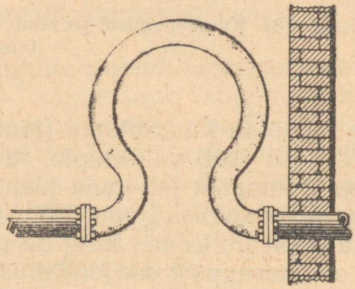
mutatud terasvarda. Jahtumisel terasvarras lüheneb ja murrab katki teda kinnitava malmpulga.

Paisumisel ja jahtumisel tekkivaid hiiglasuuri jõude tuleb tehnikas alati arvestada.

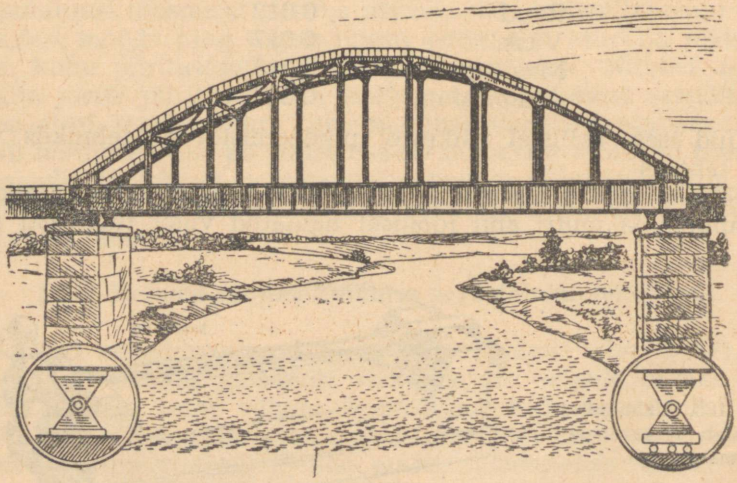
Raudteerööbaste otste vahele jäetakse väike pilu (joon. 189). Aurutorustikku asetatakse painutatud torud — *kompensaatorid*, mis võimaldavad torustikul soojenemisel paisuda ja jahtumisel kokku tõmbuda, ilma et torustik seejuures puruneks (joon. 190). Suured sillad kinnitatakse jäigalt ainult ühest otsast, teine ots asetatakse aga rullidele (joon. 191).



Joon. 189. Pilu raudteerööbaste otste vahel.



Joon. 190. Aurutorustiku kompensaator.



Joon. 191. Silla üks ots kinnitatakse liikumatult, teine ots asetatakse aga rullidele.

Mõnikord kasutatakse soojuspaisumisel ja jahtumisel tekkivaid jõude otseselt tehnikas. Nii näiteks asetatakse raudrehv vankri rattale tugevasti kuumutatult. Jahtumisel surub selline rehv ratta puuosad tugevasti kokku ja nii saadakse vastupidav ratas.

Raua ja betooni ühesugune paisumine soojenemisel võimaldab püstitada vastupidavaid raudbetoonehitusi. Selliste ehituste seinad valmistatakse betoonist ja raudvarrastest. Raudbetooni tugevus ei vähene isegi tugeval kuumenemisel või jahtumisel.

Vedelikud paisuvad tunduvalt rohkem kui tahked kehad. 1 l toatemperatuuril oleva vee ruumala suureneb soojendamisel 1° C võrra 0,0032 l. Ka vedelikud võivad avaldada paisumisel suuri rõhumisjõude. Kui mingi vedelik on suletud mõnda kinnisesse nõusse, siis võib ta soojenemisel selle nõu lõhkuda.

Gaasid paisuvad veel rohkem kui vedelikud. Soojenemisel 1° C võrra suureneb gaasi ruumala $\frac{1}{273}$ võrra ruumalast, mis tal oli 0° C juures.

Kui gaas on kinnises nõus, siis tema ruumala ei saa suureneda. Seepärast suureneb gaasi rõhk (kui temperatuur tõuseb 1°) $\frac{1}{273}$ võrra sellest rõhust, mis tal oli 0° C juures. Nõud, milles hoitakse gaase või vedelikke, tehakse harilikult küllalt tugevad selleks, et need taluksid rõhu suurenemist.

§ 83. Soojuse levimine.

Igapäevastest kogemustest teame, et köetud ahi soojendab toas olevat õhku ja kõiki toas olevaid esemeid. Samal ajal ahi ise jahtub. Kuuma tee sisse pandud metall-lusikas kuumeneb, tee ise aga samal ajal veidi jahtub.

Toodud näited räägivad sellest, et **kõrgema temperatuuriga keha alati kaotab soojust (jahtub), teda ümbritsevad madalama temperatuuriga kehad aga saavad soojust juurde (soojenevad).**

Järelikult võib soojus levida ühelt kehalt teisele.

Soojus ei levi mitte ainult ühelt kehalt teisele, vaid ka ühe ja sama keha mingilt osalt teistele osadele. Kui näiteks hoida raudplaati üht otsapidi käes, teist otsa aga samal ajal kuumutada, siis kuumeneb järk-järgult ka käeshoitav plaadiots ja hakkab lõpuks kätt põletama.

Soojuse üleminekut ühelt kehalt teisele kehale või keha ühelt osalt teisele osale nimetatakse soojuse levimiseks e. soojusülekandeks.

Soojuse levimine toimub alati kindlas suunas ja nimelt kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale. Kui kehade temperatuurid võrdsustuvad, siis soojuse levimine lakkab. Öeldakse, et on saabunud s o o j u s l i k t a s a k a a l.

Soojuse levimine võib toimuda järgmisel kolmel viisil: 1) soojusjuhtivuse, 2) konvektsiooni ja 3) kiirguse teel.

§ 84. Soojusjuhtivus.

Kui asetada metall-lusikas kuuma teeklaasi, siis kuumeneb kiiresti ka lusika vars. Soojus, mille saab vees olev lusikaosa, kandub mööda metalli edasi lusika külmema otsa poole.

Soojuse levimist keha ühelt osalt teisele osale nimetatakse soojusjuhtivuseks.

