G. FALEJEV JA A. PJORÕŠKIN

FÜÜSIKA

6.

KLASSILE

RK
PEDAGOOGILINE KIRJANDUS

Sauas

A-17567

G. FALEJEV JA A. PJORÕŠKIN

FÜÜSIKA

ÕPIK
SEITSMEKLASSILISE KOOLI JA KESKKOOLI
VI KLASSILE

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"
TALLINN 1949

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU
~~ARHIIVKOGU~~

Sissejuhatus.

Sõna «füüsika» tuleneb kreekakeelsest sõnast *physis,* mis tähendab l o o d u s. Vanal ajal nimetati sõnaga füüsika kõike, mis oli teada loodusest. Kui need teadmised tugevasti kasvasid, eraldati füüsika üksikud osad omaette teadusteks. Nii näiteks sai õpetus loomadest zooloogia aineks; õpetus taimedest botaanika, õpetus maakoorest geoloogia aineks jne. Teadusi, mis uurivad loodust, nimetatakse nüüdsel ajal loodusteadusteks. Nende hulka kuulub ka füüsika.

Mis on füüsika uurimisaineks?

Looduses oleleb väga suur arv mitmesuguseid esemeid. Füüsikas nimetatakse iga eset füüsiliseks kehaks. Vaadeldes tähelepanelikult füüsilisi kehi, märkame erilise raskuseta, et nende kehade juures toimub mitmesuguseid muutusi. Kui tuua sooja tuppa tükk jääd, siis sulab see. Muutunud veeks, muutis jää oma omadusi — kõvadust, kuju. Kuumutamisel hakkab vesi teekannus keema, ja kui vett kaua keeta, siis muutub see kõik auruks. Aurul on juba teised omadused kui veel, aur on liikuv ja hajub kergesti. Vabastame käest kivi, see kukub maha. Looduses toimuvad muutused kõikjal: hommikul tõuseb päike horisondi kohale — ilm muutub valgemaks, öise jaheduse asemele asub päikesepaistelise päeva soojus. Suve asemele saabuvad sügis ja talv — soe selge ilm vahetub külma ja vihmase ilmaga.

Igasuguseid muutusi, mis toimuvad füüsiliste kehadega, nimetatakse nähtusteks. Nende nähtuste uurimine ongi füüsika ülesanne.

Füüsika avastusi kasutatakse teistes loodusteadustes ja tehnikas.

Eriline tähtsus on füüsika ja tehnika vahelisel seosel. Tööpinkide töö tehaseis, veevärk, õhusõit, telefon, raadio — kõik need tehnika saavutused põhjenevad avastusil, mis on tehtud füüsikas.

Tehnika aga, varustades füüsikat täpsemate riistade ja masinatega, aitab füüsikal lahendada üha uusi ning uusi ülesandeid ja sageli esitab talle ka ülesandeid loodusnähtuste uurimisel.

Füüsika ja tehnika sammuvad oma arengus käsikäes. Inimeste vajadused esitavad üha uusi ülesandeid nii füüsikale kui tehnikale.

Meie maal, sotsialismi maal, maal, kus töötajad ise on peremehed, on teaduse ja tehnika osatähtsus väga suur. Teaduse ja tehnika saavutusi kasutatakse meie maal mitte kapitalistide rikastamiseks, nagu see esineb näiteks Ameerikas ja Inglismaal, vaid nad teenindavad töötajate huve, parendavad nende elu. Varustunud teadmiste ja uue tehnikaga, ehitasid Nõukogudemaa töötajad Dneprogesi, Magnitogorski, tohutu suured traktori- ja autotehased ning palju muud.

Riigi rahvamajanduse ülesehitamisel ning tema kaitsemisel vaenlaste vastu kuulub nii nüüd kui ka edaspidi nõukogude füüsikuile mitte väike teene.

Meie maa teadlased, leidurid ja tehnikud lõid koos kõigi töötajatega sellised esmaklassilised relvad, mille abil Nõukogude armee meie maa suure juhi J. V. Stalini juhtimisel purustas inimkonna julma vaenlase — hitlerliku Saksamaa.

Õppides koolis füüsikat hästi tundma, saate te teadmisi, mis aitavad teil edaspidi saada teadlasteks, inseneridеks, tehnikuteks, üldse haritud inimesteks, millist elukutset te ka ei valiks. Te hakkate kõigest sellest teisiti aru saama, mis toimub meid ümbritsevas looduses, ja sellest, mis on loodud inimese tööga.

I peatükk.

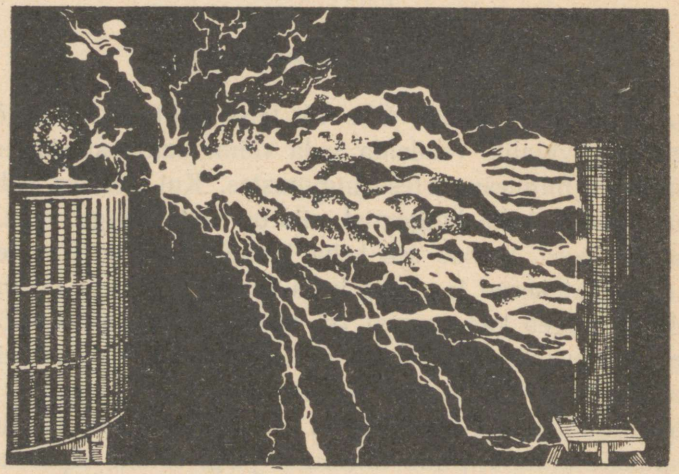
Lihtsaimad mõõtmised.

1. Vaatlus ja katse. Ühe või teise nähtuse tundmaõppimiseks on vajalik vaadelda seda võimalikult sagedamini ja võimalikult mitmesugustes tingimustes. Kui näiteks põhjalikumalt uurida keha langemist, siis on sellest liiga vähe, kui näha üks kord, kuidas see keha langeb. On soovitav teada, kas on vahet kerge ja raske keha langemisel, kas on vahet, kui keha langeb kas suurest või madalast kõrgusest. Kõigile neile küsimustele võime vastata, kui viskame üles kergeid ja raskeid kehi ja kui laseme neil langeda mitmesugustest kõrgustest. Muutes tingimusi, milles üks või teine nähtus toimub, korraldame katseid, mille tulemuste järgi saame täpse kujutluse asetleidvast sündmusest. Nende katsete korraldamisega me nagu esitaksime loodusele küsimusi, millele saame vastuse, vaadeldes sooritatud katsete tulemusi.

Paljusid nähtusi, näiteks vee soojenemist, kivi langemist, pillikeele helisemist, kunstlikku välku (joon. 1) jne. saame õppida tundma katsete kaudu, korraldades neid nii tihti kui vaja ja neis tingimustes, millistes vaatlemine on kõige sobivam. Teisi nähtusi, nagu: Päikese varjutus, silmapiiri värvumine punaseks päikese tõusul ja loojangul ning rida teisi nähtusi, ei saa me kutsuda esile oma soovi järgi. Neid nähtusi olema sunnitud tundma õppima, vaadeldes neid võimalikult sagedamini neis tingimustes, milles nad toimuvad.

Kuid füüsikas mitte ainult vaadeldakse ja uuritakse, kuidas looduses üks või teine nähtus toimub, vaid püütakse ka seletada, miks mingi nähtus just nii toimub ja mitte teisiti.

2. **Mõõtmised.** Kui uurida kergete ja raskete kehade langemist, tuleb meil üksteisega võrrelda nende kehade kaalusid; täpselt samuti, uurides kivi langemist mitmesuguselt kõrguselt, tuleb meil üksteisega võrrelda neid kõrgusi, võrrelda aja-



Joon. 1. Laboratooriumis tekitatud kunstlik välk.

vahemikke, mille jooksul kivi langeb ühelt või teiselt kõrguselt. Et omavahel võrrelda mitmesuguseid kaalusid, mitmesuguseid kõrgusi jne., selleks on vaja õppida neid mõõtma.

Mõõta mingit suurust — tähendab võrrelda teda teise sama liiki suurusega, mis on võetud mõõduühikuks.

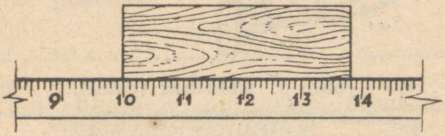
Ütleme, et meil on vaja mõõta lauda. Mõõduühikuks võtame meetri. Oletame, et mõõtmisel mahub meeter laua pikkusesse kaks korda. Mõõtmise tulemust võib üles tähendada nii:

laua pikkus = 2 m.

Tulemuste ülestähendamisel kirjutame arvu järele mõõduühiku nimetuse.

Kui me jätaksime ära mõõduühiku nimetuse ja kirjutaksime lihtsalt: laua pikkus = 2, siis oleks täiesti arusaamatu, mis selle ülestähenduse all tuleb mõtelda. Väljenduks ju sama pikkus mõõdetuna teistes ühikutes ka teises arvus: sentimeetreis — arvuga 200, detsimeetreis — arvuga 20 jne.

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



Joon. 2. Mõõtmine mõõdupuuga.

3. Mõõdupuu. Väikeste pikkuste mõõtmiseks kasutatakse mõõtjoonlauda ehk, nagu seda sageli nimetatakse, mõõdupuud.

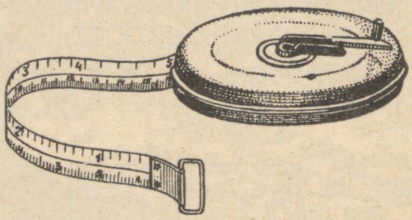
Eseme pikkuse mõõtmisel asetatakse mõõdupuu mõõdetavale esemele (joon. 2) nii, et mõõdupuu nullkriips [1] langeks ühte punktiga, kust algab mõõtmine. Jaotuskriips, mis ühtib eseme teise punkti või otsaga, näitab mõõdetavat suurust. Mõnikord on mõõtjoonlaudade skaalajaotised 0,5 mm, sagedamini aga 1 mm. Millimeetri kümnendikosi tuleb hinnata silma järgi. Resultaadid tähendatakse üles kümnendmurdudes. Näiteks võib joonisel 2 tähendatud eseme pikkust üles tähendada:

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

3,8 cm. Üldse tuleb mõõtmistel teha üleskirjutusi kasutades ainult kümnendmurde.

4. Mõõtlint. Tubade ja väikeste maatükkide mõõtmisel ning paljudeks muudeks mõõtmisteks kasutatakse praktikas mõõtlinti — ruletti. Mõõtlint kujutab enesest tugevast riidest või terasest linti, millel on meetri- ja sentimeetrijaotised ja mis on karpi kokku rullitud (joon. 3).

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



Joon. 3. Mõõtlint (rulett).

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

1) mõõdupuu ebaõigest asetusest mõõdetava eseme suhtes (joon. 4) ja

2) mõõtmise tulemusi lugeva silma ebaõigest asetusest (joon. 5).



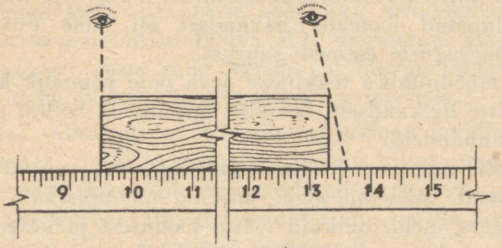
Joon. 4. Mõõtjoonlaua ebaõige asetus.

Harjutus.

Vaadelge joon. 5 ja näidake, missuguse silmaasetuse juures toimub lugemine õigesti. Kuidas tuleb silm asetada lugemise juures?

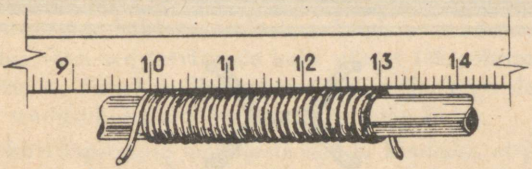
Joonistage vihku mõned sirgjooned ja mõõtke nende pikkused mõõtjoonlauaga, hinnates kümnendik-osi silma järgi.

Märkige oma resultaadid üles. Pärast seda paluge naabrit samu jooni mõõta. Võrrelge mõlemate mõõtmiste tulemusi.



Joon. 5. Silma õige ja ebaõige asetus.

6. Laboratoorne töö nr. 1. T ö ö e e s m ä r k — **õppida mõõtma peenikeste traatide jämedust.**



Joon. 6. Kuidas mõõdetakse peenikese traadi diameetrit mõõtjoonlauaga.

M a t e r j a l e t ö ö k s: peenikese traadi tükke, ümmargune pliiats, mõõtjoonlaud.

1. Mähkida tihedalt pliiatsi ümber 20—30 keerdu traati (joon. 6).
2. Mõõta mähitud pliiatsiosa pikkus.

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

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

Saadud mõõtmiste tulemuste järgi arvutada traadi keskmine jämedus.

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

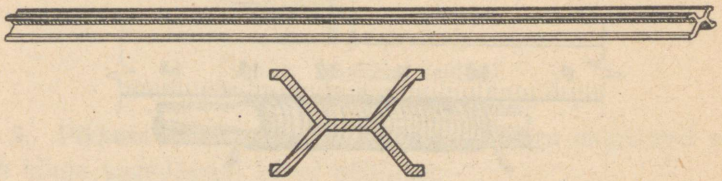
Ürgaegse hurtsiku ehitamisel, primitiivse relva ja lihtsa rõiva valmistamisel tapetud loomade nahkadest oli meie esivanemail vaja määrata mitmesuguste esemete suurusi.

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

Millega siis inimesed võrdlesid mõõdetavaid esemeid?

Kust võtsid inimesed algul ühikuid mõõtmiseks? Arusaadavalt võis ürginimene neid ühikuid võtta loodusest ja kõigepealt võis ta kasutada oma keha mõõteid.

Kuni meie ajani on jäänud nimetused sellistest mõõtudest, nagu küünar, arssin (võrdne ühe sammuga), jalg (inglise keeles *foot* — jalg), graan (prantsuse keeles *grain* — tera) jt.



Joon. 7. Meetri etaloon (algmeeter).

Mõistagi anti hilisemail aegadel nendele mõõtudele kindlad suurused, kuid nimetused osutavad nende tekkimisele.

Vanal Venemaal oli enne revolutsiooni arssin[1], süld[2], jalg, veel varem küünar. Inglismaal oli foot (loe: fut), Prantsusmaal toise (loe: tuaaz), liin jne. Rahvusvahelises kaubanduslikus suhtlemises oli selline mitmekesisus mõõtudes ülimalt sobimatu.

Tuli alaliselt ühtedelt mõõtudelt üle minna teistele ja see üleminek oli mõnikord väga keerukas.

Mõte ühtse rahvusvahelise mõõdusüsteemi loomiseks tekkis ühenduses tööstusliku kapitalismi arenemisega.

Ent sobimatuist, kuid külgeharjunud mõõtudest pole kerge loobuda. Kogu maa üleminek uuele mõõdusüsteemile on suur sündmus.

---

[1] arssin = 71,1 cm.

[2] süld = 7 jalga = 2,1 m.

Sellised sündmused võivad kergesti toimuda ainult revolutsioonide ajal, millal varisevad kokku vana eluviisi alused ja ühes nendega ka paljud inimeste harjumused.

XVIII sajandi lõpul, Prantsuse kodanliku revolutsiooni ajal, mõõtis teadlaste komisjon Pariisi läbiva Maa meridiaani pikkust. Komisjon tegi ettepaneku võtta selle meridiaani üks neljakümnemiljondik osa pikkusemõõdu ühikuks ja nimetada see meetriks [1].

1799. aastal valmistati meetri esimene etaloon (näidis), niinimetatud „arhiivmeeter", selle järgi aga valmistati hiljem uusi meetri etaloone. Üks sellekujulistest plaatina-iridiumi varbadest (joon. 7) võeti 1888. aastal rahvusvahelise meetri prototüübiks, millel 1-meetrine pikkus on piiriteldud kahe peenikese joonega.

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

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

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

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

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

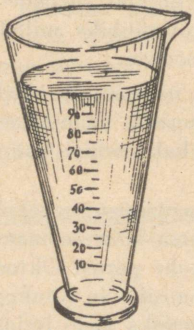
tellakse meetrit kui pikkust, mis on märgitud joontega rahvusvahelisel etaloonil ja mida säilitatakse Sévres'is (loe: seevr) Pariisi lähedal.

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

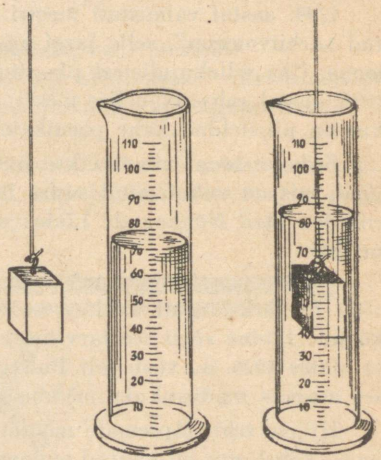
etaloon nr. 11 on võrdne 999,995 mm;
„ „ 28 „ „ 1000,005 mm.



Joon. 8.
Silindriline mensuur.



Joon. 9.
Kooniline mensuur.



Joon. 10—11. Tahke keha ruumala määramine.

8. Ruumalade mõõtmine. Ruumala ühikuks võetakse kuupide ruumalad, mille serva pikkused on 1 cm, 1 dm, 1 m jne. Sellised ühikud nimetatakse kuupsentimeetriteks (lühendatult cm^3), kuupdetsimeetriteks (dm^3), kuupmeetriteks (m^3).

Vedelate kehade ruumala mõõtmist toimetatakse eriliste anumate — mensuuride abil, millele on märgitud jaotused, mis näitavad teatud kriipsuni valatud vedeliku ruumala kuupsentimeetrites.

Mensuurid on silindrilised (joon. 8.) ja koonilised (joon. 9.).

Kui me hakkame mõõtma mensuuriga, peame eelkõige kindlaks määrama **mensuuri jaotuse väärtuse** kuupsentimeetreis.

Mensuuri jaotuse väärtus võib olla 1 cm^3, 2 cm^3 ja 5 cm^3.

Kasutades võtteid, mis on tuntud geomeetria kursusest, võib korrapäraste kehade joonmõõteid mõõtes leida nende ruumalad.

Mensuuriga võib mõõta ka igasuguse kujuga tahkete kehade ruumala. Selleks valame mensuuri nii palju vett, et võiksime mõõdetava keha täielikult asetada vette (joon. 10). Märkinud jaotuse, milleni ulatub veepind, laseme mensuuri mõõdetava keha [1]. Seejuures tõuseb veepind (joon. 11); vesi ja mensuuri asetatud keha võtavad enda alla enam ruumi, kui võttis ainult vesi. Veepinna taseme muutuse järgi mensuuris võime leida vette lastud keha ruumala.

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

Katseriist ja materjalid: mensuur, kogu mitmesuguseid kehi.

1. Valanud mensuuri vett teatud tasemeni, määrake ruumala, mille on võtnud enda alla vesi (joon. 10).

Jaotuste lugemisel pidada meeles, kuidas tuleb asetada silm, et ei tekiks viga.