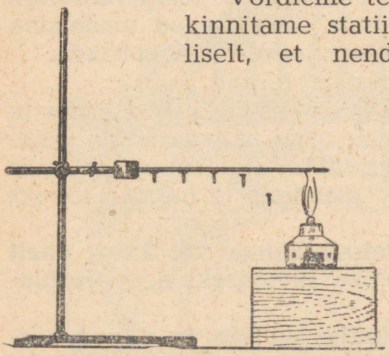
Õpime seda nähtust tundma tahkete kehade, vedelike ja gaasidega tehtavate katsete abil.

Pistame puupulga ühe otsa tulle. See hakkab põlema. Meie käes olev pulgaots jääb aga külmaks. Tähendab, puu juhib halvasti soojust.

Paneme piirituslambi leeki peenikese klaaspulga otsa. Mõne aja pärast kuumeneb see niivõrd, et muutub pehmeks ja vajub kõveraks. Teine ots, mis on meie käes, jääb aga endiselt külmaks. Järelikult juhib ka klaas halvasti soojust.

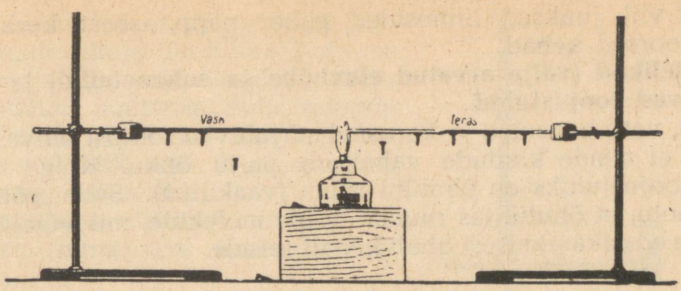
Kui leegis kuumutada mingi metallvarda, näiteks pika raudnaela otsa, siis kuumeneb kogu varras üsna kiiresti ja me ei saa teda enam käes hoida. Järelikult juhib raud hästi soojust.

Soojuse levimist tahke keha ühelt osalt teisele osale võib vaadelda järgmise lihtsa katse abil. Kinnitame statiivi külge jämeda vasktraadi ühe otsa ja paneme traadi külge vahaga mõned naelakesed nii, nagu kujutatud joonisel 192. Kuumutades traadi teist otsa piirituslambi leegis, hakkab vaha sulama ja naelad kukuvad üksteise järel traadi küljest ära. Esimesena kukub kuumutamiskohale kõige lähemal olev naelake, siis sellele järgmine ja nii edasi kuni viimase naelani.



Joon. 192. Vase soojusjuhtivuse jälgimine katseliselt.

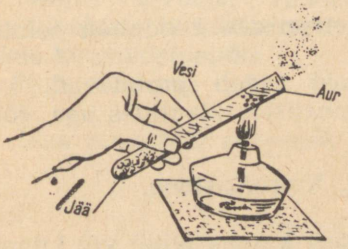
Võrdleme terase ja vase soojusjuhtivust. Selleks kinnitame statiivide külge teras- ja vasktraadi selliselt, et nende vabad otsad puutuksid kokku (joon. 193). Paneme traatide külge vahaga mõned naelakesed ja hakkame siis traatide kokkupuutekohta kuumutama piirituslambi leegis. Näeme, et vaha sulab küllalt kiiresti ja laseb naelad maha kukkuda. Seejuures kukuvad naelad vasktraadilt maha palju kiiremini kui terastraadilt. Katse näitab, et vask ja teras on head soojusjuhid, kuid vask on siiski parem.



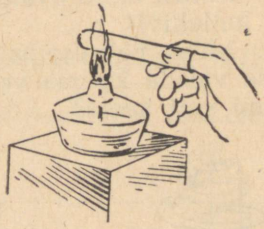
Joon. 193. Terase ja vase soojusjuhtivuse võrdlemine.

Vaatleme nüüd vedelike soojusjuhtivust.

Võtame katseklaasi, asetame selle põhja tüki jääd ja sellele mingi raskuse, mis takistaks jää tõusmist veepinnale, ning täidame siis katseklaasi veega. Hakkame nüüd kuumutama katseklaasi ülaosa (joon. 194). Vesi hakkab katseklaasi ülaosas varsti keema, jää pole aga katseklaasi põhjas selle aja jooksul peaaegu üldse sulanud. Seega on vesi nagu puu ja klaaski halb soojusjuht.



Joon. 194. Katse, mis näitab, et vesi on halb soojusjuht.



Joon. 195. Õhk katseklaasis ei juhi soojust sõrmeni.

Uurime gaaside soojusjuhtivust.

Joonisel 195 on kujutatud katse, mis näitab õhu halba soojusjuhtivust. Kuiva katseklaasi on pistetud sõrm. Katseklaasi põhja kuumutatakse piirituslambi leegis. Sõrm ei tunne seejuures mingit soojenemist.

Katsed näitavad, et erinevate kehade soojusjuhtivused on erinevad. Ühed kehad juhivad hästi soojust, teised halvasti.

Headeks soojusjuhtideks on kõik metallid.

Metallidest juhivad kõige paremini soojust hõbe ja vask. Puu, klaas ja nahk juhivad halvasti soojust. Kõige halvemini juhivad

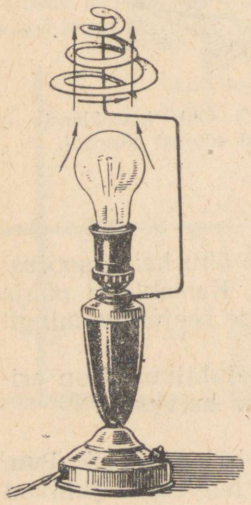
soojust vill, juuksed, linnusuled, paber, papp, asbest, kork, üldse kõik poorsed kehad.

Vedelikud (välja arvatud elavhõbe ja sulametallid) ja gaasid on halvad soojusjuhid.