2. Lasta mensuuri peenikese niidi otsas ese, mille ruumala on vaja kindlaks määrata (joon. 11). Veepindade vahe annab keha ruumala suuruse.

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

Harjutusi.

1. Valmistada papist või vineerist 1 cm^3 ja 1 dm^3.
2. Valmistada katseklaasist valmis mensuuri abil kehade ruumalade määramiseks mõõtmisanum.
3. Mõõta teie mõõduriista abil teeklaasi, supi- ja teelusikate mahutavus.

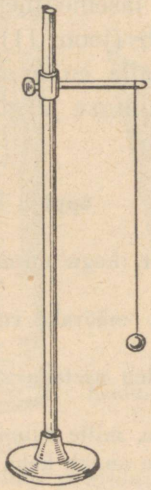
---

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

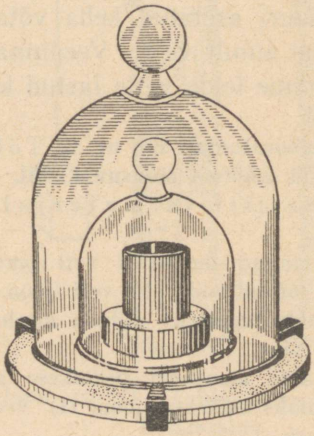
4. Määrata, kui suurele ruumalale vastavad kõige väiksemad mensuuri jaotused (joon. 9 ja 10).

5. Mille poolest erinevad silindrilise mensuuri jaotused samasugustest koonilise mensuuri jaotustest? Kuidas seletada seda erinevust?

10. Keha kaal. Laseme kivi käest lahti, ta langeb maha. Sama juhtub ka iga muu kehaga, kui seda miski ei hoia.



Joon. 12.



Joon. 13. Kilogrammi etaloon.

Riputame keha niidi otsas aluse külge, ta ei lange, ent niit tõmbub seejuures pingule (joon. 12.).

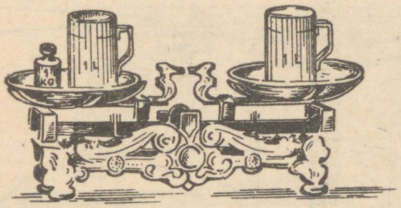
Kui keha takistada langemast, asetades tema alla aluse, siis rõhub keha seda alust, mis on kerge kindlaks teha, kui panna käele mingi ese.

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

Kõige kirjeldatu põhjuseks on Maa külgetõmbejõud — raskusjõud. Jõudu, millega keha rõhub alusele või pingutab

niiti, mille külge ta on riputatud, nimetatakse kaaluks. Kuna Maa tõmbab enda poole kõiki kehi, siis omavad kaalu ka kõik kehad.

11. Kaalu meetermõõdustik. Meetermõõdustiku süsteemis on kaalu mõõduühikuks võetud vihi raskus, mida nimetatakse kilogrammiks (lühendatult kg). Selle vihi etaloon on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist ja hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büroos (Joon. 13). Selle koopiad on olemas kõigis kultuurriikides.



Joon. 14. Ühe liitri vee kaal on 1 kg.

Mõõtmised näitavad, et kilogramm on väga suure täpsusega võrdne 1 liitri puhta vee kaaluga 4° C temperatuuri juures (joon. 14), see täpsus on küllaldane paljudeks praktilisteks eesmärkideks.

Ühte tuhandikku osa kilogrammist nimetatakse grammiks (lühendatult g), ühte tuhandikku osa grammist aga milligrammiks (lühendatult mg).

Kuna ühes liitris on puhast vett 1000 cm^3, siis kaalub üks kuupsentimeeter puhast vett 4° C juures 1 gramm.

Tuhat kilogrammi moodustab tonni (lühendatult t).

Kuna 1000 kuupdetsimeetrit võrdub 1 kuupmeetriga, siis on tonn ühe kuupmeetri puhtavee kaal 4° C juures.

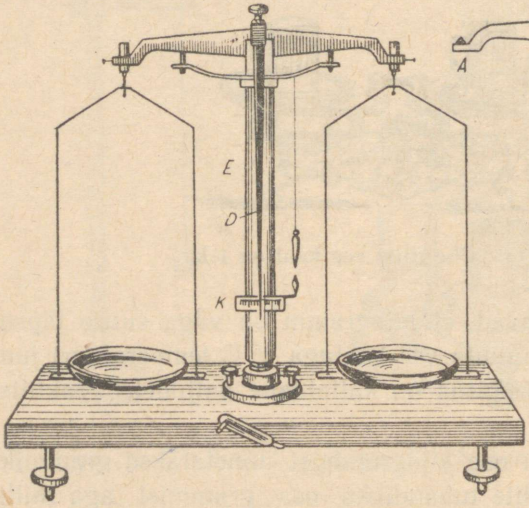
Tegelikus elus tarvitatakse sageli ühikut:

1 tsentner = 100 kilogrammi (kg).

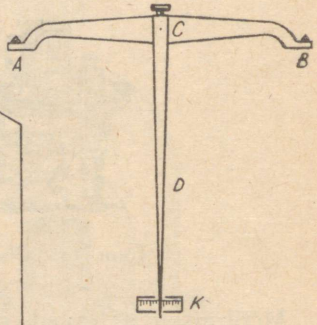
Harjutusi.

1. Mitu grammi on 2,5 kg?
2. Mitu grammi kaalub 125 cm^3 vett?
3. Mitu kilogrammi on 3784 g?
4. Mitu grammi on ühes tonnis?
5. Kui palju kaalub 1 m^3 puhast vett?

12. Kaalud. Kehade kaalu mõõtmiseks kasutatakse kaalusid. Laboratoorses praktikas on enam kasutatavad niinimetatud kangkaalud (joon. 15). Selliste kaalude peamiseks



Joon. 15. Kangkaalud.

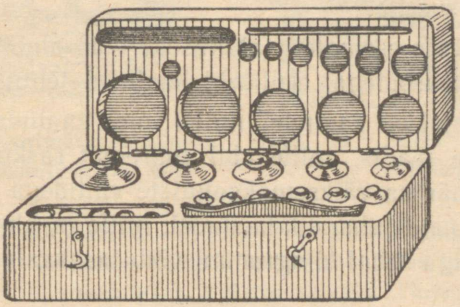


Joon. 16. Kaalukang.

osaks on kaalukang (joon. 16). Kaalukangi keskel ja otstel on kolmetahused terasprismad *A*, *B*, *C*. Keskmine prisma *C* on pöördud servaga allapoole. Selle servaga toetub kaalukang alusele *E* (joon. 15). Otsmised prismad *A* ja *B* on pöördud servaga ülespoole.

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

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



Joon. 17. Väiksemad vihid.

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

13. Väiksemad kaaluvihid. Kaalude juures on kehade kaalumiseks vihtide kogumid — väiksemad kaaluvihid (joon. 17).

Füüsikakabinetis võib leida vihtide kogumeid järgmisel kujul:

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

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

Kastis, milles on vihid, asetsevad harilikult ka väikesed tangikesed-pintsetid, mida kasutatakse vihtide võtmiseks ja kaaludele asetamiseks.

14. Kaalude liigid. Mitmesugusteks eesmärkideks kasutatakse erineva konstruktsiooniga kaalusid. Joonisel 14 on kujutatud letikaalud. Need kaalud on võrdlemisi vähetundlikud ja neid võib kasutada ainult jämedamateks kaalumisteks. Teaduslikeks kaalumisteks kasutatakse kaalusid, millel võib kaaluda kuni ühe kümnendiku milligrammi täpsusega.

Mõningatel juhtudel osutub ka see täpsus mitteküllaldaseks. Siis kasutatakse erilise ehitusega kaalusid, millel võib kaalumist teostada kuni 0,000001 mg (ühe miljondiku milligrammi) täpsusega.

Väga raskete esemete kaalumiseks võib muidugi teha suured kaalud kaussidega. Selliseid kaalusid tehtigi vanasti.

Nüüdsel ajal on kaaludel, millel tuleb kaaluda raskeid esemeid, selline seadis, mille abil suuremat raskust võib tasakaalustada märksa väiksemakaaluliste vihtidega. Näiteks kaalutakse vaguneid tuhandik-kaaludel, mille mehhanism on ehitatud nii, et iga tuhat kilogrammi võib tasakaalustada 1 kg-se vihiga.

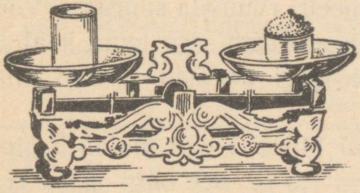
15. Kaalumise reeglid. Kaalude hoidmiseks ja õigete tulemuste saavutamiseks on kaalumise juures vajalik pidada silmas järgmisi juhiseid:

1. Kaalukaussidele ei või asetada midagi märga ega musta.
2. Kaalutav ese asetatagu vasakule kaalukausile, vihid aga paremale, sest nii on mugavam vihte kaalukausile panna.
3. Vihid asetsegu kas kaalukausil või kasti pesades; teisi kohti nende jaoks ei tohi olla.
4. Vihte ei võeta paljaste kätega, vaid ainult tangikestega.
5. Kaalumise algul tuleb kontrollida osuti asendit skaalal.
6. Kaalusid tuleb käsitada ettevaatlikult. Vihid ja kaalutav ese tuleb asetada kaalukausile «pehmelt».

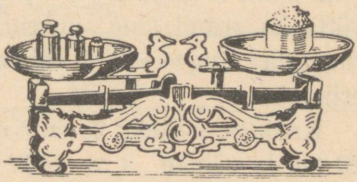
16. Laboratoorne töö nr. 3. Töö eesmärk — **õppida määrama mitmesuguste kehade kaalu.**

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

1. Määrata mitmesuguste kehade kaal, pidades rangelt kinni kaalumisjuhiseist. Tulemused märkida tabelisse.
2. Kaalumine ebaõigete kaaludega.



Joon. 18. Tareerimine. Kaalutav ese tasakaalustati taara abil.



Joon. 19. Taara tasakaalustati vihtidega.

On olemas kaalumisviis, mille abil võib võrdlemisi täpselt määrata kindlaks keha kaalu korrast äraolevate (ebaõigete) kaaludega. Seda kaalumisviisi nimetatakse tareerimisviisiks. Tareerimisviisil kaaludes asetatakse vasakule kaalukausile ese, mille kaalu tahetakse kindlaks määrata, paremale aga pannakse teeklaas või purk, millesse puistatakse kuiva liiva või peeni haavleid, seni kui kaalud tasakaalustuvad.

Siis võetakse ese vasakult kaalukausilt ja asemele pannakse vihid, et nad tasakaalustaksid taara kaalu (joon. 19). Nende vihtide kaal on võrdne eseme kaaluga. Mõtelge järele, miks on see nii!

Asetada vasakule kaalukausile mingi väike ese (metallplaadike). Seega rikutakse kaalukausside tasakaal — kaalud muutuvad „ebaõigeiks". Teostada mingi keha kaalumine korrast äraolevate kaaludega tareerimisviisil.

Võrdluseks määrata sama keha kaal õigetel kaaludel.

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

Kui mitmesuguseist materjalidest valmistada ühesugused

(ruumalaga 1 cm^3) kuubikud, siis on nende kaal erinev. Nii kaalub 1 cm^3 rauda 7,8 g, 1 cm^3 alumiiniumi 2,7 g, 1 cm^3 puud 0,5 g, 1 cm^3 korki 0,24 g, 1 cm^3 vett 1 g.

Nimetame **1 kuupsentimeetri aine kaalu grammides antud aine erikaaluks.** Siis väljendub raua erikaal arvuga 7,8, alumiiniumil arvuga 2,7, puul 0,5 jne.

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

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

Et oleks näha, et meil on siin tegemist aine erikaaluga, märgime saadud tulemuse järgmiselt: $7{,}3 \frac{g}{cm^3}$. Nii tähistatakse erikaalu.

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

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

Lühidalt võib selle reegli kirjutada üles ka nii:

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

Seda reeglit võib üles märkida veel lühemalt. Selleks lepime kokku tähistada viimases avaldises üksikud sõnad tähtedega. Peame need tähistused meeles:

d — erikaal;
P — keha kaal grammides;
V — keha ruumala kuupsentimeetrites.

Meie erikaalu määramise reegel märgitakse tähtavaldises nii:

$$d = \frac{P}{V}.$$

Seda tähelist märget nimetatakse sageli erikaalu v a l e m i k s.

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

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

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

Kõik mõõtmise tulemused märkida tabelisse:

Aine	Kaal g-des	Ruumala cm^3-tes	Kui palju kaalub 1 cm^3	Erikaal
Piiritus				
Tükk rauda				
„ klaasi				
„ puud				

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse aine erikaaluks?
2. Kuidas tähistatakse erikaalu?
3. Kuidas võib erikaalu määrata katse abil?

19. Erikaalude tabel.

Tahked kehad		Vedelad kehad	
Plaatina	21,4	Puu	0,5—0,7
Kuld	19,3	Elavhõbe	13,6
Seatina	11,3	Väävelhape	1,8
Hõbe	10,5	Piim	1,03
Vask	8,9	Vesi	1,0
Raud, teras	7,8	Merevesi	1,03
Inglistina	7,3	Linaseemneõli	0,93
Tsink	7,1	Petrooleum	0,8
Graniit	2,7	Nafta	0,76
Alumiinium	2,7	Piiritus (etüül-)	0,8
Klaas	2,4—2,6	Eeter (etüül-)	0,71
Jää (0° juures)	0,9	Bensiin	0,68

Harjutusi.

1. Rauatükk ruumalaga 1000 cm^3 kaalub 7800 g. Kui suur on raua erikaal?
2. Määrata klaasi erikaal, kui 2000 cm^3 klaasi kaalub 5,2 kg.
3. 500 cm^3 petrooleumi kaalub 400 g. Leida petrooleumi erikaal.
4. Mitu korda on elavhõbe raskem veest, mis on võetud sama ruumala suuruses?
5. Mis on raskem — tükk inglistina või tsinki, kui tükkide ruumalad on võrdsed?
6. Mitu korda on alumiinium kergem terasest?

20. Kuidas keha ruumala ja aine erikaalu järgi määrata keha kaalu. Vee kaalu arvutamine on kõige lihtsam. Vee erikaal on 1 $\frac{g}{cm^3}$. Iga kuupsentimeeter vett kaalub 1 g; 15 cm^3 vett kaalub 15 g, 256 cm^3 kaalub 256 g jne.

Arv, mis väljendab vee ruumala kuupsentimeetrites, on võrdne arvuga, mis väljendab ta kaalu grammides.

Lahendame seesuguse ülesande:

1. Vasetüki ruumala on 50 cm^3. Kui suur on selle tüki kaal?

Lahendus. 1 cm^3 vaske kaalub 8,9 g (leiame erikaalude tabelist), aga 50 cm^3 kaalub 50 korda rohkem, s. o. $8{,}9 \times 50 = 445$ g.

2. Kui palju kaalub 200 cm^3 piiritust?

Lahendus. 1 cm^3 piiritust kaalub 0,8 g, aga 200 cm^3 kaalub 200 korda rohkem: $0{,}8 \times 200 = 160$ g.

Neis näiteis korrutasime keha kaalu leidmiseks aine erikaalu keha ruumalaga.

Et leida keha kaalu, tuleb erikaal korrutada ruumalaga.

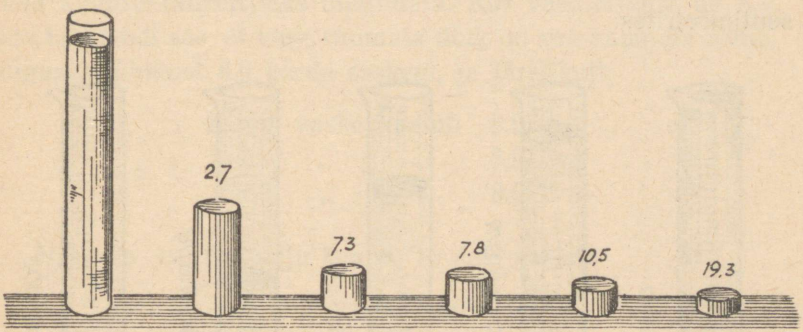
Lühidalt võib seda reeglit üles tähendada järgmiselt:

keha kaal = erikaal × ruumala.

Kui ruumala on antud kuupsentimeetrites, siis saadakse kaal grammides.

Harjutusi.

1. Määrata seatinakängu kaal, kui ta ruumala on 2000 cm³.
2. Määrata 120-kuupsentimeetrise ruumalaga rauatüki kaal.
3. Malmivalatise mudeli ruumala on joonise järgi 2350 cm³. Malmi erikaal on 7,3. Kui suur on valatise enda kaal?
4. Leida 5 l petrooleumi kaal.
5. Kuidas aine erikaalu ja ruumala järgi määrata keha kaalu?



Joon. 20. Ühesuguse kaaluga erinevast ainest silindrite ruumalad.

21. Kuidas keha kaalu ja selle erikaalu järgi määrata ruumala. Kõige lihtsam on kaalu järgi määrata vee ruumala. 1 g vett võtab enda alla 1 cm³ ruumala; 5 g vett — 5 cm³; 20 g — 20 cm³ jne.

N ä i d e 1. Määrata 390 g-se rauatüki ruumala.

L a h e n d u s. Kuna raua erikaal on $7{,}8\ \frac{g}{cm^3}$, siis iga 7,8 g rauda võtab enda alla 1 cm³.

390 g rauda võtab enda alla nii mitu kuupsentimeetrit, mitu korda 7,8 g mahub 390 g-sse; 390 : 7,8 = 50. Rauatüki ruumala on 50 cm³.

N ä i d e 2. Millise ruumala võtab enda alla 3200 g petrooleumi?

L a h e n d u s. Petrooleumi erikaal on 0,8; arutelles samuti

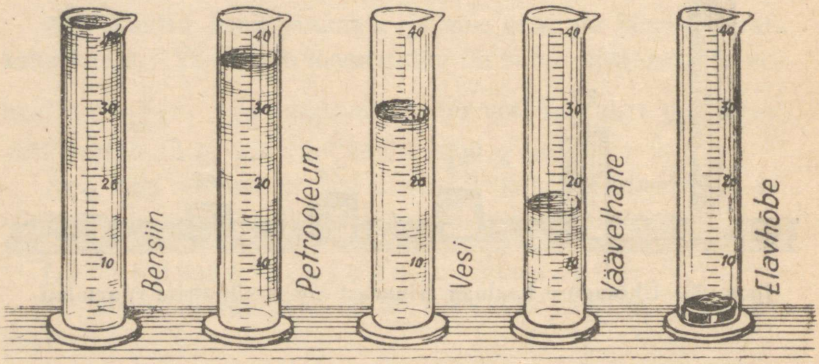
nagu esimeses näites, leiame, et petrooleumi ruumala on $3200 : 0{,}8 = 4000$ cm³ ehk 4 l.

Et määrata keha ruumala, tuleb ta kaal jagada erikaaluga.

Lühidalt märgime selle reegli järgmiselt:

$$\text{ruumala} = \frac{\text{kaal}}{\text{erikaal}}.$$

Kui kaal on antud grammides, siis ruumala saadakse kuupsentimeetrites.