Vill, vatt, udusuled ja karusnahad juhivad soojust halvasti seepärast, et nende kiudude vahel on palju õhku. Kõige halvemaks soojusjuhiks on õhutühi ruum (vaakuum). Selle põhjuseks on asjaolu, et õhutühjas ruumis ei ole molekule, mis võtaksid osa soojuse edasikandmisest ühelt kehalt teisele.

Harjutus 40.

1. Miks vintpüssi raud ümbritsetakse puust kattega?
2. Miks sügav kohev lumi kaitseb taliviljaoraseid hävimise eest?
3. Miks heinad, õled ja kuivad lehed juhivad halvasti soojust?
4. Miks tunduvad metallesemed pakasega külmemad kui puust esemed?
5. Räägitakse, et kasukas soojendab. Kas see väljend on õige? Mis juhtub tuppa toodud jääga, kui see katta kasukaga?
6. Milline vattkuub on soojem, kas uus või vana. Miks?
7. Kumma katuse all on talvel soojem, kas õlgkatuse või plekk-katuse all?
8. Millist mõju avaldab vee soojenemisele keedunõu seintel olev katlakivi?
9. Miks paksuseinalised teeklaasid sageli purunevad, kui neisse valada kuuma vett, õhukeseseinalistes klaasides aga võib koguni vett keeta?



Joon. 196. Konvektsioonivool kuuma elektrilambi kohal.

§ 85. Konvektsioon.

Kui asetada käsi kuuma pliidi või kuuma elektrilambi kohale, siis tunneme, et vastu kätt tõuseb soe õhuvoolus.

Kui põleva küünla või kuuma elektrilambi kohale asetada paberist spiraalselt väljalõigatud riba, siis hakkab see sooja ülestõusva õhuvooluse mõjul pöörlema (joon. 196). Pliidi kohal kuivav rätik võngub tõusvate õhuvoolude mõjul.

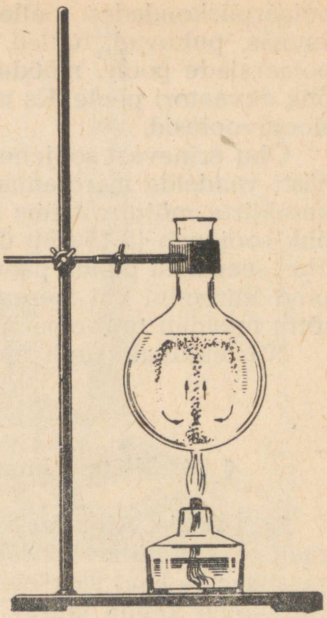
Neid nähtusi võib selgitada järgmiselt. Pliidi või kuuma lambiga kokkupuutuv õhk kuumeneb, paisub ja muutub seetõttu kergemaks (tihedus väheneb) kui ümbritsev külm

õhk. Arhimedese seaduse järgi mõjub soojale õhule üleslükkejõud, mis on võrdne külma õhu kaaluga sooja õhu ruumala suuruses. Selle tulemusena tõuseb pliidi või lambi kohal soojenenud õhk üles, tema asemele voolab aga külm õhk.

Samasugune nähtus ilmneb ka vedelike juures, kui neid alt kuumutada.

Soojad veeosakesed on väiksema tihedusega ja kergemad ning tõusevad seepärast ülespoole. Alla liiguvad aga külmad veeosakesed, mis seal omakorda soojenevad ja siis uuesti üles tõusevad. Seda liikumist saab hästi vaadelda, kui asetada vette mõned kristallid kaaliumpermanganaati, sest see värvib veevoo lillaks (joon. 197).

Külma ja sooja vedeliku selline ringvool soodustab kogu vedeliku kiiret ja ühtlast soojenemist.

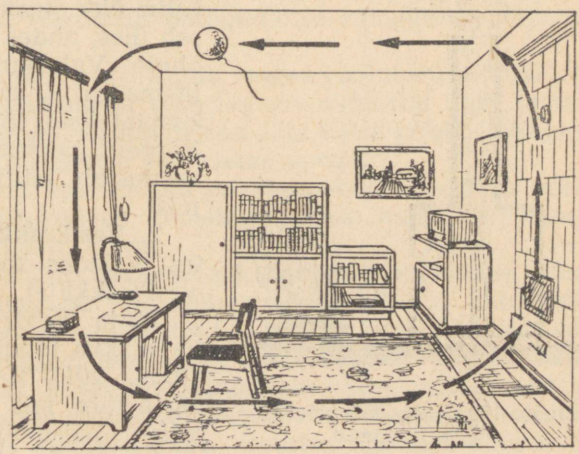


Joon. 197. Konvektsioon vedelikus.

Soojuse levimist vedeliku- või gaasivooluste liikumise teel nimetatakse konvektsiooniks.

Konvektsiooni mõjul soojeneb õhk köetud toas kiiresti (joon. 198).

Maa atmosfäär soojeneb troopilistes piirkondades rohkem kui



Joon. 198. Õhupalli abil võib jälgida õhu ringkäiku köetud toas.

polaarpiirkondades. Selle tulemusena tekivad pidevalt kindlas suunas puhuvad tuuled. Atmosfääri ülakihtides liigub soe õhk polaaralade poole, mööda maapinda aga liigub polaaralade külm õhk ekvaatori poole. Ka merehoovused kujutavad endast konvektsioonivoolusid.

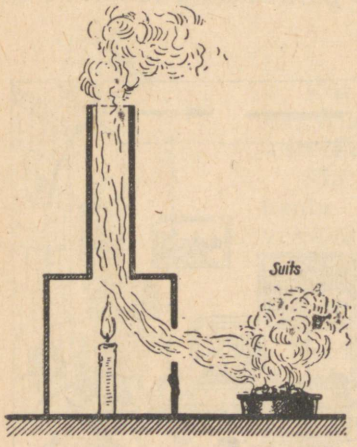
Õhu erinevast soojenemisest tingitud tuule tekkimist saab eriti hästi vaadelda mererannas. Suvepäevadel soojeneb maapind päikesekiirte mõjul rohkem kui merevesi. Maapinnaga kokkupuutuv õhk soojeneb ja tõuseb üles. Tema asemele tuleb merelt külmem õhk, seepärast puhub päeval tuul merelt maale. Öösel jahtub maapind kiiremini kui merevesi. Soojem õhk on nüüd merel ja seetõttu muudab tuul oma suunda, puhudes maalt merele.