Joon. 21. Mitmesuguste vedelikkude ruumalad võrdse kaalu juures (vt. harjutus 6).

Harjutusi.

1. Kui suur on vasetüki ruumala, mille kaal on 267 g? 30 cm³
2. Tinakuul kaalub 20 g. Kui suur on ta ruumala?
3. Millist ruumala omab 1 kg elavhõbedat?
4. Üks pang piima kaalub 12,36 kg. Mitu liitrit piima on panges?
5. Rauatüki kaal on 0,078 t. Leida selle ruumala.
6. Arvutada, millise kõrguseni tuleb bensiini asemele mensuuri valada piiritust. (Joon. 21. ühes lahendusega joonistada vihku.)
7. Kuidas keha kaalu ja aine erikaalu järgi määrata keha ruumala?

22. Milliseid mõõte kasutada ülesannete lahendamisel.

Meie teame juba, et 1 cm^3 vett kaalub 1 g;
1 dm^3 „ „ 1 kg;
1 m^3 „ „ 1 t.

Seda teades on kerge määrata ükskõik millise keha kaalu, kui ta ruumala on antud kuupdetsimeetrites, või kuupmeetrites, neid kuupsentimeetriteks muutmata. Kui vase erikaal on 8,9, siis tähendab see, et vase ruumala ühik on vee ruumala samasugusest ühikust 8,9 korda raskem, ja järelikult:

1 cm^3 vaske kaalub 8,9 g;
1 dm^3 „ „ 8,9 kg;
1 m^3 „ „ 8,9 t.

Näide 1. Kuipalju kaalub 10 dm^3 vaske?

Lahendus. 1 dm^3 vaske kaalub 8,9 kg;
10 dm^3 „ „ $8{,}9 \times 10 = 89$ kg.

Näide 2. Määrata 20 m^3 graniidi kaal.

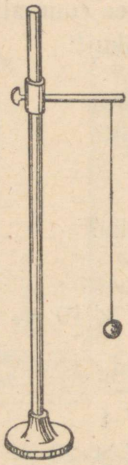
Lahendus. 1 m^3 graniiti kaalub 2,7 t
20 m^3 „ „ $2{,}7 \times 20 = 54$ t.

Kui keha ruumala on antud kuupsentimeetrites, siis teades keha aine erikaalu, on kerge avaldada ta kaalu grammides: kui aga ruumala on antud kuupdetsimeetrites, siis on ta kaalu lihtne avaldada kilogrammides; ruumala puhul, mis on avaldatud kuupmeetrites, on kaalu kerge avaldada tonnides.

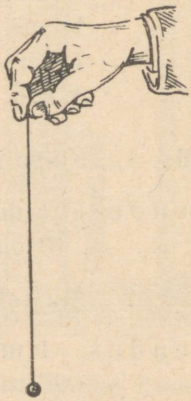
23. Vertikaalsiht. Kinnitame statiivile niidi, mille külge on riputatud väike koormus, ja pöörame tähelepanu niidi sihile (joon. 22). Koormus, tõmbudes Maa poole, pingutab niiti samas suunas, millises teda tõmbab külge Maa. Märkinud mingil viisil koormuse asendi, tõukame koormuse kõrvale. Pärast mõningat kõikumist võtab koormus endise asendi.

Sihti, mille võtab niit tema otsas rippuva koormuse mõjul, nimetatakse püst- ehk vertikaalsihiks, aga niiti ennast ühes tema külge seotud koormusega nimetatakse püstloeks (joon. 23).

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



Joon. 22.



Joon. 23. Püstlood.

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

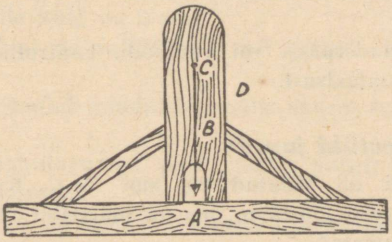
Harjutus.

Valmistada püstlood ja kontrollida sellega seina, lauajala ja muude esemete vertikaalsust.

24. Horisontaalsiht. Sihti, mis moodustab püstsihiga täisnurga, nimetatakse horisontaalsihiks. Asetame lauale fotoplaadi klaasi ja paigutame sellele väikese jalgratta-kuulikese.

On väga raske kuulikest asetada klaasile nii, et ta jääks samasse kohta, kuhu me ta asetasime, ega veereks klaasilt ühes või teises suunas. See tuleb sellest, et lauale asetatud klaas on peaaegu alati mõnevõrra kaldu. Kuulike veerebki kallakutpidi. Asetades klaasi alla tikkudest kiilukesi võib klaasi asetada nii, et kuulike ei veere. Sel juhul on klaas asetatud lauale täiesti horisontaalselt.

Horisontaalsiht on põrandail ja lagedel. Masinate alused peavad olema samuti horisontaalsed, et teatud masinaosi oleks võimalik asetada täiesti horisontaalselt.

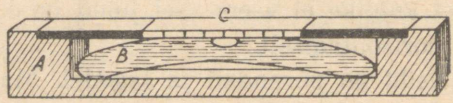


Joon. 24. Puusepa vaaderpass.

Ehitustöölised kasutavad horisontaalsihi kontrollimiseks niinimetatud puusepa v a a d e r p a s s i (joon. 24). Vaaderpass koosneb sirgest hööveldatud latist *A*, millele on täisnurga all kinnitatud lauake *B*. Piki lauakest, täisnurga all lati alumisele tahule, on joonestatud ristjoon. Selle sirge ülemise otsa kohal on kinnitatud püstlood *C*. Kui lati alus on horisontaalne, siis ühtib püstlood lauakesele joonestatud joonega.

Horisontaalsuse kontrollimiseks tarvitatakse veel ka teist riista — v e s i l o o d i (joon. 25). See riist koosneb puu- või metall-alusest *A*, mille ülemisele tahule on kinnitatud veidi kõverdatud klaastoru vedelikuga *B*. Vedelikku valatakse torusse niipalju, et sinna jääks väike õhumullike *C*. Lauakese alumise

tahu horisontaalse asendi puhul asetseb mullike täpselt toru keskel, kuhu on tõmmatud kriipsuke. Vesiloega varustatakse kõik riistad, mida on vaja asetada kohale täiesti horisontaalselt.



Joon. 25. Vesilood.

Harjutus.

Kasutades vaaderpassi või vesiloodi, kontrollida laua ja aknalaua pinna horisontaalsust.

Ülesandeid I peatüki juurde.

1. Mensuuri oli valatud 200 cm^3 vett. Kui mensuuri lasti rauatükk, tõusis vesi jaotiseni, mis on märgitud numbriga 250. Kui suur on raua ruumala?

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

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

4. Mitu korda on raudkuulike raskem samasuguse ruumalaga alumiiniumkuulikesest?

5. Mispärast tehakse dirižaabli, lennuki ja auto paljud osad mitte terasest, vaid duralumiiniumist, millel on samasugune vastupidavus kui teraselgi? (Duralumiiniumi erikaal on 2,7 $\frac{g}{cm^3}$).

6. Kaks ühesuguse ruumalaga metallitükki omavad erinevat kaalu. Kas metallide erikaal on võrdne? Millise metallitüki erikaal on suurem?

7. Milline 200-grammistest vihtidest on ruumalalt suurem: malmist, valgevasest või portselanist? (Portselani erikaal on 2,5 $\frac{g}{cm^3}$).

8. Mensuuri valatud veesamba kõrgus on 10 cm. Millise kõrgusega on samasuguse kaalu ja diameetriga klaas- ja tsinksambake?

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

10. Kas tugev inimene suudab tõsta üles 1 m^3 korki? (Korgi erikaal on 0,24 $\frac{g}{cm^3}$).

11. Kuipalju petrooleumi mahub kaalu järgi kaheliitrilisse purki?

12. Tükk metalli kaalub 540 g, selle tüki ruumala on 200 cm^3. Millisest metallist on see tükk?

13. Malmivalatise mudeli suurus on 2500 cm^3. Malmi erikaal on 7,3. Kui suur on valatise kaal?

14. Aine erikaalu määramisel leiti: aine ruumala — 200 cm^3, selle kaal — 1,78 kg. Kui suur on aine erikaal?

15. Kuipalju kaalub 1 meetri pikkune raudkepp, kui kepi ristlõige on ruut, mille külg on 2 cm?

16. Naftasisterni on valatud 200 m^3 naftat. Kui suur on selle nafta kaal?

17. Kuipalju kaalub raudplekk, mille suurus on 140 cm × 100 cm ja paksus 1 mm?

18. Millise mahutavusega peab olema pudel, et sellesse saaks valada 4 kg petrooleumi?

19. Kui suur on naftapaagi ruumala, millesse mahub 380 t naftat?

20. Kui palju on vaja 1000 t nafta vedamiseks raudteesisterne, kui iga sisterni ruumala (mahutavus) on 20 m^3?

21. Jääpank kaalub 0° juures 900 kg. Kui suur on ta ruumala? Kui suure ruumala võtab enda alla vesi, mis tekib, kui jää sulab ja vee temperatuur tõuseb kuni 4° C?

22. Veega ääreni täidetud purki lasti 1 kilogrammi raskune tükk vaske. Kuipalju vett voolas üle ääre?

23. Köis kannatab välja 200 kg-se koormuse. Kas võib sellise köiega tõsta teraspolti, mille ruumala on 0,5 m^3?

24. Klaasi mahub 3400 g elavhõbedat. Kui suur on klaasi mahutavus?

25. Piiritusega täidetud kolb kaalub 500 g. Sama kolb piirituseta kaalub 100 g. Leida kolvi mahutavus.

26. Üks kergematest metallidest — magneesium — on peamine kooste-osa sulamis, mida nimetatakse „elektronmetalliks" (leiab kasutamist lennukitööstuses). Selle sulami erikaal on 1,8 $\frac{g}{cm^3}$. Mitu korda on elektronmetallist valmistatud ese kergem niisama suurest terastootest?

II peatükk.

Tahked kehad.

25. Tahke keha põhiomadused. Kivitükk, raudmutter, puukera, terastrossi- või kanepiköiejupp, pliiatsikustutuskumm ja pliiats, erinedes üksteisest välise kuju ja paljude muude omaduste poolest, evivad ühist omadust: neil on teatud kuju.

Kõiki selliseid kehi, mis säilitavad oma kuju, nimetame tahketeks kehadeks.

See tahkete kehade omadus lubab neist valmistada mitmesuguseid esemeid, masinate osi, masinaid jne.

26. Tahke keha kuju muutumine. Oma igapäevases elus võime sageli täheldada, et ka tahke keha teatud tingimustes muudab oma kuju.

Kummitükki näiteks võib muljuda, välja venitada, painutada, kokku keerata ja isegi puruks rebida, kuid selleks on vaja pingutada jõudu. Nagu venib välja kumminöör, kui selle otsa riputada viht, samuti venib välja ka köis, millega tõstetakse rasket koormat.

Tõsi, köie venimist on raskem märgata kui kumminööri venimist, sest köis venib tunduvalt vähem kui kumminöör. Kui köied pole vastupidavad, võib tõstetav raskus neid puruks rebida.

Ehitise ülemised osad rõhuvad alumistele, mis seetõttu surutakse kokku, suurema koormuse korral aga litsutakse puruks. Palgid, millele mõjub koormus, painduvad.

Vaguni puhvrite vedrud surutakse kokku ja nad pehmendavad lööki. Vagunite haagid venivad rongi liikumisel ja võivad suurema tõmbe juures katkeda. Töötades töökojas, märkame, kuipalju jõupingutust vajab rauatüki saagimine ja puu hööveldamine. Samuti suurt jõupingutust nõuab sepistamine, stantsimine ja valtsimine.

Keha kuju või ruumala muutumist nimetatakse deformatsiooniks.

27. Elastsus. Me võime painutada õhukest terasplaadikest või puujoonlauda, kuid niipea kui plaadikese või joonlaua otsad lahti laseme, muutuvad nad taas sirgeks. Hoopis teistsugune on tulemus, kui painutada tinaplaadikest. See jääbki painutatuks. Laseme kukkuda lauale kummipalli. Löögist vastu lauda pall läheb lössi, võtab siis uuesti kera kuju ja hüppab üles. Palli kukkumine vastu lauda kutsus esile palli deformatsiooni. Sama nähtust võime panna tähele, kui terasest või elevandiluust kuulikese laseme kukkuda marmorplaadile, mis on kaetud tahmaga. Kuulikese löögil vastu marmorplaati kuulike lamendub, mida võib näha tahma laigu järgi, mis jäi kuulikesele pärast lööki. Siis võtab kuulike uuesti oma endise kuju ja hüppab üles. Mida kõvemini kuulike kukub vastu plaati, seda rohkem ta löögist deformeerub, mida võime otsustada laigu suuruse järgi. Kui lasta marmorplaadile kukkuda seatina- või savikuulike, siis see jääbki pärast lööki lössi. Kergelt võib painutada ka klaasplaati, nagu painutati terasplaati, ja see läheb uuesti sirgeks. Kui me aga sooviksime seda painutada tugevamini, siis puruneb see, nagu puruneb ka klaaskuulike, kui see visata marmorplaadile.

Surudes kokku, venitades, painutades või lüües tahket keha, me muudame ta kuju ja ruumala — deformeerime teda. Kehi, mis pärast sellist mõjutamist võtavad oma endise kuju, nimetatakse e l a s t s e i k s (näiteks kummi, teras).

Kehi, mille juures pärast väikesi kuju muudatusi deformat-

sioon jääb püsima, nimetatakse plastilisteks (näiteks savi, vaha, seatina).

Elastseid kehi, mis juba tühiste deformatsioonide juures purunevad, nimetatakse rabedateks (klaas).

28. **Jääv deformatsioon.** Suurendades vedru koormust, võib jõuda sellise asendini, kust vedru pärast koormuse äravõtmist ei pöördu tagasi oma endise pikkuse juurde, vaid jääb veidi väljaveninuks.

Deformatsiooni, mis jääb järele pärast teda väljakutsuva mõju lõppemist, nimetatakse jäävaks deformatsiooniks.

Täiesti elastseid kehi polegi; kõik materjalid annavad teatud tingimustel jäävaid deformatsioone.

Masinate konstrueerimisel tuleb iga detaili nii arvutada, et nende juures rakendatavad jõupingutused ei kutsuks esile jäävat deformatsiooni. Tõepoolest, iga masinaosa täidab üksnes siis oma ülesande, kui ta säilitab kuju, mille andis talle konstruktor. Kui kuju on muutunud, siis detail ongi juba rikutud. Kui hammasrattal on hambad rõhumisest kõverdunud, siis pöörlevad rattad algul halvasti ja hiljem lakkavad töötamast hoopiski.

Küsimusi.

1. Milliseid kehi nimetatakse elastseiks?
2. Tooge elastsete kehade näiteid.
3. Mis on jääv deformatsioon?
4. Milline vahe on elastse deformatsiooni ja jääva deformatsiooni vahel?
5. Milliseid kehi nimetatakse plastilisteks?
6. Mispärast ei tehta hammasrattaid seatinast?
7. Klaas ja kummi on elastsed kehad, kuid nende vahel on suur erinevus, mistõttu klaasi nimetatakse rabedaks kehaks.

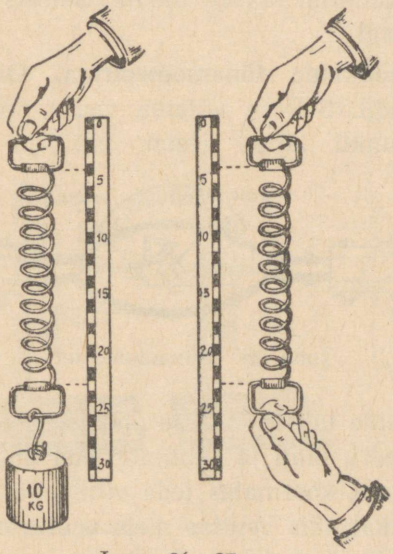
Milles seisab see erinevus?

29. **Jõud ja selle mõõtmine.** Selleks, et tõsta koormust, nihutada lauda, lõigata plekki või rebida katki nööri, on vaja

rakendada lihaste pingutust ehk, nagu tihti öeldakse, rakendada jõudu.

Esialgne mõiste jõust tekib meil lihaste kaudu. Nii kõneleme hobuse veojõust, mõistes selle all pingutuse astet, mida tunnevad hobuse lihased, kui hobune veab vankrit.

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



Joon. 26—27.

Lõpuks, vaadeldes külgetõmmet, mis on olemas Maa ja mingi keha vahel, mille tagajärjel keha langeb Maa peale või rõhub sellele, me ütleme, et Maa ja keha vahel on olemas külgetõmbejõud ehk raskusjõud.

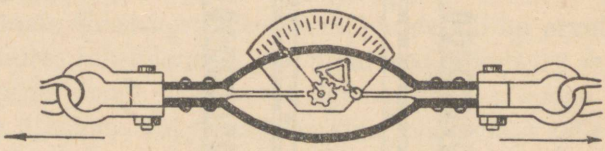
Kõigil juhtudel, millal üks keha mõjutab teist — tõukab, tõmbab, tõmbab külge, tõukab eemale jne., me sageli ei näita, milline keha ja kuidas mõjutab teist, vaid ütleme lihtsalt, et antud kehale mõjub jõud. Ja kui mingi keha teise keha mõju-

tusel hakkas liikuma, jäi seisma või muutis kuidagi oma liikumist, siis räägitakse, et seda keha mõjutas jõud.

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

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

30. Jõu mõõtmine dünamomeetriga. Olgu meil tarvis mõõta käe jõudu. Selleks võtame vedru, mis on riputatud mingi toetuspunkti külge (joon. 27), ja hakkame seda



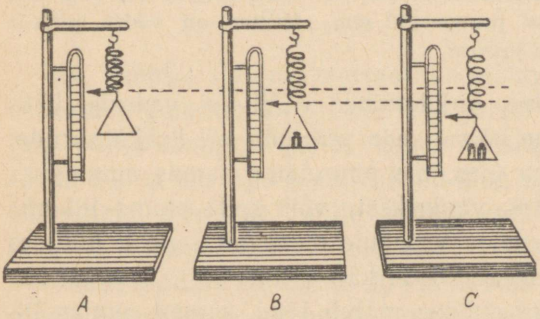
Joon. 28. Dünamomeeter.

venitama. Paneme tähele, millise pikkuseni venis vedru. Seejärel laseme vedru lahti ja sunnime teda uuseti sama pikkuseni välja venima, koormates teda vihtidega (joon. 26). Oletame, et vihi kaal, mis venitas meie vedru, on 10 kg, järelikult on ka see jõud, millega me pingutasime vedru käe abil, samuti 10 kg.

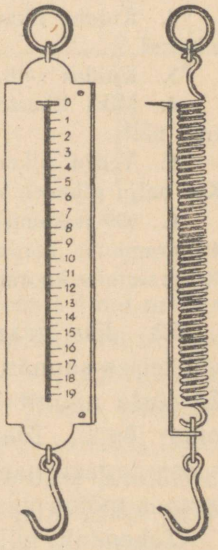
Jõu mõõtmise riistu nimetatakse dünamomeetriteks (kreekakeelsest sõnast *dünamis* — jõud). Need on mitmesuguse ehitusega. Nende peamiseks osaks on spiraal- või erikujulised vedrud (joon 28).

31. Vedru gradueerimine. Koormame rippuvat vedru (joon. 29), asetades selle külge kinnitatud kausile koormusi. Me märkame, et vedru pikeneb. Niipea kui koormuse ära võtame, lüheneb vedru, võttes esialgse pikkuse. Märkides ära

vedru pikenemise koormuse korral, võime täheldada, et vedru pikkuse suurenemine sõltub koormusest. Kui näiteks 100-grammise koormuse juures vedru pikenes 2 mm võrra, siis 200-grammise koormuse juures vedru pikeneb 4 mm võrra, 300-grammise koormuse juures — 6 mm võrra. Mitu korda suureneb koormus, niimitu korda suureneb ka vedru pikenemine.



Joon. 29. Vedru gradueerimine.



Joon. 30. Dünamomeeter.

Kinnitame meie vedru otsa külge osuti ja teeme selle juurde skaala. Vedru koormamisel langeb osuti piki skaalat. Märkides skaalal kriipsukestega kohad, kus peatub osuti ja kirjutades sinna juurde arvud, mis vastavad koormuste raskusele grammides või kilogrammides, gradueerime oma vedru. Saame riista — dünamomeetri (joon. 30). Selline dünamomeeter lubab meid mõõta mõningaid jõude kaalu ühikutega: grammidega, kilogrammidega. Jõudusid võib muidugi mõõta ka tonnidega.

Dünamomeetri gradueerimisel tuleb silmas pidada, et igal vedrul on olemas koormamispiir, mille ületamine kutsub vedrus esile jääva deformatsiooni, ja vedru pikenemine ei ole enam võrdeline koormusega.

Küsimusi.

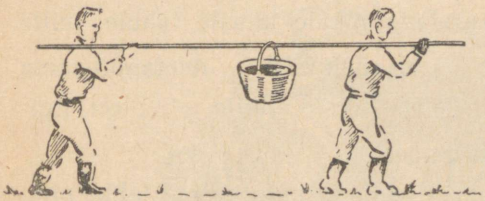
1. Milliste ühikutega mõõdetakse jõudu?
2. Kuidas nimetatakse riista, mida kasutatakse jõudude mõõtmiseks?
3. Kuidas võib valmistada dünamomeetrit?
4. Miks lihaste tunde järgi ei saa täpselt otsustada jõu suuruse üle?
5. Vedru pikenes 300-grammise koormuse mõjul 9 mm võrra. Kui palju pikeneb vedru 400-grammise koormuse juures?
6. 600-grammise koormuse juures oli vedru pikkus 200 mm, aga 400-grammise koormuse juures 190 mm. Milline on vedru pikkus 500-grammise koormuse juures?

32. **Jõu graafiline kujutamine.** Mõjudes vedrule ühes või teises suunas, me võime seda venitada või kokku suruda. Et tõsta mingit keha üles, me pingutame samas suunas ka oma jõudu. Tõugates vankrikest, võib seda panna liikuma edasi, tagasi, paremale ja vasakule olenevalt sellest, millises suunas mõjub vankrikesele meie käte jõud.

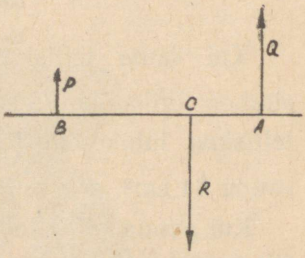
Tähendab, millises suunas mõjub jõud, samas suunas liigub keha. Järelikult jõude on tarvis eraldada mitte üksnes suuruse, vaid ka suuna järgi. Et jõud võiks mõjuda kehale, tuleb teda rakendada keha ühes või teises punktis. Seda keha punkti, millele mõjub jõud, nimetatakse jõu rakenduspunktiks.

Kaks inimest kannavad pange vahepuuga (joon. 31). Millised jõud on rakendatud vahepuule? Üks jõud — pange raskus R — kisub silmanähtavalt alla; kahte teist jõudu — jõude P ja Q — rakendavad inimesed, et vahepuu ei langeks. See näide on kujutatud joonisel (joon. 32), kus joon BA kujutab vahepuud, millele mõjuvad jõud P, Q ja R.

Näitlikuks kujutamiseks märgitakse jõud nooltega, kusjuures noole suurus kujutab jõu suurust teatud mastaabis, noole siht — jõu suunda; punkt, millest joonistati nool, on jõu rakenduspunktiks.



Joon. 31.



Joon. 32.

33. Rõhk. Pannud suusad alla, võime joosta lund mööda sellesse vajumata. Tarvitseb vaid jalast kaotada suusk, kui jalg vajub lumme. Seistes lumel suuskadel või suuskadeta, rõhume oma kaaluga lumele. Kuid ühel juhul jaotub kehakaal suuremale pindalale, mille võtsid enda alla suusad, teisel juhul märksa väiksemale pindalale, mida omavad jalatallad. Suuskade pindala on umbes 20 korda suurem jalataldade pindalast. Suuskade kasutamisel tuleb lumepinna iga ruutsentimeetri kohta 20 korda väiksem koormus kui siis, kui seisame lumel suuskadeta. Teisiti öeldes, seistes suuskadel tekitame lumele väiksema rõhumise ja me ei vaju sisse.

Sõnaga «rõhk», mida tekitab mingi keha alusele, mõeldakse jõudu, mis mõjub aluse pindala igale ruutsentimeetrile.

Kui näiteks 100 cm^2 pinnale rõhub 300 kg-ne raskus, siis tuleb iga ruutsentimeetrile 3 kg ja me võime öelda, et rõhk on 3 kg 1 ruutsentimeetrile, mis tähistatakse nii: $3\ \frac{kg}{cm^2}$.

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

Kui telliskivi asetada laiemale tahule, siis jaotub kivi 4-kilogrammine raskus 350 cm²-sele laiema tahu pinnale ja rõhk võrdub:

$$\frac{4000\ g}{350\ cm^2} = 11{,}4\ \frac{g}{cm^2}.$$

Kui sama telliskivi asetada pikale kitsale tahule, mille pind on ligikaudu 175 cm², siis on rõhk 22,8 $\frac{g}{cm^2}$. Asetanud sama telliskivi lühikesele (otsmisele) tahule, mille pind on ligikaudu 84 cm², saame rõhu umbes 48 $\frac{g}{cm^2}$.

Kui panna sama telliskivi liivale mitmesuguseid tahke pidi, siis esimesel juhul ei jää telliskivi rõhust liivale peaaegu jälgegi, teisel ja kolmandal juhul vajub liiv, ja eriti tugevasti vajub liiv kolmandal juhul.

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

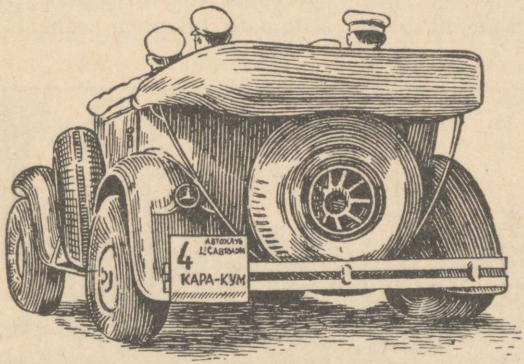
Tähendab, et vähendada mingi koormuse rõhku toele, tuleb suurendada toetuspindala.

Sõiduauto rattakummi laius on 8—10 cm. Veoautol ja autobusel on kummid märksa laiemad ja rattaid on mitte neli, vaid kuus. Nii jaotatakse auto kaal suuremale toetuspindalale, ja rasked autod tekitavad seetõttu rõhu, mis ei riku tee muldkeha. 1933. a. nõukogude tehastes valmistatud autode kontrollimisel käisid autod ära pika tee, kusjuures osa teed kulges läbi Kara-Kum'i liivase kõrbe. Isegi selles tuiskliivas liikusid autod edasi! Eriti kergesti läksid liivast läbi autod, mis olid pandud laiadele kummidele — «üliballoonidele» (joon. 33).

Samuti on raudtee-transpordis raskeil vaguneil mitte kaks paari rattaid (mitte kaks telge) vaid suurem arv telgi, olenevalt vaguni kaalust.

Vähendades toetuspindala, võib sama koormuse juures rõhku tunduvalt suurendada. Näiteks jäävad karkudega käimisel liivale sügavad jäljed. Rõhknaela terav ots läheb ker-

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



Joon. 33. Üliballoonidega auto Kara-Kum'i liival.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse rõhuks?
2. Kas 5-kilogrammise koormusega võib tekitada rõhku 10 $\frac{kg}{cm^2}$? Kuidas seda teha?

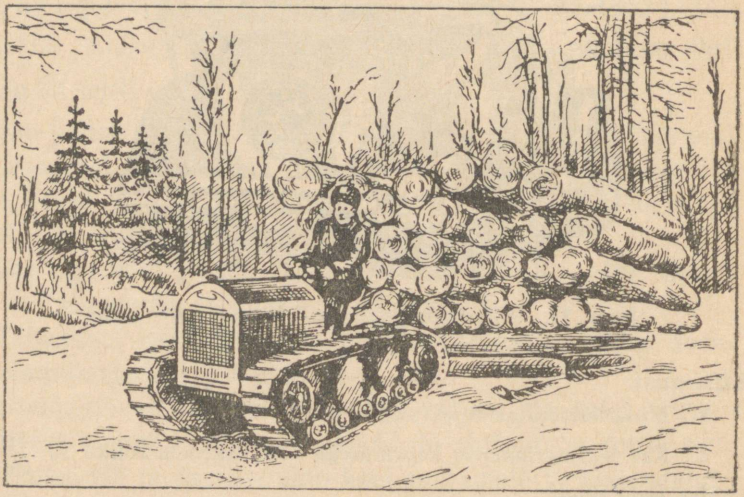
   Kas sama 5-kilogrammise koormusega võib tekitada rõhku 50 $\frac{kg}{cm^2}$?
3. Kuidas arvutada rõhku, mida tekitab mingi koormus?
4. 10-kilogrammine viht on laual. Kui suure rõhu tekitab see viht lauale, kui vihi põhi on 50 cm^2?
5. Inimene toetub käies maapinnale ühe jalatallaga, mille pindala on ligi 150 cm^2. Arvutada rõhk, mille tekitab käies inimene, kelle kaal on 64 kg.

34. Linttraktor. Linttraktorid toetuvad maapinnale mitte ratastega nagu auto või harilik ratastraktor, vaid eriliste terastaldadega, mis üksteisega ühendatult kujutavad lõputut linti. Nende taldade sisemine osa omab eendeid, mis traktori liikumisel etendavad rööbaste

osa, mida mööda veerevad rullid, mis kannavad kogu traktori raskust (joon. 34).

Tuleb nii välja, et liikumise juures traktor ise asetab enda alla rööpad ja ise need ka koristab.

Kumbki lintlülik on pinguli tõmmatud kahele hammasrattale. Üks hammasratastest, saades liikumise mootorilt, paneb liikuma oma lüliku. Lülikute üksteisest sõltumatu liikumine võimaldab traktoril



Joon. 34. Linttraktor.

teha pöördeid. Traktori liikumisel puutub maaga üheaegselt kokku 10 ja isegi rohkem talda, mis suurendab traktori kokkupuute-pinda maaga ja annab traktorile võimaluse vedada enda järel rasket koormat. Teiselt poolt võimaldavad lülikud traktoril, mille raskus on üle 2000 kg, sõita igasugust teed mööda ja liikuda isegi seal, kus polegi teid. Kui võrrelda rõhku, mida tekitab linttraktor maapinnale, rõhuga, mida tekitab inimene käies maa peal, siis ilmneb, et raske linttraktor rõhub maad vähem kui inimene.

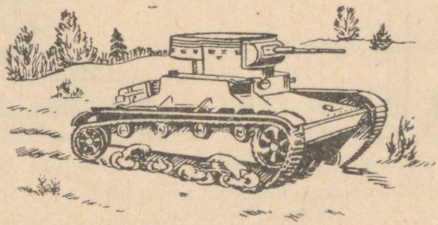
Selline traktor läheb üle puusildade, käib hästi sillutatud teel ja ei liigu halvemini ka põllul.

Harjutus.

Traktoril, mille kaal on 2200 kg, on kahe lüliku toetuspind 6400 cm^2. Määrata traktori rõhk maapinnale. Võrrelda seda rõhku inimese rõhuga, kui ta kõnnib. Kumb on suurem?

35. Tank. Linttraktori omadused — suur veojõud ja väike sõltuvus teede seisukorrast — teevad teda eriti väärtuslikuks sõjaasjanduses kahurite, inimeste ja masinate vedamisel, kaevikute kaevamisel jne.

Linttraktori võime liikuda teedeta ja peaaegu igasugusel maastikul tõukas inimesi mõttele ehitada sõjas kasutatav lahingumasin. Masin pandi liikuma lülikule, kaeti tugeva kuuli- ja mürsukindla terassoomusega, sisemusse paigutati kuulipilduja. Seda masinat hakati nimetama tankiks (joon. 35).



Joon. 35. Tank.

Tanke valmistatakse kolme liiki. Väikesed „kerged" tankid on relvastatud ühe kuulipilduja ja ühe väikese kahuriga; kerge tanki kaal on 5—7 t. „Keskmised" tankid on soomustatud võimsamalt kui kerged; selline tank kaalub 10—20 t. „Rasked" tankid on kaitstud kuni 55 mm paksuse soomusega, relvastatud on nad kahuritega ja suure arvu kuulipildujatega; tanki kaal on 30—70 t.

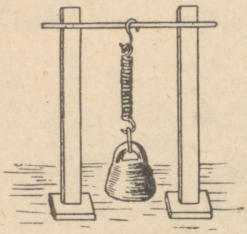
Tanki kaal jaotub küllalt suurele pinnale. Seepärast on tanki rõhk maapinnale vaid natuke suurem kui rõhk, mille tekitab inimene käies. Uusimad lintmasinad tekitavad niivõrd väikese rõhu, et võivad liikuda lumel või soisel maastikul, mis inimesele on läbimatu.

Tänu suurele kokkupuutepinnale maaga, võimsale mootorile ja oma massile võib tank lükata ümber tema teel olevaid takistusi: traattõkkeid, kiviaedu, väikesi ehitisi ja isegi üksikuid küllaltki jämedaid puid.

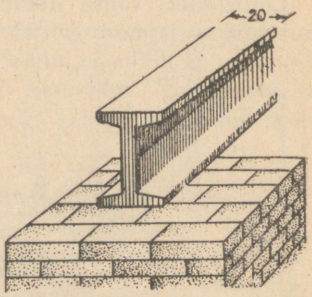
36. Jagatavus. Igapäevasest kogemusest teame, et tahket keha võib jagada väga väikesteks osadeks. Suhkrutükk lõhutakse tangi-

dega väikesteks tükkideks. Neid väikesi tükikesi võib uhmris tampida veel väiksemateks osadeks. Veskites jahvatatakse terad jahuks. Kivipurustamismasin purustab väikesteks kildudeks suuri kive jne.

Vaadeldes keha jagunemist väikesteks osadeks, võime teha järelduse, et tahke keha koosneb väga väikestest osadest. See asjaolu, et tahke keha iseenesest ei pudene, sunnib meid oletama, et tema osad üksteisest kinni hoiavad. Seda oletust kinnitavad katsed. Lõikame seatinavarda kaheks tükiks ja puhastame hoolikalt terava



Joon. 36.



Joon. 37. I-tala.

noaga lõikekoha. Kui nüüd need kaks tükki tihedasti uuesti kokku liita ja neile suruda, siis liituvad nad teineteisega nii kõvasti, et alumisele tükile võib riputada küllaltki suure koormuse (joon. 36).

Üksikute osade vaheline külgetõmbejõud ilmneb ainult sel juhul, kui aineosakesed on üksteisele väga lähedal. Masina abil on seatinapurust võimalik pressida massiivseid seatina tükke.

Enamikel juhtudel meie ei suuda kahte tahke keha tükki viia teineteisega nii tihedasse kokkupuutumisse, et tekiks üks terve tükk. Kui meil läheb korda neid tükke soojendadades pehmendada, või mis veel parem sulatada, võime mõlema tüki üksikuid osi lähendada vajalikule väga väikesele kaugusele ja saame pärast sulatatud keha jahtumist kahest või mitmest tükist ühe tahke keha. Nii joodetakse omavahel ühte klaastorud, keevitatakse kokku metallosad. Külgetõmme tahke keha osade vahel on väga suur, mida täheldame näiteks raua saagimisel või puu höövеldamisel.

Ülesandeid II peatüki juurde.

1. 200-grammise koormuse juures pikenes kaalu vedru 0,5 cm. Kui palju pikeneb vedru 700-grammise koormuse juures?

2. 5 t surve juures surutakse vaguni puhvri vedru kokku 1 cm võrra. Millise tungiga surub vagun vastu tõket, kui vedrud suruti kokku 4 cm võrra?

3. Mispärast toolipõhi puruneb, kui seista temal kontsadega?

4. Mispärast põllumajanduslikel masinail tehakse rattad laiade pöidadega?

5. Mispärast raudlabidas, kui ta peale vajutatakse jalaga, läheb kergemini maasse kui puulabidas sama suure surve juures?

6. Millal tekitate jääle suuremat survet, kas seistes uiskudel või ilma?

7. Mispärast I-taladele tehakse alumised ja ülemised tallad (joon. 37)?

8. Mispärast pannakse mutri alla seib, kui seda kinni keeratakse?

9. Kast, mille põhja pindala on 400 cm^2, kaalub 80 kg. Arvutada rõhk, mille tekitab kast alusele.

10. Treipink, mille raskus on 300 kg, toetub alusele nelja jalaga; iga jala keskmine pindala on 50 cm^2. Määrata pingi rõhk alusele.

11. Raudtee kaheteljelisele platformile asetati suurtükiväe kahur, mis kaalub 5 t. Kui palju suurenes platformi rõhk rööbastele, kui ratta puutepindala rööpaga on 5 cm^2?

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

13. Traktori kaal on 5 t. Tema lüliku pikkus on 250 cm, selle laius aga 28 cm. Kui suur on traktori rõhk aluspinnale?

14. Kui suure rõhu alusele tekitab silindrikujuline marmorsammas, mille kõrgus on 5 m (marmori erikaal on 2,6 $\frac{g}{cm^3}$)?

III peatükk.

Vedelikud ja gaasid.

37. Rõhu edasiandumine vedelikkudes ja gaasides. Presendist veevoolik, kuni ta pole täidetud veega, näeb välja lameda lindina. Kui aga ühendada voolik veevärgiga, siis ta, täitudes järk-järgult veega, võtab lõpuks silindrilise kuju. Kui vooliku seinas on auguke, siis purskab sellest vett, kus ka auguke ei asuks — kas ülal või all — ükskõik.

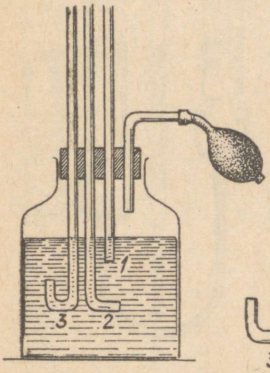
Vesi, tulles surve all veevärgist, rõhub voolikut täitvale veele, see aga rõhub omakorda vooliku seintele.