Nii tekkivaid tuuli nimetatakse b r i i s i d e k s.

§ 86. Näiteid konvektsiooni kasutamisest tehnikas.

1. Tõmme. Ahjulõõris olevad kuumad gaasid on väiksema erikaaluga kui külm välisõhk. Seepärast on korstnas oleva kuuma gaasi samba kaal väiksem kui niisama kõrge õhusamba kaal. Ahju küttekolde kaudu mõjuv välisõhu rõhk on seepärast suurem kui kuumade gaaside rõhk. Selle tagajärjel tungib külm välisõhk küttekoldesse, tekitades tõmbe. Mida kuumemad on korstnas olevad gaasid ja mida kõrgem on korsten, seda suurem on kuuma gaasisamba ja niisama kõrge õhusamba kaalude vahe ning seda tugevam on tõmme.

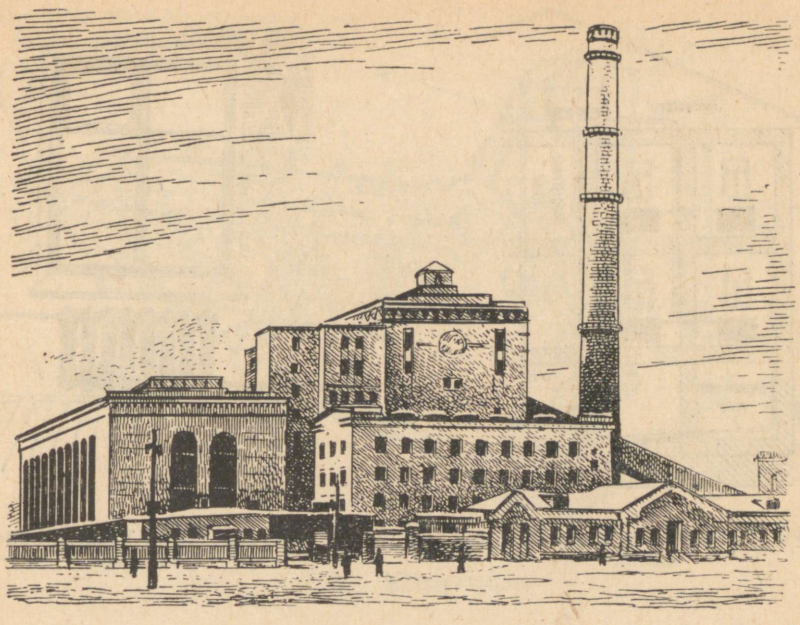
Joonisel 199 kujutatud katse selgitab tõmbe tekkimist. Soe õhk tõuseb mööda toru üles, kasti liigub tema asemele külm suitsune õhk, mis tõrjub torus oleva sooja õhu välja. Külm õhk omakorda soojeneb ja tõuseb üles, andes ruumi uuele külmale õhule. Vabrikutes, tehastes, elektrijaamades ja muudes katlaseadmetes kasutatakse tõmbe suurendamiseks kõrgeid korstnaid (joon. 200). See soodustab kütuse paremat ärapõlemist.



Joon. 199. Katse, mis selgitab tõmbe tekkimist.

2. Vesikeskküte. Kõigis suuremates majades kasutatakse tänapäeval vesikeskkütet.

Maja keldrikorrusele asetatakse katel, kus toimub vee soojendamine (joon. 201). Katla ülaosast väljub jäme toru, mis ulatub pööningul olevasse paisumispaaki. Paisumispaa-



Joon. 200. Soojuselektrijaam.

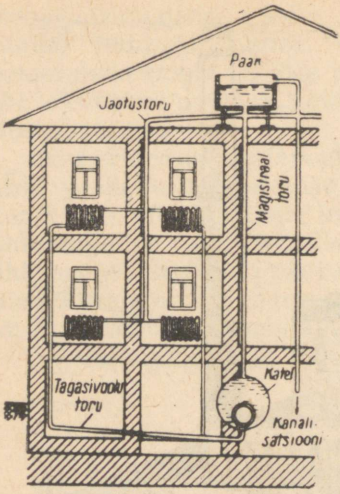
giks nimetatakse pööningul olevat paaki sellepärast, et siia voolab soojenemisel paisunud vesi.

Paisumispaagist väljuvad jaotustorud, milledest saavad alguse tube läbivad vertikaaltorud. Vertikaaltorudest läheb kuum vesi radiaatoritesse (joon. 202). Radiaator kujutab endast jämedate malmtorude süsteemi. Harilikult paigutatakse radiaatorid akende alla.

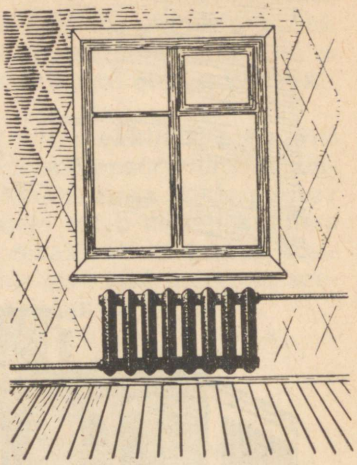
Radiaatoreid läbinud vesi liigub tagasivoolutorusid mööda uuesti keldrisse. Siin suubuvad kõik tagasivoolutorud ühte jämedasse torusse, mille kaudu suundub vesi läbi katla põhja katlasse. Torude ja radiaatorite süsteem täidetakse veega.

Katlas kuumenenud vesi tõuseb mööda jämedat peatoru pööningul olevate jaotustorudeni, voolab nendesse ning sealt edasi hoones olevatesse radiaatoritesse.