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

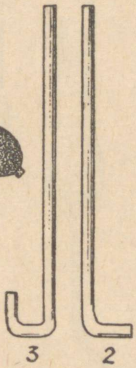
Teeme järgmise katse. Võtame klaaspurgi, mis on täidetud kolmveerandi kõrguseni veega. Suleme purgi tihedalt korgiga, millest paneme läbi neli klaastorukest (joon. 38). Neist kolm ühesuguse diameetriga torukest vajutame vette, aga neljanda ühendame kummiballooniga. Kaks vees olevat torukest on kõverdatud, nagu näidatud joonisel 39.

Kui kummiballooni pigistada, siis näeme, et vesi tõuseb kolmes torukeses purgis oleva vee tasemest kõrgemale, seejuures kõigis ühesuguselè kõrgusele (joon. 40).

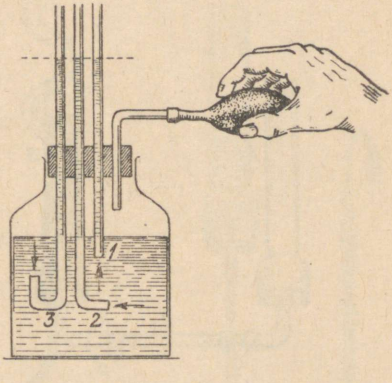
Kokkusurutud õhk rõhub purgis oleva vee pinnale. Vesi annab selle rõhu edasi torudesse. Üks torudest (1) on avatud alt, teine (2) küljelt ja kolmas (3) ülalt. Tähendab, vesi andis rõhu edasi igas suunas. Kuna aga veesambakesed torukestes ülalpool purgi nivood omavad ühesugust kõrgust, siis on edasiantav rõhk ühesugune. Seepärast on veega täidetud voolik silindrikujuline, jalgpalli kumm aga, millesse on pumbatud õhku, on kerakujuline.



Joon. 38.



Joon. 39.



Joon. 40. Vedelik annab rõhku edasi igas suunas muudatusteta.

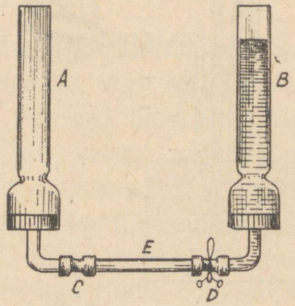
Järelikult **rõhk, mis on tekitatud vedelikule või gaasile, kandub muudatuseta edasi igas suunas.** Selle avastuse tegi teadlane Pascal ja seda nimetatakse Pascali seaduseks.

38. Ühendatud anumad. Võtame kaks lambiklaasi *A* ja *B* ning ühendame nad omavahel klaastoruga *E* (joon. 41). Pigistame kinni kummitoru *D* ja valame klaasi *B* vett. Kui näpits eemaldada, siis voolab vesi klaasist *B* klaasi *A* ja tõuseb selles seni, kui vedeliku pinnad mõlemas klaasis on ühel tasemel.

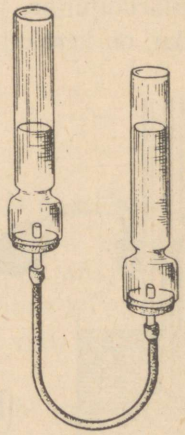
Ühendanud need klaasid alt mitte klaas- vaid kummitoruga, me võime, jättes ühe klaasi statiivi külge kinnitatuks,

teist klaasi tõsta, langetada või kallutada külgedele, kuid vedeliku vabad pinnad mõlemas klaasis jäävad alati ühele tasemele (joon. 42). Veepinnad jäävad ühele tasemele ka sel juhul, kui üks neist klaasidest või mõlemad asendada kas sirgete või ükskõik kuidas kõverdatud klaastorudega (joon. 43 ja 44).

Anumaid, mis on alt omavahel ühendatud, nimetatakse ühendatud anumateks.



Joon. 41.



Joon. 42.

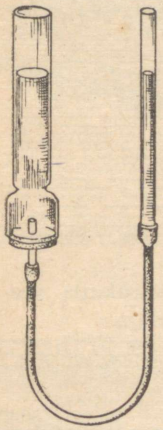
Ühendatud anumais, mis on täidetud samasuguse vedelikuga, jääb vedeliku pind ühele tasemele. Asendame klaastoru kitsa avaga torujupiga ja tõstame lambiklaasi jupi otsast kõrgemale.

Torujupi otsakesest purskab veejuga (joon. 45), püüdes saavutada veetaseme kõrgust lambiklaasis.

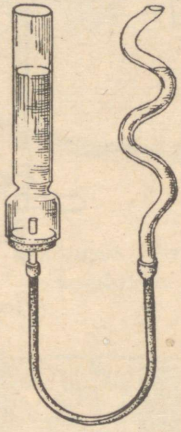
39. Veenäitajad. Kuna samasuguse vedeliku pinnad ühendatud anumais jäävad püsima ühesugusele tasemele, siis võib määrata läbipaistmatusse anumasse valatud vedeliku kõrgust, kui selle anumaga alt ühendada vertikaalselt asetatud klaastoru (joon. 46) — veenäitaja. Sellised veenäitajad on

aurukatlail, kusjuures klaasi alumine osa ühendatakse katla selle osaga, kus asetseb vesi, klaasi ülemine osa aga ühendatakse katla selle osaga, kus asetseb aur (joon. 47). Samasuguseid klaase, kui neid ühendatakse nafta- või petrooleumipaakidega, nimetatakse naftanäitajaiks.

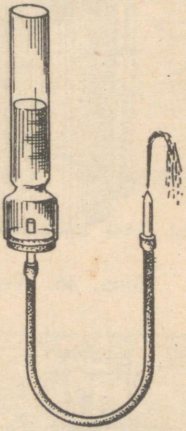
Vaadeldes vedeliku kõrgust klaastorus, määratakse vedeliku kõrgust selles anumas, millega on ühendatud klaastoru.



Joon. 43.



Joon. 44.



Joon. 45.

Küsimusi.

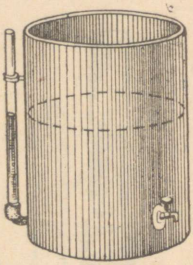
1. Tooge näiteid, kus tehnikas kasutatakse ühendatud anumaid.
2. Milleks kasutatakse veenäitajaid ja kuidas neid kasutada?

40. Lüüsid. Ühendatud anumate huvitavat rakendamist võib näha lüüsides, mida ehitatakse kärestikurikastele jõgedele ja kanalitele laevade vabaks läbipääsuks kohtades, kus on vaja laevu tõsta suuremale või väiksemale kõrgusele.

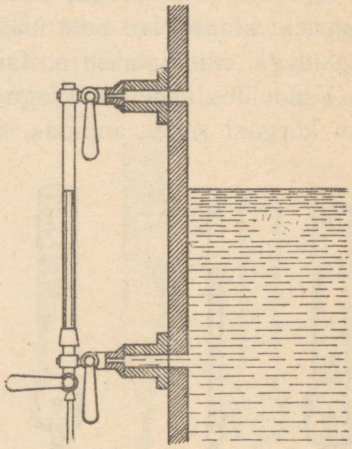
Et anda laevadele sobivat läbipääsu, ehitatakse jõe kõrvale kitsas kanal, millest laev võiks läbi minna.

Kanalile asetatakse mitu vaheseina — tihedasti sulguvaid

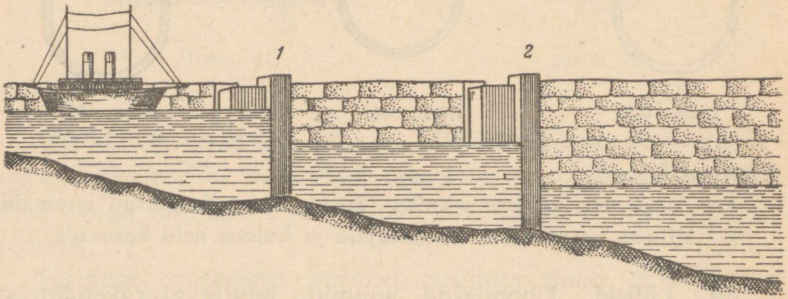
väravaid, mis jaotavad kanali mitmeks kambriks. Igas kambris võib vesi seista isesugusel kõrgusel.



Joon. 46. Veenäitaja.



Joon. 47. Aurukatla veenäitaja.

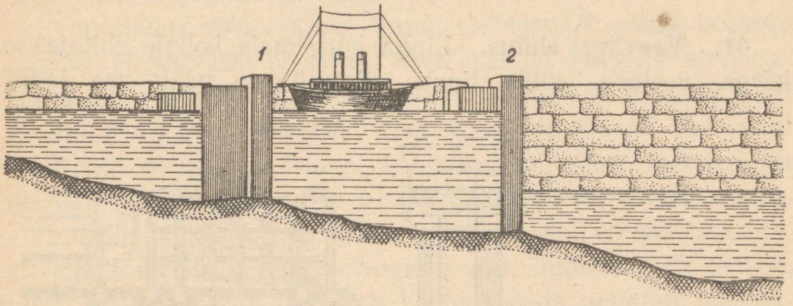


Joon. 48. Lüüs. Laev on jõudnud väravate 1 juurde. Kambrisse koguneb vesi.

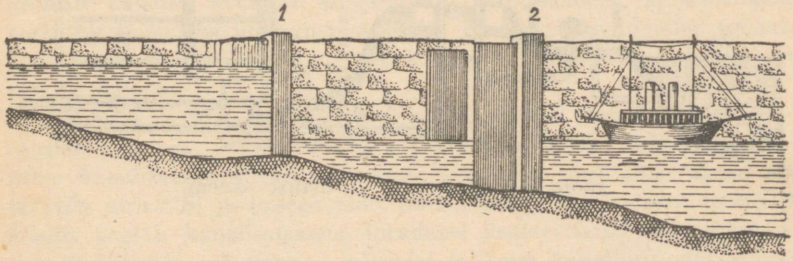
Kui laeval on vaja laskuda ülemjooksult jõesuu poole, siis juhitakse laev väravate 1 juurde ja siin ootab laev, kuni lüüsi kambrisse koguneb vesi (joon. 48) lüüsi väravate ees oleva

vee tasemeni. Kui tasemed on ühtlased, siis avatakse väravad ja laev läheb lüüsi kambrisse (joon. 49).

Laeva taga olevad lüüsiväravad 1 suletakse ja lüüsikambrist lastakse vett aegamööda välja, kuni selle tase muutub ühtlaseks veetasemega teiste väravate taga (joon. 50). Siis



Joon. 49. Vesi kogunes kambrisse. Avati väravad 1 ja laev läks kambrisse.



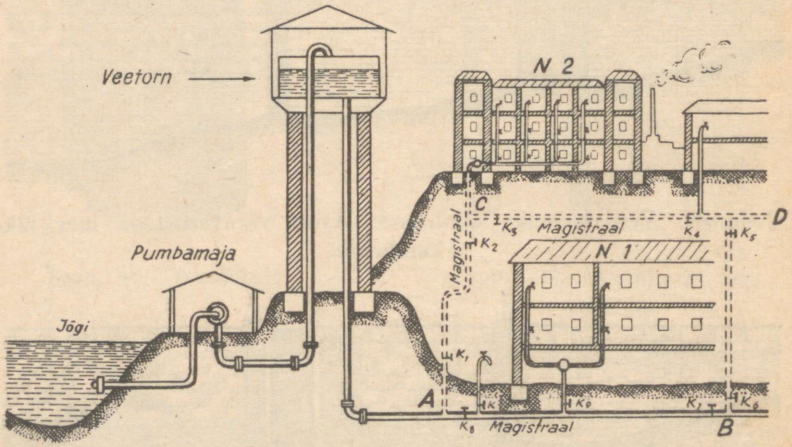
Joon. 50. Kambrist lastakse aegamisi vett välja ja laev laskub aeglaselt ühes veetasemega. Siis avati väravad 2 ja laev väljus kambrist.

avatakse lüüsikambri väravad 2 ja laev sõidab jõkke. Laeva tõusmisel jõesuu poolt ülemjooksu poole läheb laev lüüsikambrisse ja tema järel suletakse väravad 2. Lastes vett voolata lüüsikambrisse, tõstetakse laev väravate 1 ees oleva vee tasemeni. Kui veetase lüüsikambris saavutab väravate-eelse veetaseme, avatakse väravad ja laev sõidab jõkke.

TARTU ÜLIKOOLI RAAMATUKOGU

1933. a. lõpetati Valge mere kanali ehitamine, mis ühendab Neeva jõge Valge merega; seetõttu tekkis lühike laevatee Leningradist Valge mereni. Sellele kanalile on ehitatud mitu lüüsi. 1937. a. avati liikumine kanalil, mis ühendas Volga ja Moskva jõe. Ka sellel on palju lüüse.

41. Veevärgi ehitus. Linna kõrgemale kohale ehitatakse kõrge veetorn, mille tippu paigutatakse paak vee jaoks



Joon. 51. Linna vesivarustuse skeem.

(joon. 51). See paak peab olema asetatud kõrgemale kõigist linna majadest. Paaki pumbatakse tugevate pumpade abil vett kas vahetult jõest, järvest või erilistest reservuaaridest, millesse kogutakse hoolikalt filtreeritud jõe- või järvevett. Paagist läheb linna mööda laiali peatoru — magistraal, millega ühinevad üksikute majade vesivarustuse torud. Torud on paigutatud maasse rohkem kui 2 m sügavusse, et vältida torude külmumist. Paak, magistraal ja majade üksikud torud kujutavad ühendatud anumate süsteemi, milles vesi püüab seista

ühel kõrgusel. Linna vesivarustusvõrk ehitatakse enamasti niinimetatud ringsüsteemil, mille juures magistraaltoru kujutab rõngast, mis ümbritseb suuremat osa linnast. Sellest rõngast lähtuvad igas suunas kõrvaltorud. Sel kombel võib mõnesuguse rikke puhul vesivarustuses sulgeda iga lõiku, häirimata tööd ülejäänud vesivarustuse osades.

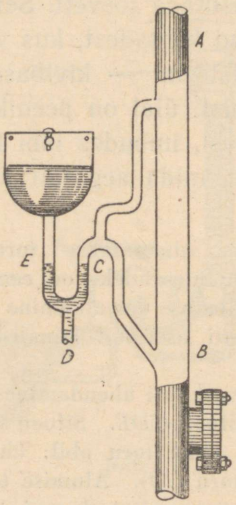
Varustades veega suurt linna, on tarvilik suure hoolega jälgida, et veevärki ei satuks vesi, mis on kahjulik tervisele. Parimaks veeks on allikavesi. Kuid sellist vett ei leidu alati tarvilikul määral. Seepärast tuleb kasutada jõevett. Sel juhul tuleb vett võtta jõest kaugel asustatud kohtadest, kus vesi on puhtam, ja puhastada see filtrite süsteemi — kivibasseinide abil, mille põhi koosneb mitmest kihist; ülal on peenike liiv, all aga sõre liiv ja kruus. Sogane vesi, imbudes läbi filtrite, jätab kõntsa filtrite ülemisse kihisse, mida aegajalt asendatakse uuega.

42. Kanalisatsioon. Kanalisatsiooniks nimetatakse torude ja kinniste kanalite keerukat süsteemi, mille ülesandeks on eemaldada majadest ja linnast igasugust mustust. Mustuse eemaldamine toimub kanalisatsiooni abil isevoolu teel kallakuti asetatud kanalisatsiooni torusid mööda.

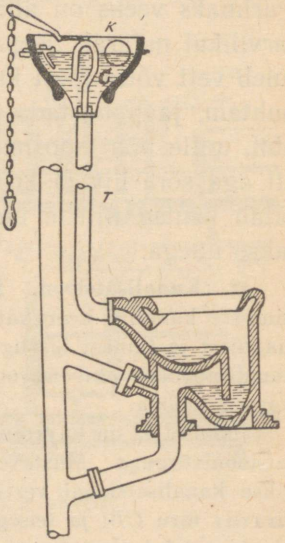
Joonisel 52 on kujutatud köögi mustaveekausi ühendamine kanalisatsioonivõrguga. Mustaveekausi all on sifoon *CDE*. Sifoon ühendatakse kanalisatsiooni vertikaaltoruga *AB* kahe toru abil: ühega alt (äraviiv toru *CB*) ja teisega ülalt (tõmbetoru *CA*). Alumise toru *CB* kaudu voolab kanalisatsiooni torudesse äratarvitatud vesi, ülemise toru *CA* kaudu eemalduvad sifoonist ja kogu kanalisatsioonivõrgust lehkavad gaasid. Et need gaasid ei saaks sattuda ruumidesse, selleks on vee ärvoolutoru painutatud tähe *S* kujuliselt. Kui vesi mustaveekausist välja voolab, siis jääb osa sellest sifooni ja, moodustades vesikorgi, suleb veeäravoolutoru, laskmata lehkavaid gaase ruumidesse.

Joonisel 53 on kujutatud vesikork, mis suleb kanalisatsioonivõrgust tulevate gaaside pääsu läbi vesikloseti kausi väljakäigukohta. Paagikesest tulev vesi uhub mustuse kloseti-kausist ja kannab selle kanalisatsioonivõrku. Viimane osa puhast vett jääb klosetikausi käänakutesse ja suleb gaasidele ligipääsu.

Maja kanalisatsiooni kaudu väljavalatud vesi satub maja võrgust välisvõrku, mis on ehitatud maja õuele. Sellest õuevõrgust satuvad kõik mustused tänavavõrku, mida mööda voolates lähevad lõppudelõpuks kaugele väljapoole linna, niinimetatud niisutuspõldudele. Siin satuvad roiskveed mikroobide mõju alla, kelle mõjul vesi, minnes läbi pinnase mitte üksnes filtreerub, vaid ka desinfitseerub. Puhas desinfitseeritud vesi lastakse jõkke, aga ained, mis saadi mustusest mikroobide mõjul, on suurepäraseks väetiseks. Kanalisatsiooni vett puhastatakse ka ilma niisutuspõldudeta — spetsiaalsete filtrite abil.



Joon. 52. Köögi mustaveekausi ühendamine kanalisatsioonivõrguga.



Joon. 53. Kloseti uhtmisseadeldis.

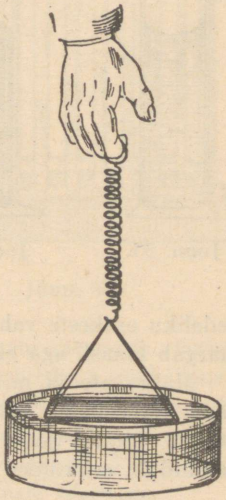
Seletus joon. 53. juurde.