Kuum vesi soojendab radiaatoreid, andes nendele osa oma soojusest. Selle tulemusena vesi radiaatorites jahtub. Jahtunud vesi liigub mööda tagasivoolutorusid katlasse tagasi, kuumeneb uuesti, tõuseb pööningule, läbib jälle radiaatoreid, andes neile osa oma soojusest jne. Selline vee ringlemine keskküttesüsteemis ja järelikult ka soojuse levimine katlast radiaatoritesse toimub seni, kuni vett katlas kuumutatakse. Suurtes majades pannakse



Joon. 201. Maja vesikeskkütte skeem.



Joon. 202. Vesikeskkütte radiaator.

vesi sageli ringlema pumpade abil, mis pumpavad pidevalt vett vajalikus suunas.

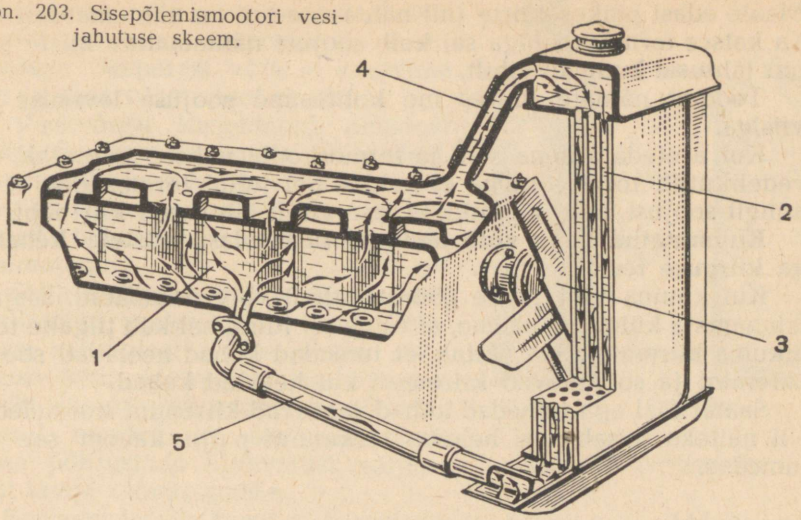
Mida rohkem on toas vaja soojust, seda rohkem radiaatoreid sinna paigutatakse või suurendatakse radiaatorite ribide arvu. Ribide arvu suurendamisega suurendame õhu kokkupuutepinda kuuma radiaatoriga.

3. Auto- ja traktorimootori jahutussüsteem. Küttesegu põlemisel tõuseb temperatuur sisepõlemismootori silindris 1800—2000 kraadini. Selle tagajärjel kuumenevad silindrite seinad väga tugevasti ning see halvendab mootori tööd. Seepärast on tarvis mootorit tema töötamise ajal jahutada.

Auto- ja traktorimootorite juures kasutatakse kõige sagedamini vesijahutust (jahutusvedelikuks on vesi). Külmal ajal lisatakse veele selliseid vedelikke, mis viivad jäätumistemperatuuri madalamale. Mootori kere ja silindritevaheline ruum täidetakse veega (joon. 203), mis moodustab nn. veesärgi. Samuti täidetakse veega peentest vasktorudest koosnev radiaator ja veesärki radiaatoriga ühendavad torud. Kõige lihtsamas jahutussüsteemis liigub vesi konvektsiooni teel. Mootori silindrid soojendavad vett, see tõuseb üles ja surub külma ning raskema vee radiaatorist mootori veesärki. Koos veega liigub veesärgist ära ka soojus. Radiaatorit läbivat vett jahutatakse ventilaatori õhujoaga.

Kaasaegsete mootorite jahutusseadmetes kiirendatakse vee ringvoolu spetsiaalse pumbaga. See pump asetatakse harilikult ventilaatoriga ühele teljele.

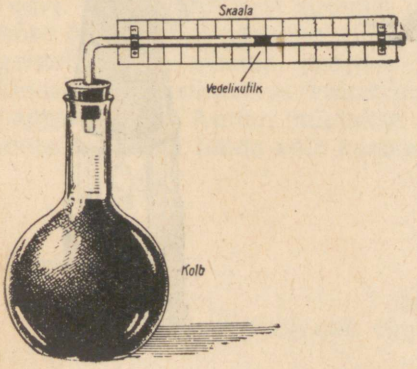
Joon. 203. Sisepõlemismootori vesijahutuse skeem.



§ 87. Kiirgamine.

Tutvume veel soojuse ühe levimisviisiga. Selleks teeme järgmise katse. Suleme ühelt küljelt tahmatud väikese kolvi korgiga, mida läbib täisnurkne peenikese kanaliga klaastoru (joon. 204). Paneme torusse värvitud vedelikutilga ja varustame toru skaalaga. Saame termoskoobi, mille abil viime nüüd läbi rea katseid.

Riputame termoskoobist 1 m kaugusele kuuma 2—5 kG raskuse kaaluvihi või kuuma triikraua. Näeme, et termoskoobi torus olev vedelikutilk liigub paremale. Järelikult kolvis olev õhk soojenes ja paisus. Õhu kiire soojenemine on seletatav ainult sellega, et osa soojust levis vihilt kolvile. Kuna õhk on halb soojusjuht, siis lühikesest ajast tingituna ei saanud toimuda mingit soojuse levimist juhtivuse teel, samuti ei saanud kolb soojeneda vihi kohalt ülestõusva sooja õhuvoolu mõjul (konvektsiooni teel), sest viht ei olnud asetatud kolvi alla, vaid külje peale.



Joon. 204. Termoskoop.

Tuletame meelde, et Maa saab Päikeselt hiiglaslikul hulgal soojust, olgugi, et Maa on Päikesest eraldatud õhutühja ruumiga. See soojus antakse

Maale edasi päikesekiirte (nii nähtavate kui ka nähtamatute) abil. Ka katses termoskoobiga sai kolb soojust nähtamatute kiirte näol, mis lähtusid kuumalt vihilt.

Toodud näidete juures me kohtusime soojuse levimise uue viisiga.

Kui asetada kuuma vihi ja termoskoobi vahele papitükk, siis vedelikutilk torus liikuma ei hakka. Sel juhul termoskoop ei saa mingit soojust, sest papitükk ei lase vihilt lähtuvaid kiiri läbi.