Kangi allalaskmisel tõuseb üles toru *C* kõverdatud osa — sifoon. Vesi voolab paagikesest klosetikaussi ja kui kang on lahti lastud, imetakse paagikesse jäänud vesi läbi sifooni torusse ja see uhub klosetikausi. Paagikeses ujuv kera *K* on kinnitatud kangile, mis suleb kraani, ja kui vesi paagist välja voolab, langeb kera alla ja avab kraani. Kraani kaudu täitub paagike veega. Sedamööda, kuidas paagike täitub veega, kerkib kera pinnale ja suleb kraani. Joonisel on näha ventilatsioonitoru ja vesikork, mis suleb kanalisatsiooni toru.

Küsimusi.

1. Joonistage vesivarustuse seadeldis ja jutustage, millised on tema iga osa ülesanded.
2. Mispärast on veetorn ehitatud linna kõrgemale kohale?
3. Kuidas puhastatakse vesivarustusse tulevat vett?
4. Kas voolab vesi majas nr. 1 (joon. 51), kui osa magistraali, mis läheb majja nr. 2, on remondi puhul välja lülitud?
5. Kuidas tõstetakse jõest vett veetorni paaki?
6. Kuidas eemaldatakse majadest ja linnast mustust?
7. Kuidas suletakse kanalisatsiooni võrgust tulevate lõhnade pääs tuppa?

43. Vedeliku osakeste vaheline külgetõmme. Paneme vedru külge horisontaalselt riputatud klaasplaadi (joon. 54) kaussi valatud vee pinnale nii, et ta puutuks vett. Kui nüüd vedrust tõmmata, püüdes plaati veelt ära võtta, siis märkame, et see on jäänud vee külge kinni. Vedru venib välja, ja tema pikenemise järgi võime otsustada jõu suuruse üle, mis hoiab plaati. Kui plaat tuleb lahti, siis on ta alumine külg märg; järelikult jõud, millega tõmbame vedru, on vajalik selleks, et tõmmata ülejäänud veest lahti plaadi külge jäänud veekihti. Samasugust katset võib sooritada ka muude vedelikega, mis märgavad klaasi.



Joon. 54.

Paneme pliiatsi veega täidetud klaasi ja võtame ta veest välja. Pliiatsi külge jäid veetilgad, mis eraldusid kergesti üldisest massist. Võttes pangega vett, eraldame kergesti osa vett üldisest massist.

Nende katsete põhjal teeme järelduse, et vedeliku osakeste vahel on samuti külgetõmme nagu tahkete kehade osakeste vahel.

Vedelikkudel on osakestevaheline külgetõmme märgatavalt nõrgem kui tahketel kehadel.

44. Märgavad ja mittemärgavad vedelikud. Kui me klaasnõust valame välja vee, õli, piirituse, petrooleumi või muu vedeliku, siis märkame, et anuma seinte külge jäävad üksikud vedeliku tilgad.

Elavhõbeda väljavalamisel puhtast klaasist ei jää elavhõbeda tilku seintele.

Klaaspulgale, mis on veest välja võetud, on kleepunud tilgad. Parafiinipulk tuleb veest välja kuivana.

Kuna vedelik kleepub tahkele kehale, siis tähendab see, et vedeliku ja tahke keha osakeste vahel on külgetõmme.

Miks aga ühel juhul vedelik kleepub tahkele kehale, märgab teda, teisel juhul ei kleepu — ei märga tahket keha?

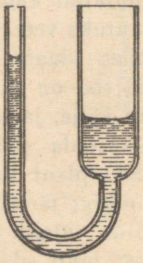
Kui vedeliku osakeste vaheline külgetõmme on suurem kui külgetõmme vedeliku ja tahke keha osakeste vahel, siis vedelik tahket keha ei märga. Näiteks elavhõbe ja klaas, vesi ja parafiin. Juhul aga, kui vedeliku ja tahke keha osakeste vaheline külgetõmme on suurem kui



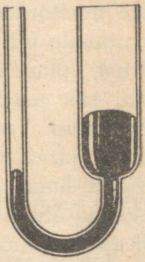
Joon. 55.



Joon. 56.



Joon. 57.



Joon. 58.

vedeliku osakeste vahel, siis märgab vedelik tahket keha. Näiteks vesi märgab klaasi, aga elavhõbe tsinki.

Märgavate ja mittemärgavate vedelike pinna kuju anuma seinte ääres on erinev. Vesi tõuseb klaasanuma seinte ääres, moodustades nõgusa pinna (joon. 55). Elavhõbeda pind sama nõu seinte ääres madaldub, muutudes kumeraks (joon. 56).

45. Kapillaartorud. Ühendatud klaastorudes, milledest ühel on väga kitsas kanal, ei jää sissevalatud vesi seisma ühesugusele tasemele.

Vesi, piiritus ja teised märgavad vedelikud tõusevad kitsas torus märgatavalt kõrgemale tasemele kui laias (joon. 57). Asetame vertikaalselt vanni, milles on vesi, mitu kitsa kanaliga toru. Me märkame, et neis torudes tõuseb vesi vanni vee tasemest märgatavalt kõrgemale. Mida kitsam kanal, seda kõrgemale tõuseb vesi (joon. 59).

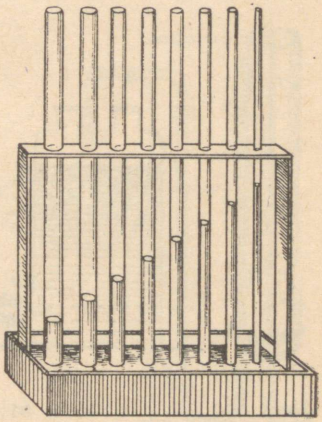
Väga kitsa kanaliga torukesi nimetatakse kapillaartorudeks.

Märgavate vedelikkude tõusmise nähtust kitsaid kanaleid mööda nimetatakse kapillaarsuseks.

Kapillaarsusega seletatakse paljusid nähtusi, mida pannakse tähele looduses ja tehnikas. Eriti suur tähtsus on kapillaarsuse nähtusel taimede jaoks. Iga taim on juurtest lehtedeni läbipõimitud arvukate peenimate torukestega.

Kapillaarsus on üks põhjuseid, miks mullast saadud toitvad mahlad nende torukeste kaudu tõusevad üles.

Täidame lambiklaasi kuiva mullaga, seome ta riidega alt kinni ja asetame taldrikule, milles on vesi. Vesi märgab aegamisi mulla, tõustes ikka kõrgemale ja kõrgemale, kuni kogu muld ülemise ääreni on märg. Asetame kõrvuti kaks klaasi mullaga: ühes raputame mulla tihedasti kokku, teise jätame hästi koheda mulla. Tihedas mullas tõuseb niiskus kiiremini kui kohedas mullas. Need vaatlused näitavad, milline tähtsus on maa harimisel niiskuse hoidmiseks. Kui mullas on vaja niiskust hoida, siis ei tule seda lasta maa pinna lähedale, kust ta aurab, vaid mullas on vaja hävitada kapillaarid. See saavutataksegi äestamisega. Et hoida pinnase niiskust, peab künd olema varane ja võimalikult sügav. Kui soovitakse kutsuda esile pinnase niiskuse voolu maapinnale lähemale, siis on vaja mitte ainult hoida mullas olevaid kapillaare, vaid neid on vaja ka peenemaks teha. Põldude rullimisel rulliga või peenarde mulla tihendamisel juurviljaaias lähevad kapillaarid mullas peenemaks, mis kutsuvad niiskuse maapinnale lähemale.

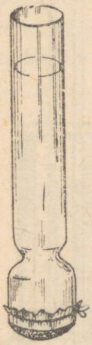


Joon. 59.

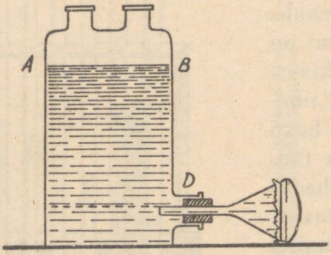
Küsimusi.

1. Mispärast tõuseb niiskus kiviseinu mööda, mille alused on rajatud märjale kohale?
2. Mispärast petrooleum tõuseb lambitahti mööda?
3. Kuidas seletada, et niiskest kohast läbisõitnud vankri ratta jälg muutub märjaks.

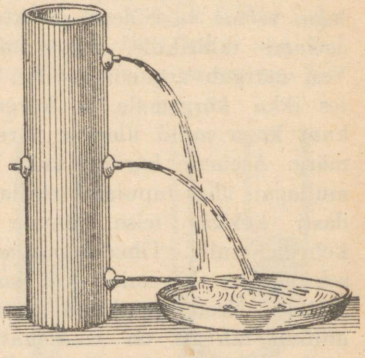
46. Vedeliku rõhumine anuma põhjale ja seintele. Seome lambiklaasi ühe otsa kummikelmega kinni ja valame klaasi vett (joon. 60). Märkame, et kummipõhi kooldub allapoole. Mida kõrgema veekihi valame, seda enam kooldub põhi ja seda suurem on rõhumine põhjale. Vedelikud, nagu kõik kehad Maa peal, omavad kaalu, ja on täiesti arusaadav, et nad selle tagajärjel rõhuvad neid hoidva nõu põhjale.



Joon. 60.



Joon. 61.



Joon. 62.

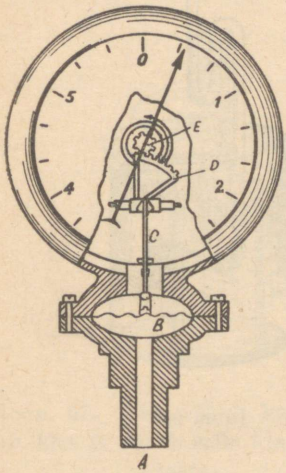
Seome lehtri õhukese kummiga pealt kinni ja asetame ta pudeli alumisesse avasse (joon. 61). Valades pudelisse vett, märkame, et kumm tõmbub pingule ja, kooldudes väljapoole, näitab vedeliku rõhumist anuma külgmisele seinale. Tähendab, vedelik valatuna anumasse rõhub mitte üksnes põhjale, vaid ka anuma külgseintele.

Seda võisime ette näha, kasutades Pascali seadust. Tõepoolest, vedeliku sammas *ABCD* (joon. 61) rõhub alumisele kihile. Vedeliku alumine kiht annab samba *ABCD* rõhumise edasi igas suunas, järelikult ka külgseinale.

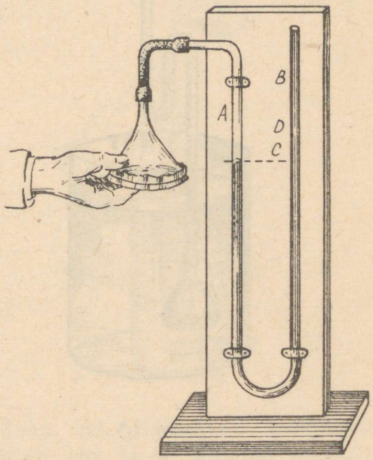
Võtame anuma, mille seinasse on tehtud mitmesugusele kõrgusele avad (joon. 62). Täidame anuma veega. Avadest purskavad veejoad. Mida madalamal on ava, seda kõrgem on

veesammas ülalpool ava, seda suurema kiirusega voolab veejuga. Vedeliku samba rõhumine on seda suurem, mida kõrgem on sammas.

47. Manomeetrid. Korraldades katseid vedeliku rõhumise tundmaõppimiseks, tegime kindlaks rõhumise olemasolu ja selle suuruse kummikelme kooldumise järgi, millele rõhus vedelik.



Joon. 63. Manomeeter.

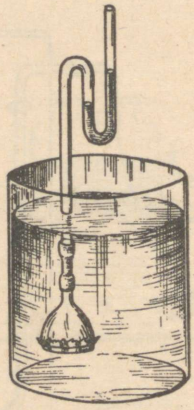


Joon. 64. Vedelikuga manomeeter.

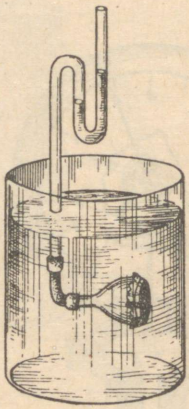
Rõhu mõõtmiseks kasutatakse tehnikas erilisi riistu, mida nimetatakse manomeetriteks. Joonisel 63 on kujutatud tehnilise manomeetri ehitus.

Vetruv metallplaadike *B* paindub temale tekitatud rõhu tõttu. Mida tugevam on rõhk, seda rohkem paindub plaadike. Plaadikese paindumine liigutab varba, mis pöörab noolega ühendatud hammasrattakest *E*. Noole asukoha järgi võib otsustada rõhu suuruse üle plaadile. Manomeetri skaalal on jaotised, mis näitavad rõhku.

Väikeste rõhkude mõõtmiseks kasutatakse manomeetrit, mis koosneb painutatud klaastorukesest (joon. 64) ühes mingi vedelikuga. Kui rõhud torus olevale vedelikule on mõlemast küljest võrdsed, siis on vedelik mõlemas harus ühesugusel tasemel. On ühes harus rõhk vedelikule suurem kui teises, siis on vedeliku tase selles harus madalam, teises harus aga kõrgem.



Joon. 65.

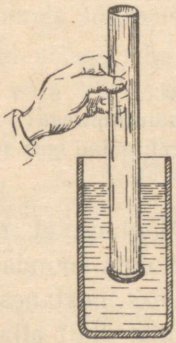


Joon. 66.

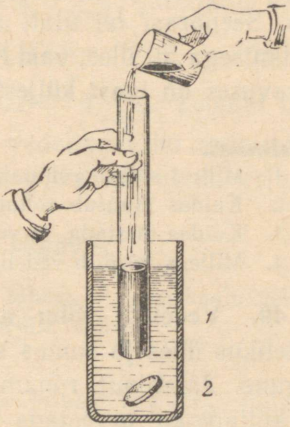
Ühendame manomeetri (joon. 64) klaaslehtriga, mille laiem ava on kaetud kummikelmega. Kui rõhume kelmele, siis märgib manomeeter selle rõhu vedelikusamba taseme tõusuga harus *B*. Mida tugevamini me kelmele rõhume, seda rohkem see paindub ja seda kõrgem on vedeliku tase harus *B*, võrreldes vedeliku tasemega harus *A*. Vedelikusamba *CD* kõrguse järgi võib otsustada rõhu suuruse üle.

48. Rõhumine vedeliku sees. Paneme vedeliku sisse väikese lehtri, mis on tihedasti kaetud kummikelmega ja ühendatud väikese manomeetriga (joon. 65).

Andes lehtrile mitmesuguseid asendeid, märkame, et vedelik rõhub mitte ainult ülalt alla, vaid on olemas ka rõhumine alt üles ja rõhumine külgedelt (joon. 66). Mida sügavamale on lehter vajutatud, seda suuremat rõhumist näitab manomeeter. **Rõhumine vedeliku sees suureneb sügavuse suurenemisega.**



Joon. 67. Vesi rõhub kartongile alt üles ja surub selle klaasi äärt vastu.



Joon. 68. Rõhumine kartongile ülalt alla ja alt üles on võrdsed, kartong langeb klaasi küljest ära seepärast, et tal on kaal.

Laseme veega klaaspurki klaastoru, mille alumine ots on kaetud kartongiga [1] (joon. 67). Toru vette laskmisel surub veesurve kartongi alt üles tihedasti vastu toru ääri.

Hakkame torusse aegamisi vett valama. Näeme, et kartong läheb toru küljest lahti, kui vedeliku tase torus ühtib vedeliku tasemega purgis (joon. 68). Lahtiminemise momendil rõhub ülalt kartongile vedelikusammas, mis on torus, alt aga rõhub

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

vedelik, mis on purgis. Kuna kartong sel juhul eemaldub klaasist, siis võime järeldada, et mõlemad rõhumised on omavahel võrdsed, kartong aga eemaldub klaasist oma raskuse tõttu.

Tähendab, ühes ja samas sügavuses on vees rõhumine ülalt alla ja alt üles ühesugune. Veekiht, mis on ülalpool toru alumist äärt (joon. 68), rõhub tema all olevale veekihile 2. See rõhumine antakse kihi 2 poolt edasi muutuseta igas suunas. Seepärast on ülalt alla rõhumine võrdne mitte üksnes rõhumisega alt üles, **vaid rõhumine vedeliku sees ühes ja samas sügavuses on igast küljest ühesuurune.**

Küsimusi.

1. Millest sõltub rõhumine vedeliku sees?
2. Kuidas muutub rõhumine sügavuse muutumisega?
3. Kuidas tõestada, et vedeliku sees on rõhumine igas suunas?
4. Millega võrdub vedeliku rõhumine alt üles?

49. Vedeliku rõhu arvestamine. Nägime, et rõhumine vedelikus ühes ja samas sügavuses on kõigis suundades ühesugune. Järelikult rõhumise arvestamiseks mistahes suunas on küllalt, kui arvestada vedeliku rõhumist ülalt alla.

Teame, et rõhuks nimetatakse jõudu, mis mõjub 1 cm^2 pindalale. Oletame, et mensuuri on valatud vesi. Kui lasta 1-ruutsentimeetriline plaadike mensuuri 5 cm sügavusse ja asetada see plaadike rööbiti vedeliku pinnaga, siis rõhub sellele pindalale veesammas kõrgusega 5 cm. Kuna veesamba aluse pindala võrdub plaadikese pindalaga, s. o. 1 cm^2-ga, siis on veesamba üldkaal 5 g. Järelikult on rõhk 5 cm sügavuses $5\frac{g}{cm^2}$. Kui laseme plaadikese 10 cm sügavusse, siis suureneb samba kõrgus 2 korda; tähendab 2 korda suureneb ka veesamba kaal ja rõhk 10 cm sügavuses on $10\frac{g}{cm^2}$.

Rõhk vedeliku teatud sügavuses on võrdne vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindala on 1 cm^2 ja kõrgus on võrdne mõõdetava kihi kaugusega vedeliku tasemest anumas.

Kui mensuuri valatakse mitte vett, vaid näiteks elavhõbedat, mille erikaal on vee erikaalust 13,6 korda suurem, siis ka elavhõbedasamba kaal on võrdsetes tingimustes 13,6 korda suurem kui veesamba kaal. Järelikult ka rõhk on 13,6 korda suurem. Väiksema erikaaluga vedelik tekitab ühesuguse samba kõrguse juures ka väiksema rõhu.

Vesi tekitab 5 cm sügavuses rõhu 5 $\frac{g}{cm^2}$, järelikult elavhõbe tekitab rõhu, mis võrdub $5 \times 13{,}6 = 68 \frac{g}{cm^2}$. Piiritus tekitab samas sügavuses rõhu $5 \times 0{,}8 = 4 \frac{g}{cm^2}$. Toodud näidete järgi võime teha järelduse, et vedeliku rõhu arvestamiseks on vaja kihi sügavust sentimeetrites korrutada erikaaluga.

Rõhk = erikaal × sügavus.

Tähistades rõhu tähega p, sügavuse tähega h ja erikaalu tähega d, saame vedeliku rõhu arvestamiseks sellise valemi:

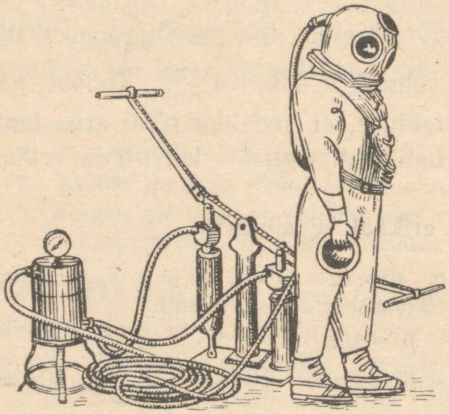
$$p = dh.$$

Kui h on väljendatud sentimeetrites, erikaal aga $\frac{g}{cm^3}$, siis saadakse rõhk $\frac{g}{cm^2}$.