Kuumutatud keha võib anda soojust edasi teistele kehadele ka kiirguse teel.

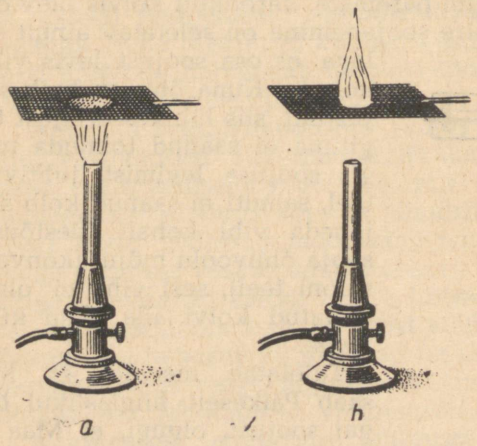
Kui kuuma vihi poole pöörata algul kolvi tahmatud, seejärel tahmamata külg, siis näeme, et esimesel juhul hakkab tilgake torus liikuma kiiremini. See näitab, et tumedad kehad neelavad soojust paremini ja soojenevad kiiremini kui heledad kehad.

Samal ajal aga tumedad kehad jahtuvad kiiremini kui heledad. Nii näiteks seisab vesi heledas teekannus palju kauem soe kui tumedas.

§ 88. Näiteid soojuse levimise kasutamisest praktikas.

1. Kaevurilamp. Kui panna gaasipõleti või piirituslambi leeki vaskvõrk, siis pealpool võrku leeki ei ole (joon. 205, *a*). Võib aga teha ka vastupidi — süüdata gaas võrgu peal. Sel juhul ei ole võrgu all leeki (joon. 205, *b*).

Gaasipõleti leek soojendab vahetult ainult väikest osa vaskvõrgust. Kui vaskvõrk juhiks soojust halvasti, siis hakkaks võrgu leegis olev osa kiiresti hõõguma ja gaas võrgu kohal põlema. Vaskvõrk juhib aga soojuse kiiresti kuumutatavalt kohalt eemale



Joon. 205. Katse vaskvõrguga.

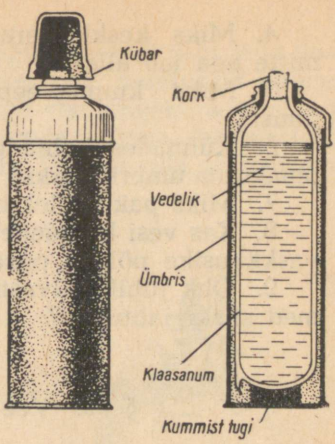


Joon. 206. Kaevurilamp.

ning annab selle kiirguse ja konvektsiooni teel edasi ümbritsevale keskkonnale. Seepärast võrk ei kuumene üle ja gaas võrgu peal ei sütti.

Vaskvõrgu kirjeldatud omadust kasutati kaevurilampide ehitamisel. Kaevandustes ei saa kasutada lahtise leegiga lampe, sest need võivad põhjustada tulekahju ja kaevandusgaasi plahvatamist.

Selle vältimiseks ümbritseti kaevurilambid vaskvõrguga (joon. 206). Gaasi sattumisel sellise lambi sisemusse tekib plahvatus lambi sees. Võrku läbides jahtuvad aga põlevad gaasid niivõrd, et nad ei suuda enam põhjustada plahvatust väljaspool lampi olevas gaasis.



Joon. 207. Termospudel.

Selliseid lampe kasutati kaevandustes pikka aega. Mõnel pool kasutatakse neid veel praegugi. Kuid ikka rohkem ja rohkem kasutatakse tänapäeval mugavaid ning ohutuid elektrilampe.

2. Termos. Sageli on vaja, et söök, tee või kohv seisaks kaua soe. Mõnikord on aga vaja, et jää või jäätis saaksid ümbritsevalt keskkonnalt võimalikult vähe soojust ning ei sulaks.

Et hoida mingit produkti jahtumise või soojenemise eest, on otstarbekas kasutada t e r m o s e i d, mis võivad olla pudeli-, paagi- või kapikujulised. Termosed on kahekordsete seintega. Seinte vahel on kas puuvill, vatt, hõrendatud õhk või mõni teine soojust halvasti juhtiv materjal.

Joonisel 207 on kujutatud vedelike hoidmiseks kasutatav termospudel. Selline pudel koosneb kahekordsete seintega klaasnõust. Seinte sisepind on kaetud heleda metallikihiga («hõbetatud»). Seintevahelisest ruumist on õhk välja pumbatud, sest väga hõre õhk ei juhi peaaegu üldse soojust. Hele metallikiht, mis peegeldab kiiri, takistab soojuse levimist kiirguse teel. Termose klaaskesta purunemise vältimiseks asetatakse ta kas plekk- või pappkestasse. Anum suletakse korgiga, selle peale kruvitakse metallist kübar (mida võib kasutada klaasina).

Harjutus 41.

1. Miks peegel soojeneb väga vähe temale langevate päikesekiirte mõjul?
2. Miks suvel kantakse heledaid rõivaid?
3. Miks määrdunud lumi sulab kiiremini kui puhas lumi?

4. Miks keskkütteradiaatorid asetatakse põranda lähedale, mitte aga lae alla?

5. Miks kuumaveepaakide kraanide käepidemed tehakse puust?

6. Külmades kohtades mähitakse veetorude ümber vilti, mis omakorda ümbritsetakse laudadega. Miks?

7. Miks paksu õlekihi all olev lumi sulab aeglaselt?

8. Kas vesi kuumeneb kiiresti, kui tema pinnale panna ujuma vaskkausike põleva piiritusega?

9. Õhk juhib halvasti soojust. Miks õhus asuvad kuumad esemed siiski jahtuvad?

§ 89. Vee soojuspaisumise iseärasus.