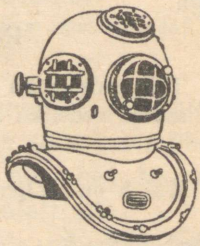
50. Tuukri ülikond. Inimesel tuleb tööd teha mitte üksnes kuival maal, vaid tihti ka vee all. Selliseid veealuseid töid on väga palju, alates laeva veealuste osade ülevaatuse ja parandusega ning lõpetades merepõhjas vundamendi panemisega tuletornidele, jõepõhja kindlustamisega alussammaste panekuks sildade, tammide ja elektrijaamade hoonete jaoks.

Tuukri ülikond (joon. 69) tehakse õhukindlast kummiriidest. Ülikond koosneb pluusist, mis on ühendatud pükstega ja mida tuuker paneb oma riiete peale kaelaaugu kaudu. Selle ava ülemine äär kruvitakse vasksele rinnakilbile, mis samuti pannakse selga üle pea. Rinnakilbi ülemisel osal on metallkübara kinnikruvimiseks kruvikeermed. Kübarasse on tehtud aknakesed (joon. 70), mis on kaetud paksu klaasiga (illuminaatorid). Kübara tagumise osa külge kruvitakse pumbaga ühenduses olev kummitoru, mille kaudu antakse värsket õhku. Kübara taga on sulgklapp tarvitatud õhu väljalaskmiseks. Sulgklapi paneb

tuuker tegevusse pea liigutusega. Sulgklapp on kübarasse nii ehitatud, et kui katkeb toru, mis saadab kübarasse õhku, siis sulgub sulgklapp ja kübarasse jääb küllalt õhku, et tuuker võib üles tõusta. Tuukri rinnale ja seljale riputatakse rasked seatina plaadid, jalga aga pannakse erijalanõud paksude seatinataldadega. Need seatinast raskused annavad tuukrile võimaluse põhjas liikuda. Nende raskusteta tõuseks tuuker, eriti siis, kui ülikond on puhevil, tingimata veepinnale. Tuukri piha külge kinnitatakse signaalnöör, mille abil tuuker võib anda üles



Joon. 69. Tuukriülikond.



Joon. 70. Kübar.

leppemärke, mõnikord aga põimitakse signaalnööri külge kübarasse paigutatud telefoni juhtmed, mille abil tuuker võib kõnelda teda allasaatnud laevaga. Kuna sügaval on pime, siis varustatakse tuuker elektrilaternaga.

Vee alla laskub tuuker kas väikest redelit mööda või nööri abil, mille otsa külge on seotud suur raskus (joon. 71).

Rõhk vedelikus kasvab võrdeliselt sukeldumise sügavusega. Seepärast tunnevad kehad, mis asuvad merede suurtes sügavustes, tohutut rõhku.

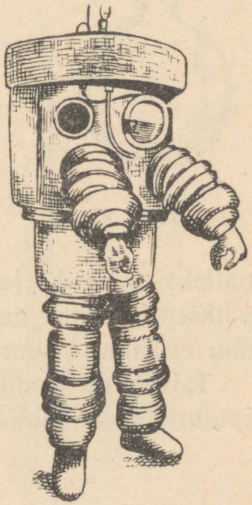
Arvutame näiteks merevee rõhu 100 m sügavuses. Merevee erikaal on 1,03. Järelikult võrdub rõhk selles sügavuses:

$$10\,000 \cdot 1{,}03 = 10\,300 \frac{g}{cm^2} \text{ ehk } 10{,}3 \frac{kg}{cm^2}.$$

Sellistes suurtes sügavustes töötamiseks tuukri harilik ülikond ei kõlba. Nüüdsel ajal asendatakse kummiülikond tuukritöödel suures sügavuses eri metallseadisega, mis on valmistatud parimaist soomusterase liikidest (joon. 72). Seadise osad, mis on määratud tuukri käte ja jalgade jaoks, on tehtud liikuvaiks. Sõrmede asemel on seadisel erilised haarajad, mida tuuker juhib seadisest. Seadise kellakujuline ülemine osa on varustatud mitmesuguste instrumentide ja apa-



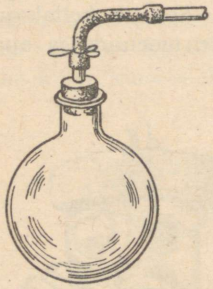
Joon. 71. Tuukri sukeldumine.



Joon. 72. Soomus-tuukri-ülikond töötamiseks suurtes sügavustes.

raatidega: ventiil hapniku andmiseks, mille vajalik tagavara on olemas seadises endas ja mida ei anta mitte „ülalt", nagu seda tehakse harilikus tuukri ülikonnas; padrunid süsihappe neelamiseks; telefon ja elektrikõlisti ühenduse pidamiseks „pealveega"; mitmesugused mõõduriistad ja elektrilambid. Kolm paksude klaasidega akent — üks suur ees ja kaks väikest külgedel — võimaldavad tuukrile näha kõigis suundades. Tuuker laskub põhja eriliste kettide abil. Üles tõusta võib tuuker ka ise, kui viskab ära raske rõnga, mis asetseb seadise peaosas.

51. Gaaside kaal. Õhu kaalu on katse abil kerge leida. Selleks võib võtta kraani või klemmiga varustatud klaaskera (joon. 73). Pumbata sellest osa õhku välja, sulgeda kraan ja tasakaalustada kera kaaludel. Kui nüüd klemm avada, siis läheb kerasse välisõhku ja kuul vajub alla. Tasakaalustamiseks tuleb asetada teisele kaalukausile väikesi vihte, millede kaal võrdub kerasse läinud õhu kaaluga. Kui sooritada selline katse, siis selgub, et 1 l õhku kaalub harilikes tingimustes ligikaudu 1,29 g.



Joon. 73.

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

Tabelis on toodud mitmesuguste gaaside erikaal 0° temperatuuri ja normaalrõhu [1] juures.

Gaaside erikaal:

Õhk	0,001293	Süsihappegaas	0,001965
Hapnik	0,001429	Valgustusgaas	0,0006
Lämmastik	0,001251	Vesinik	0,00009

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

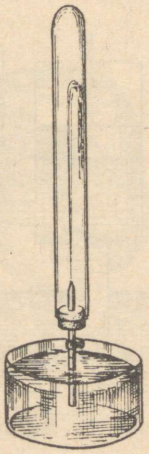
Maad ümbritsevat õhku nimetatakse atmosfääriks. (Sõna «atmosfäär» koosneb kahest sõnast: «atmos» — õhk,

[1] Mida nimetatakse normaalrõhuks, seda selgitatakse §-s 57.

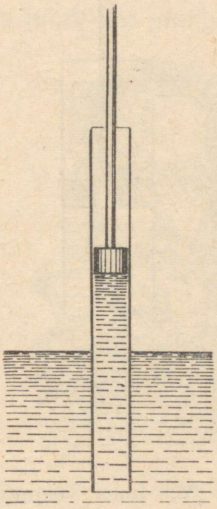
aur, ja «sfäär» — kera). Õhu rõhumist nimetatakse atmosfääri rõhuks.

Atmosfääri olemasolu võib selgitada katse abil.

Valame vett kitsasse ning pikasse klaastorusse, hoides ühe otsa sõrmega kinni. Toru võib ettevaatlikult keerata lahtise otsaga alla, ilma et vesi torust välja voolaks: vee hoiab torus õhurõhumine alt. Kui avada ka toru ülemine ots, siis voolab



Joon. 74.



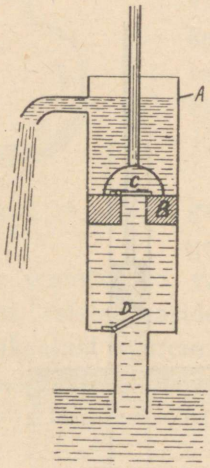
Joon. 75.

vesi torust välja, sest sel juhul rõhub õhk veele ka ülalt: rõhumine alt ei suuda tasakaalustada rõhumist ülalt ja vee kaalu, seepärast vesi voolab välja.

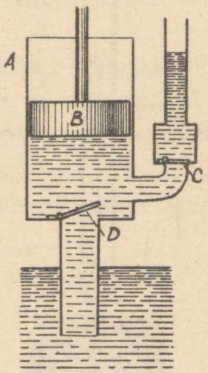
Kui torust, mille üks ots on kinni joodetud, lahtine ots aga on varustatud kraaniga, pumbata välja õhk, paigutada toru lahtine ots vette ja avada kraan, siis pritsib vesi joana (purskkaevuna) toru sisemusse (joon. 74). Toru sisemuses ei ole õhurõhumist ja vesi läheb välisõhu survel torusse.

Laseme alumist otsa pidi vette laia klaastoru, millesse on pandud tihedasti vastu toru seinu hoiduv kann. Kui tõsta kann üles, siis tõuseb ühes kannuga ka vesi (joon. 75).

Kannu ja vee vahel kannu tõstmisel õhku peaaegu ei ole. Vett sunnib tõusma kannu järel välisõhu rõhumine. Nagu me hiljem näeme, on see nähtus ärakasutatud veepumba ehitamisel.



Joon. 76. Imev veepump.



Joon. 77. Surupump.

53. Kuidas töötab veepump. Veepump, mis on kujutatud joonisel 76, koosneb torust *A*, mille sees liigub üles ja alla tihedasti vastu toru seinu hoiduv kann *B*. Toru alumisse ossa ja kannusse on ehitatud ainult ülespoole avanevad uksekesed *C* ja *D*, mida nimetatakse klappideks.

Kannu tõstmisel avab vesi alumise klapi ja tõuseb kannu järel.

Kannu allalaskumisel vesi, mis on kannu all, rõhub alumisele klapile *D* ja suleb selle. Vesi ei saa minna alla, avab kannus oleva klapi *C* ja läheb kannu peal olevasse ruumi.

Järgneval kannu tõstmisel tõuseb ühes kannuga selle peal olev vesi ja voolab äravoolutorusse. Samal ajal tõuseb kannu all uus veeannus, mis kannu allalaskumisel paigutub kannu peale.

Sellist pumpa nimetatakse imevaks pumbaks.

Pumpa, mis on kujutatud joonisel 77, nimetatakse surupumbaks. Selles pumbas on umbne kann; esimene klapp *D* on toru alumises osas, aga teine klapp *C*, mis eraldab ülestõstetud vee, on asetatud torusse, mis juhib vee pumbast välja.



Torricelli.



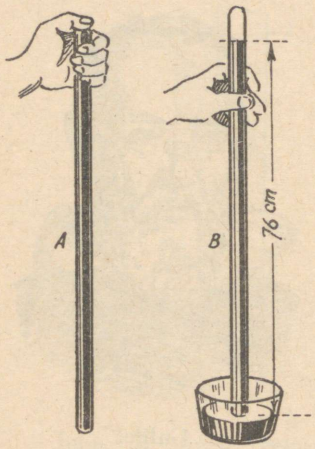
Galilei.

54. Atmosfääri rõhumise suurus. Pumba ehitust tunti juba kauges minevikus. Selleaegsed teadlased seletasid vee liikumist pumbas asjaoluga, et «loodus kardab tühjust». Kuni pumpasid ehitati väikese kõrgusega, ei seganud veetõusmise põhjuse ebaõige seletus kedagi ega olnud põhjust seda seletust ümber lükata.

Aga 1640. aastal ehitati Florenz'is — Itaalia rikkas kaubanduslinnas — kaevandusest vee väljapumpamiseks kõrge pump. Kui pump oli valmis ja kui sellega katsuti vett tõsta, siis tõusis vesi kannu järel ainult 10 m kõrgusele. Kuidas

insenerid ka pumba konstruktsiooni parandasid, vesi ei tõusnud kõrgemale — pump ei andnud vett.

Oli vaja selgitada selle nähtuse põhjus ja insenerid pöördusid kuulsa teadlase Galilei poole. Galilei oli sel ajal väga vana ja haige. Ta ei võinud tegelda selle küsimuse lahendamisega, kuid avaldas mõtte, et kui vesi tõuseb pumbas kuni 10 m, siis tõuseks õli, mis on veest kergem, kõrgemale, aga elavhõbe, mis on veest 13,6 korda raskem, ei tõuseks 10 m kõrgusele, vaid 13,6 korda väiksemale kõrgusele.



Joon. 78.

Galilei oletust kontrollis katsega 1642. a. tema õpilane Torricelli.

Torricelli võttis 1 meetri pikkuse klaastoru, mille üks ots oli kinni joodetud. Ta täitis selle toru elavhõbedaga ja, sulgenud lahtise otsa sõrmega, asetas selle kausikesse, milles oli elavhõbe (joon.78). Kui ta sõrme lahtiselt otsalt ära võttis, siis langes elavhõbe, kuid toru ei voolanud tühjaks. Elavhõbedasamba kõrgus torus oli umbes 76 cm. Torricelli avaldas mõtte, et vee tõusmise põhjuseks pumbas või elavhõbeda tõusu põhjuseks torus on õhurõhumine.

Nagu õhurõhumine sunnib pumbas vett tõusma kannu järel, täpselt samuti hoiab ülal välisõhu rõhumine elavhõbedasamba Torricelli torus, sest torus ei ole elavhõbeda peal õhku.

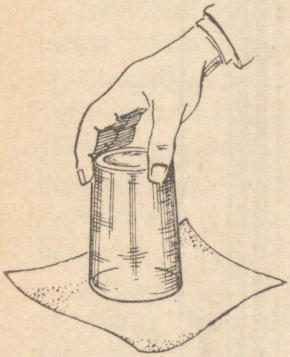
Kui hiljem teadlane Guericke tegi kõrge ülalt kinnijoodetud klaastoru, mis oli täidetud veega, siis tõusis vesi torus ainult 10,34 m.

Arvutame, kui suure rõhu tekitab elavhõbedasammas, mille kõrgus on 76 cm. Kuna elavhõbeda erikaal on 13,6 $\frac{g}{cm^3}$, siis

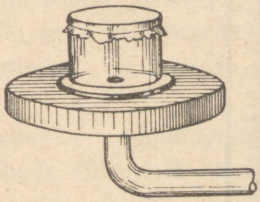
76 cm kõrguse ja 1 cm^2 alusega elavhõbedasamba kaal on $13{,}6 \times 76 = 1033{,}6$ g; tähendab tema poolt tekitatud rõhk on võrdne 1033,6 $\frac{g}{cm^2}$ ehk 1,0336 kg/cm^2.

Küsimusi.

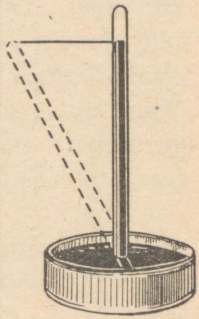
1. Milles seisis Torricelli katse?
2. Mida soovis Torricelli oma katsega kontrollida?
3. Arvake, kas Galilei oletus leidis Torricelli katsega kinnitust?
4. Mispärast tuleb vesi pumbas kannule järele?



Joon. 79.



Joon. 80.



Joon. 81.

5. Valage klaas vett täis, katke ta paberilehega ja hoides lehte käega, pöörake klaas põhjaga üles. Mispärast ei voola vesi välja, kui käsi lehelt ära võtta (joon. 79)?

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

7. 1 m pikkusest torust, mille üks ots on kinni joodetud, teises otsas aga on kraan, pumbati välja õhk. Kraaniga toruots asetati elavhõbedasse ja avati kraan. Kas täidab elavhõbe toru kogu pikkuses?

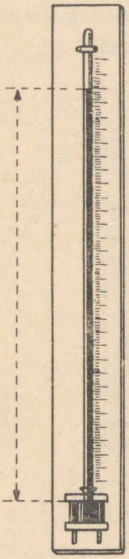
8. Kui suur on õhurõhk 1 dm^2-le?

9. Mis juhtub kummikelmega, millega on kaetud klaaspurgi ava, kui purgist pumbata õhk välja (joon. 80)?

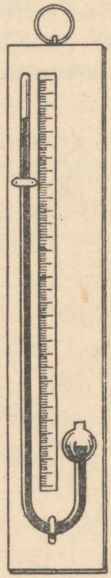
10. Arvutada, kui suure jõuga rõhub atmosfäär kelmele, mis katab purgi ava, kui ava pindala on 100 cm^2.

11. Mis juhtub elavhõbedasambaga, kui kallutada Torricelli toru (joon. 81)?

12. 1654. aastal pumpas teadlane Otto Guericke õhu välja kahest kokkupandud vaskpoolkerast. Õhurõhumine surus nii tugevasti poolkerad teineteise ligi, et neid ei suutnud lahti tõmmata 8 paari hobu-



Joon. 82. Anumbaromeeter.



Joon. 83. Sifoonbaromeeter.

seid. Arvutada õhurõhumine poolkeradele, kui pindala, millele rõhub õhk, on 1400 cm^2.

13. Miks ei lähe katki kummikelme, kuni purgist pole hakatud õhku välja pumpama (joon. 80)?

55. Baromeeter. Kui Torricelli riista juurde valmistada vertikaalne skaala, mille järgi võib mõõta elavhõbedasamba kõrgust, siis saame sellega mõõta atmosfääri rõhku.

Sellel põhimõttel on ehitatud eriline riist, mida nimetatakse

b a r o m e e t r i k s (kreekakeelsest sõnast *baros,* mis tähendab — raske). Selline riist on kujutatud joonisel 82.

Torricelli toru, mis on asetatud lahtise otsaga elavhõbedaanumasse, on ühes anumaga kinnitatud jaotistega varustatud lauakese külge. Seesugust baromeetrit nimetatakse a n u m b a r o m e e t r i k s (joon. 82). Vaadeldes baromeetrit järjest mitu päeva, märkame, et rõhk pole kogu aeg muutmata. Elavhõbedasammas on kord kõrgemal (rõhk suureneb), kord madalamal (rõhk langeb). Need kõikumised mingi keskmise suuruse ümber ulatuvad mitme sentimeetrini.

Mõnikord valmistatakse elavhõbe-baromeeter ainult klaastorust ilma anumata — s i f o o n b a r o m e e t e r (joon. 83).

Sifoonbaromeetri klaastoru koosneb kahest harust: pikk haru on ülevalt kinni joodetud ja täidetud elavhõbedaga. Lühike haru on avatud ja lõpeb laiendiga, kuhu valgub elavhõbe rõhu vähenedes. Elavhõbeda rõhumine pikas harus tasakaalustatakse õhurõhumisega elavhõbeda pinnale lühikeses harus.