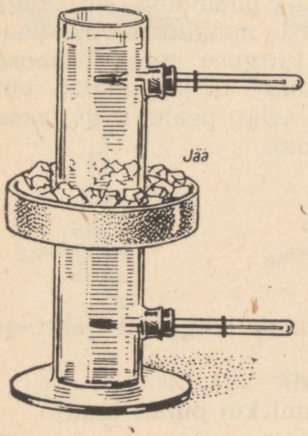
Vesi etendab inimese elus ja looduses väga tähtsat osa. Ilma veeta poleks elu Maal üldse võimalik. Teadus on seepärast õppinud hoolikalt tundma vee mitmesuguseid omadusi.

Vee üheks omaduseks on see, et ta soojenemisel 0° C-st kuni 4° C-ni ei paisu, vaid tõmbub hoopis kokku. 4° C juures on vee erikaal kõige suurem, nimelt $1\frac{G}{cm^3}$. Suuremate ja väiksemate temperatuuride juures on vee erikaal veidi väiksem.

Vee soojuspaisumise iseärasusest tingituna ei lange vee temperatuur sügavate veekogude põhjas talvel alla 4° C.

Et mõista, kuidas see toimub, korraldame joonisel 208 kujutatud katse.

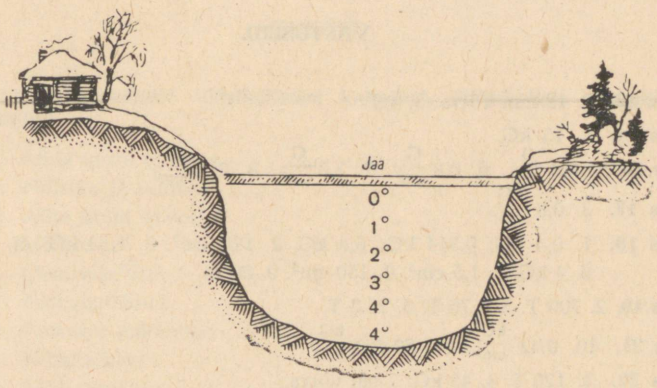
Kõrgesse nõusse valatakse toatemperatuuriga vett. Nõu keskkohta ümbritsev anum täidetakse jääga. Kaks termomeetrit võimaldavad mõõta temperatuuri nii anuma alumises kui ka ülemises osas.



Konvektsiooni tulemusena koguneb anuma alumisse ossa jää poolt kuni 4° C-ni jahutatud vesi. 4° C-st madalama temperatuuriga vesi kui kergem tõuseb anuma ülemisse ossa. Seda näitavad ka termomeetrid, alumine termomeeter näitab temperatuuri 4° C, ülemine aga sellest madalamat temperatuuri.

Joon. 208. 4-kraadise temperatuuriga vesi koguneb anuma alumisse ossa, madalama temperatuuriga vesi aga üles. Termomeetritele asetatud kummirõngad märgivad elavhõbedasammaste otsi termomeetris, s. o. mõõdetavaid temperatuure.

Täpselt samuti langeb talvel veekogude pinnal jahtunud vesi veekogu põhja, kuid ainult seni, kuni vesi pole muutunud külmemaks kui 4° C. Pärast seda lõpeb jahtunud vee langemine veekogu põhja. Külm vesi jääb veekogu pinnale. Tema temperatuur pidevalt langeb ning lõpuks vesi jäätub. Jääkihi alla jäävad aga



Joon. 209. Temperatuuri jaotus pealt külmunud veekogus.

0-kraadist kõrgema temperatuuriga veekihid (joon. 209). Jää juhib halvasti soojust ning takistab sellega vee edasist jahtumist. See võimaldab kaladel ja teistel veeloomadel elada talvel veekogude põhjas, kus temperatuur püsib 4° C piirides.

VASTUSEID.

Harjutus 12. 2. 12 mm võrra. 3. 4 T.

Harjutus 14. 4. 15 kG.

Harjutus 16. 5. 0,2 $\frac{G}{cm^3}$. 6. 0,8 $\frac{G}{cm^3}$. 7. 7,0 $\frac{G}{cm^3}$. 8. 21,5 $\frac{G}{cm^3}$.

Harjutus 17. 3. 0,8 $\frac{kG}{dm^3}$.

Harjutus 18. 1. 0,4 kG; 0,514 kG; 6,8 kG. 2. 120 cm^3. 3. 1,13 kG; ei. 5. $\approx$ 77 T. 6. 4 kG. 7. 1,5 cm^3. 8. 150 cm^2. 9. 80 m.

Harjutus 19. 2. 700 T. 3. 2,76 T. 5. 25,2 T.

Harjutus 21. 10. 0,42 $\frac{kG}{cm^2}$. 11. 50 000 $\frac{kG}{cm^2}$.

Harjutus 22. 3. 120 T. 4. 45 kG; 1 cm võrra.

Harjutus 23. 1. 1124,7 $\frac{kG}{cm^2}$. 2. 136 $\frac{G}{cm^2}$. 4. 40 $\frac{G}{cm^2}$. 5. 60 $\frac{G}{cm^2}$; 48 $\frac{G}{cm^2}$; 816 $\frac{G}{cm^2}$; 6. 849,75 T. 7. 1,08 T.

Harjutus 24. 7. 2 cm võrra.

Harjutus 25. 5. 158 G.

Harjutus 26. 6. 4 kG. 7. 2160 T. 8. $\approx$ 1 150 000 m^3; 1 030 000 T.

Harjutus 29. 2. 2 korda; 14 korda.

Harjutus 31. 5. $\approx$ 2900 kG.

Harjutus 32. 3. 10,3 m.

Harjutus 33. 4. $\approx$ 17 mm.

Harjutus 34. 1. 3 $\frac{kG}{cm^2}$. 2. 13 mm. 3. 4,5 $\frac{kG}{cm^2}$. 4. 1,3 $\frac{kG}{cm^2}$.

Harjutus 35. 5. 860 mm elavhõbedasammast. 6. 762 mm elavhõbedasammast.

Harjutus 36. 1. a) 50 cm^2; b) 62,5 cm^2; 3,7 cm^2; c) 1,25 m; 7,4 cm.

Harjutus 37. 3. 121 G võrra.

SISUKORD

I peatükk. **Algteadmisi füüsikalistest kehadest. Füüsikaliste suuruste mõõtmine.**

§ 1. Mida uurib füüsika 3
§ 2. Füüsika ja tehnika 4
§ 3. Aine kolm olekut 6
§ 4. Mõõtmised 9
§ 5. Meetrisüsteem 10
§ 6. Pikkusmõõdud 10
§ 7. Pikkuste mõõtmine 12
§ 8. Nihkkaliiber 16
§ 9. Mõõtmistäpsus 18
§ 10. Laboratoorne töö nr. 1. Pikkuste mõõtmine 21
§ 11. Laboratoorne töö nr. 2. Traadi diameetri mõõtmine 21
§ 12. Pindalade mõõtmine 22
§ 13. Ruumalade mõõtmine 24
§ 14. Mensuurid 28
§ 15. Laboratoorne töö nr. 3. Anuma mahu ja tahke keha ruumala mõõtmine mensuuriga 29
§ 16. Jõud 30
§ 17. Raskusjõud. Keha kaal 33
§ 18. Vertikaalsiht. Püstlood 34
§ 19. Horisontaalsiht. Vaaderpass ja vesilood 35
§ 20. Laboratoorne töö nr. 4. Pinna seadmine horisontaalseks vaaderpassi või vesiloe abil ja esemete vertikaalsuse kontrollimine püstloe abil 37
§ 21. Kaaluühikud 38
§ 22. Jõudude mõõtmine 39
§ 23. Vedrudünamomeeter 40
§ 24. Laboratoorne töö nr. 5. Dünamomeetri gradueerimine ja jõudude mõõtmine 43
§ 25. Jõudude graafiline kujutamine 43
§ 26. Kaalud. Kehade kaalumine 44
§ 27. Kaalude liigid 46
§ 28. Kaaluvihid 48
§ 29. Kaalumise reeglid 49
§ 30. Laboratoorne töö nr. 6. Kaalumine kangkaaludega 50
§ 31. Erikaal 51

§ 32. Laboratoorne töö nr. 7. Erikaalu määramine 54
§ 33. Teisi mõõduühikuid erikaalude mõõtmiseks 54
§ 34. Keha kaalu ja ruumala arvutamine erikaalu järgi 55
§ 35. Mahukaal 57
§ 36. Keha mass ja kaal 59

II peatükk. **Tahkete kehade omadused.**

§ 37. Elastsus ja plastilisus 61
§ 38. Rõhumisjõud ja rõhk 65
§ 39. Rõhu tähtsus tehnikas 67

III peatükk. **Vedelike omadused.**

§ 40. Vedelike voolavus 72
§ 41. Rõhu edasiandmine vedelikkudes. Pascali seadus 73
§ 42. Hüdrauliline masin 75
§ 43. Vedeliku rõhk anuma põhjale ja seintele 77
§ 44. Anuma põhjale ja seintele mõjuva rõhu arvutamine . . . 78
§ 45. Rõhk vedeliku sees 80
§ 46. Tuukriülikond 83
§ 47. Ühendatud anumad 85
§ 48. Lüüsid 87
§ 49. Vedeliku mõju temasse asetatud kehale 90
§ 50. Arhimedese seadus 91
§ 51. Kehade ujumine 95
§ 52. Laboratoorne töö nr. 8. Kehade ujumine vedelikus 99
§ 53. Kehade ujumise sõltuvus keha ja vedeliku erikaalust . . 99
§ 54. Laevade ujumine 101
§ 55. Uppunud laevade ülestõstmine. Pontoonid 102
§ 56. Areomeetrid 105

IV peatükk. **Gaaside omadused.**

§ 57. Gaaside kokkusurutavus 109
§ 58. Rõhu edasiandmine gaasides. Pascali seadus 110
§ 59. Õhutihenduspump 113
§ 60. Õhuhõrenduspump 114
§ 61. Gaaside kaal. Gaaside erikaal 116
§ 62. Õhurõhk 116
§ 63. Torricelli katse. Õhurõhu mõõtmine 119
§ 64. Baromeeter 120
§ 65. Aneroidbaromeeter 123
§ 66. Õhurõhk mitmesugustel kõrgustel 124
§ 67. Kolbpump 126
§ 68. Veevärgi ehitus 127
§ 69. Manomeetrid 129
§ 70. Hüdrauliline press 131
§ 71. Arhimedese seadus gaaside kohta 134
§ 72. Lendamine õhus 135

V peatükk. **Algteadmisi aine ehitusest.**

§ 73. Aine molekulaarne ehitus 140
§ 74. Molekulaarjõud 141
§ 75. Molekulide liikumine 142

VI peatükk. **Algteadmisi soojusnähtustest.**

§ 76. Soojusnähtused 146
§ 77. Kehade soojuspaisumine 146
§ 78. Temperatuur 150
§ 79. Termomeetri ehitus 150
§ 80. Meditsiiniline termomeeter 153
§ 81. Maksimaal- ja minimaaltermomeetrid 154
§ 82. Kehade soojuspaisumise arvestamine tehnikas 156
§ 83. Soojuse levimine 159
§ 84. Soojusjuhtivus 160
§ 85. Konvektsioon 162
§ 86. Näiteid konvektsiooni kasutamisest tehnikas 164
§ 87. Kiirgamine 167
§ 88. Näiteid soojuse levimise kasutamisest praktikas 168
§ 89. Vee soojuspaisumise iseärasus 170

Vastuseid 172

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

ФИЗИКА
для 6 класса

Обложка С. Лийберг
На эстонском языке
Издательство «Валгус»
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja E. Randma
Kunstiline toimetaja H. Keigo
Tehniline toimetaja L. Kann
Korrektor M. Tihane

Ladumisele antud 15. VI 1965. Trükkimisele antud 21. VIII 1965. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 11,0. Arvestuspoognaid 10,11. Trükiarv 10 000. Tellimise nr. 5716. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2.

Hind 21 kop.

6—6

21 kop.

A-27200

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00429323 1