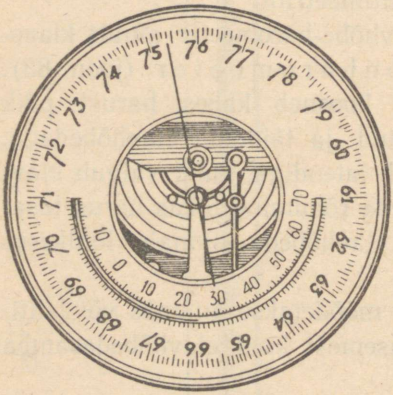
Samba kõrgust baromeetris mõõdetakse anumas või lahtises harus oleva elavhõbeda tasemest kuni elavhõbedasamba tasemeni torus.

Küsimusi.

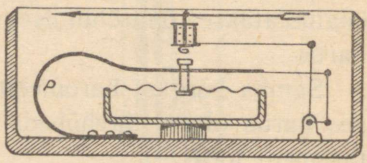
1. Kuidas on ehitatud anumbaromeeter?
2. Kuidas on ehitatud sifoonbaromeeter?

56. Aneroid. Elavhõbebaromeetrid näitavad täpselt, kuid nõuavad käitlemisel suurt ettevaatust: nad võivad kergesti puruneda, torusse võib sattuda õhk. Märksa sobivamad, eriti transportimisel, on a n e r o i d - b a r o m e e t r i d (joon. 84). Sõna «aneroid» tähendab vedelikuta. Aneroid- ehk metallbaromeetri peamiseks osaks on lainelise kaanega lame metallkarbike (joon. 85). Sellest karbikesest pumbatakse õhk välja ja et atmosfääri rõhk ei suruks karpi puruks, on lainelise kaane

keskele tehtud sambake, mida vedru *P* kisub üles. Niiviisi paindub rõhu suurenemisel karbikaaneke alla, rõhu vähenemisel aga ajab vedru kaanekese uuesti sirgemaks. Sambakesele on edasiande-mehhanismi abil kinnitatud osuti, mis rõhu muutuse tagajärjel liigub vasakule või paremale. Osuti alla kinnitatakse skaala, millele märgitakse jaotised elavhõbebaromeetri andmeil. Nii näiteks näitab arv 754, millele osutab nool (joon. 84), et antud momendil on elavhõbedasammas elavhõbebaromeetris 754 mm kõrge. Aneroidid on väga tundlikud ja sobivad transportimiseks, kuid kahjuks vedru elastsus pole püsiv, mistõttu aneroidi algul õiged näitamised võivad aja jooksul osutuda ebaõigeiks.



Joon. 84.



Joon. 85.

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

Eriti suur tähtsus on atmosfäärirõhul ilma ennustamisel lähemateks päevadeks. Olenevalt atmosfäärirõhu muutusest muutub ka ilm. Seepärast on baromeeter tarvilikuks riistaks meteoroloogilistel [1] vaatlustel.

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

Küsimusi.

1. Miks atmosfäärirõhk ei suru katkī metallkarpi, millest on õhk välja pumbatud?
2. Mida tähistavad aneroidi skaala arvud?
3. Millist rõhku märgib aneroid joonisel 84?

57. Atmosfäärirõhk mitmesugustel kõrgustel. Kuna atmosfäärirõhu põhjuseks on õhu kaal, siis võib arvata, et mäe otsa tõusmisel peab üleval olevate kihtide kaalu vähenemise tõttu vähenema ka õhurõhk.

Selle oletuse kontrollimiseks tegi Pascal 1648. a. oma sõpradele ülesandeks teostada Torricelli katse üheaegselt mäetipul ja mäejalal. Katse kinnitas Pascali oletust, Rõhk mäetipul osutus väiksemaks kui mäejalal. Järelikult, vastavalt tõusule maapinnast kõrgemale väheneb atmosfäärirõhk.



Pascal.

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

Atmosfäärirõhku, mille tasakaalustab 0° juures 76 cm ehk 760 mm kõrgune elavhõbedasammas, nimetatakse normaalrõhuks. Tähendab, normaalne atmosfäärirõhk on 1033,6 g/cm² ehk 1,0336 kg/cm².

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

Nõukogude vaatlejad, kes tõusid erilises õhupallis (stratostaadis) atmosfääri ülemistesse kihtidesse (stratosfääri), märkisid 19 km kõrgusel rõhuna 50 mm.

Järgnevas tabelis on toodud baromeetrilised rõhud mõningatel kõrgustel.

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

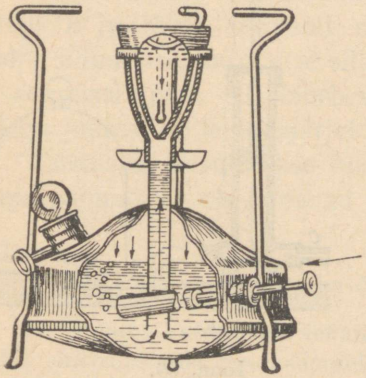
Teades, kuidas alaneb rõhk olenevalt koha kõrgusest, võib baromeetri näitamise järgi kindlaks määrata koha kõrguse merepinnast. Väikeste tõusude juures kuni 3000 m võib arvestada, et keskmiselt iga 12 m tõusu kohta alaneb rõhk 1 mm võrra. Väga tundlikke metallbaromeetreid, mis omavad skaalat, millelt võib vahetult lugeda koha kõrgust, nimetatakse altimeetriteks (kõrgusemõõtjaiks) ja neid kasutatakse lennuasjanduses ning mägedele tõusmisel.

Küsimusi.

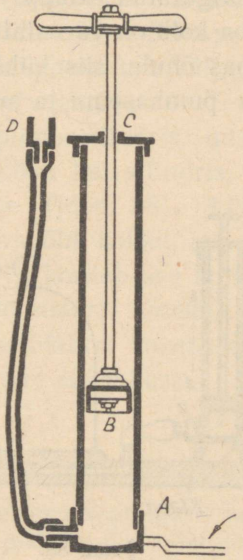
1. Kuidas muutub õhurõhk olenevalt koha kõrgusest?
2. Mispärast on mäetipul rõhk väiksem kui mäejalal?
3. Arvutada rõhumise tugevus 2 m^2 pindalaga katla seintele, kui rõhk katlas on 5 atmosfääri.
4. Arvutage atmosfääri rõhumine täiskasvanud inimese kehale, kui keha pindala on umbes 1,5 m^2.
5. Mis on altimeeter ja milleks seda kasutatakse?
6. Kuidas muutub atmosfäärirõhk tõusul?
7. Mõõtke aneroidiga rõhku maja alumisel ja ülemisel korrusel. Kus on rõhk suurem?

58. Gaasi ruumala ja rõhumine. Suleme jalgrattapumba ava sõrmega ja vajutades kolvile surume kokku gaasi — vähendame ta ruumala. Me tunneme, kuidas pumbasse sule-

tud õhk rõhub sõrmele. Niipea kui vajutamise kolvile katkestame, tõstab kokkusurutud õhk oma rõhumisega kolvi üles ja võtab enesele endise ruumala. Jalgpalli võib pumbata väga palju õhku. Õhu rõhumise tõttu tõmbuvad palli seinad kergelt pingule. Tarvitseb vaid palli õhukumm avada või teha sellesse ava, kui õhk hakkab sellest välja tulema. Need nähtused näitavad, et ruumala, mille gaas enda alla võtab,



Joon. 86. Priimus.



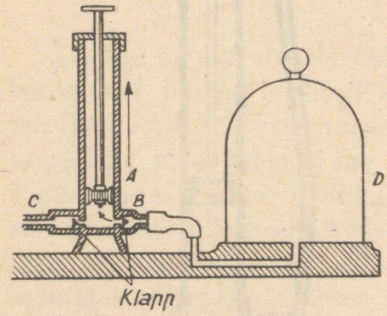
Joon. 87. Suur pump ratta- ja autokummide jaoks. *A* — jalapide pumbahoidmiseks tööajal. *B* — kolb ühes nahast kübarakesega. *C* — õhuava pumbasse mineva õhu jaoks. *D* — metallkruvi pumba ühendamiseks rattakummiga.

oleneb rõhust, mille all ta on, ja rõhk, mida gaasid avaldavad anuma seintele, sõltub gaasi ruumalast. Vähendades gaasi ruumala, me suurendame tema poolt tekitatavat rõhku, aga suurendades gaasi ruumala — s. o. hõrendades gaasi — vähendame gaasi rõhku.

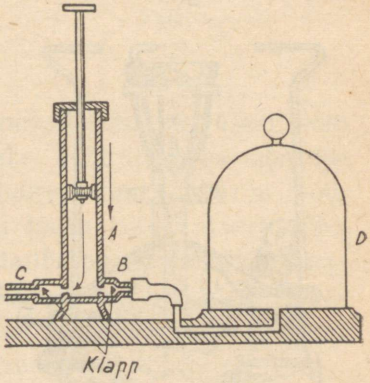
59. Õhutihenduspump. Õhu pumpamiseks, või nagu öeldakse, õhu surumiseks tarvitatakse erilisi pumpasid. Selli-

seid pumpasid kasutatakse näiteks õhu pumpamiseks priimusesse ja jalgrattakummidesse.

Priimuse õhutihendaja pump (joon. 86) koosneb metalltorust, mille alumisse otsa, mis asetseb priimuse reservuaaris, on paigutatud klapp, mis avaneb reservuaari sisemusse. Pumba kolb on varustatud nahkkübarakesega. Kui kolb surub pumbas õhule, siis kübarake hoidub õhusurve tõttu tihedasti vastu pumbaseinu ja surudes õhku ajab selle klapi juurde.



Joon. 88.



Joon. 89.

Õhupump.

Kokkusurutud õhk avab klapi ja läheb pumbast reservuaari. Kui kolb tõmmatakse tagasi, siis pigistab välisõhk kübarakese kokku ja tungib pumbasse.

Samasugune on ka jalgrattapumba ehitus, ainult selle vahega, et klapp, mis suleb jalgrattakummisse surutava õhu, ei asu mitte pumbas endas, vaid rattakummis (joon. 87).

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

60. Õhuhõrenduspump. Jooniseil 88—89 on kujutatud lihtsaim koolipump, kusjuures joonise alumine osa, kus asuvad klapid, on kujutatud skemaatiliselt, et oleks võimalik paremini aru saada nende tegevusest.

Silindris *A* liigub tihedasti kolb (joon. 88). Silindri all on kaks klappidega otsikut, kusjuures ühe otsiku *B* klapp avaneb silindri sisemusse, teise otsiku *C* klapp avaneb väljapoole.

Olgu otsik *B* ühendatud mingi reservuaariga *D*. Tõmmates kolbi välja, hõrendatakse õhku pumbasilindris, mistõttu õhk reservuaaris, omades suuremat rõhku kui silindris, avab klapi *B* ja läheb osaliselt silindrisse (joon. 88). Lükates kolbi silindrisse, surutakse silindris olev õhk kokku, mis klapi *C* avamisel (joon. 89) läheb välja. Nii kordub see kolvi iga käigu juures, mille tagajärjel õhk reservuaaris hõreneb.

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

Küsimus.

Kuidas on ehitatud lihtsaim õhuhõrenduspump?

61. Pumba kasutamine tehnikas. Õhuhõrenduspumpasid kasutatakse elektrilampide, raadiolampide, termospudelite jne. valmistamisel. Kõigil neil juhtudel on vaja õhk anumast välja pumbata ja pärast pumpamise lõpetamist anum ise kinni joota. Teravad otsakesed, mida võib näha varemalt toodetud lampidel, ongi torude jäänused, mille abil lambid ühendati pumbaga.

On kohane meenutada hõrenduspumpade kasutamist raudteeliiprite töötlemisel. Kui kuiv puu ka ei oleks, on temas alati niiskust, ka maasse pandud täiesti kuiv liiper muutub väga kiiresti niiskeks. Raudteeliiper mädaneb kiiresti, rongide liiklemisele aga on mädanenud liiprid suureks ohuks. Et vältida raudteeliiprite mädanemist, pannakse need erilisse anumasse — vaakumkambrisse[1], kuhu on valatud mädanemisvastast vedelikku. Õhu hõrenemisel kambris tuleb õhk liipreist välja. Kui vaakumkambrisse lastakse õhku, siis tungib mädanemisvastane vedelik õhusurvel liipri pooridesse. Samal viisil immutatakse eriliste ainetega elektrimasinate mähiseid.

[1] Ladinakeelsest sõnast *vacuum* — õhutühi ruum.

Võimsaid pumpasid, mis on võimelised välja pumpama korraga suurt õhuhulka, kasutatakse tolmuimejana tööstustes, kus tekib palju tolmu ja prügi. Hästi sisustatud mehaanilistes puutöökodades on iga masina juures torustik, mis tuleb võimsa pumba juurest ja mis imeb ära töötamisel tekkivad laastud ja saepuru. Samasuguse pumbaga pumbatakse ka viljaterad elevaatoreisse. Sel kombel võib ümber paigutada mitte üksnes teri, vaid ka villa, puuvilla, kanepit ja muid materjale, mille erikaal on väike. Kuna need pumbad pumpavad välja õhu (ühes õhuga viivad kaasa ka nimetatud esemeid) ühest ruumist, siis vastupidi, ajavad nad õhu teise ruumi. Tähendab, pumpa võib kasutada ka õhu surumiseks. Sellised ventilaatorid annavad õhuvoolu sepaääsile, annavad õhku kõrgahjudesse malmi sulatamiseks, saadavad õhku kuivatuskambreisse puu kuivatamiseks, annavad majadesse puhast filtreeritud õhku, ventileerivad kaevandusi, pumbates välja tarvitatud õhku ja saates juurde puhast.

62. Gaasi elastsus. Nägime, et rõhumise suurendamisel surutakse gaas kokku. Niipea kui rõhumise suurenemine lõpeb, lakkab gaas edasi tihenemast ja rõhumise vähenemisel endise suuruseni võtab uuesti oma esialgse ruumala. Võtame silindri hästi täpsustatud kolviga. Kas me rõhume kolvile, vähendades gaasi ruumala, või tõmbame kolbi väljapoole, suurendades gaasi ruumala, ühel ja teisel juhul on meil selleks vaja rakendada teatud pingutust. Niipea kui lakkame mõjumast kolvi käepidemele, võtab gaas uuesti oma endise ruumala. Sellest peame järeldama, et gaasid on elastsed.

Gaaside elastsus on paljudel juhtudel tehnikas ära kasutatud. Jalgratta- ja autokummide elastsus on seletatav sellega, et neis on õhk. Uste sulgemiseks võib vedrude asemel väga tihti näha pneumaatilisi riistu, mis koosnevad silindrist, milles liigub tihedasti kolb, mis ukse avades surub silindris õhu kokku. Kokkusurutud õhk lükkab laienedes kolvi endisse asendisse, mille tagajärjel sulgub uks, mis on ühendatud kolviga.

Suurt kasutamist leiavad kahurite „pneumaatilised taandurid", mis lükkavad oma kohale tagasi laskmise ajal tagasipõrganud suurtükiraua. Paljud on arvatavasti kuulnud pneumaatilistest piduritest, mida kasutatakse rongide peatamiseks.

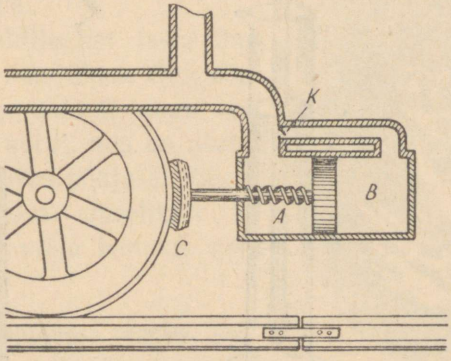
63. Pidur. Omast kogemusest teame, kui raske on kiire jooksu pealt korraga seisma jääda. Raudteerongide kiirus ulatub kuni 90 ja rohkemgi kilomeetrini tunnis. Kui vedurijuht sellise kiiruse juures, märganud teel mingisugust hädaohtu, pidurdaks ainult vedurit, siis

vagunid, jätkates oma liikumist, läheksid puruks ja purustaksid ka veduri. Rongi suure kiiruse tõttu peavad igal vagunil olema pidurid, mille abil võiks üheaegselt peatada kõiki vaguneid.

Pidurid töötavad harilikult suruõhuga.

Veduril on erireservuaar, kuhu aurumasin õhupumba abil pumpab õhu. Sellest reservuaarist läheb kogu rongi ulatuses torustik, millega on ühendatud rongi kõikide vagunite õhupidurid (joon. 90).

Pidur koosneb metallsilindrist, millesse on paigutatud kolb, mis jaotab silindri kahte ossa — *A* ja *B*; osas *A* on vedru, mis hoiab eemale kolvi ja sellega ühenduses oleva pidurikarbi. Kokkusurutud

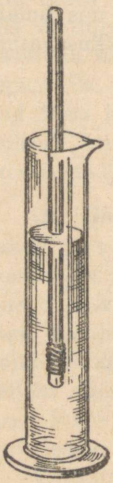


Joon. 90.

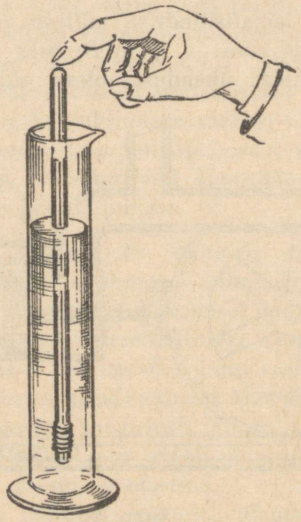
õhk satub torustikust silindrisse ja tekitab kolvile ühelt ning teiselt poolt võrdse rõhumise, mille tagajärjel vedruga tagasisurutav kann hoiab piduriliistu rattapöiast eemale. Kui avada kuskil torustiku kraan või kui torustik mõne avarii tagajärjel puruneb, siis väljub kokkusurutud õhk torustikust ja silindri osast *A*. Kokkusurutud õhk, mis on osas *B*, ei saa väljuda, sest klapp *K* avaneb ainult silindri sisemusse; kokkusurutud õhu rõhumine kolvile osa *B* poolt surub piduriliistu tugevasti vastu rattapöida.

Harilikult paneb piduri tegevusse vedurijuht, avades torustiku kraani, kuid ohu korral, mis ähvardab rongi, võib peatada rongi ka iga reisija, avades vagunis asetseva torustiku kraani. Rongi katkemisel katkeb ka torustik ja ühes sellega toimub kogu rongi automaatne peatumine.

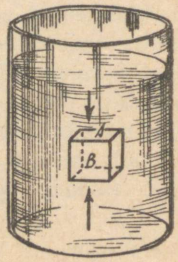
64. Vedeliku ja gaasi rõhumine neisse asetatud kehadele. Kui võtame kaevust pangega vett, siis kuni pang on vees, on teda kerge tõmmata. Niipea kui pang veest välja tõuseb, muutub ta tõmbamine väga raskeks. Supeldes paneme tähele, et vees võib hoida inimest kergesti ühel käel. Vähe sellest, me võime vees tõsta üsna suuri raskusi, mis kaldal osutuksid



Joon. 91.



Joon. 92.



Joon. 93.

üle jõu käivaiks. Võime näiteks vees liigutada kohalt määratu suuri puutüvesid, mida me ei suudaks nihutada kohalt, kui neid laine paiskab kaldale.

Et selgitada vaadeldavaid nähtusi, sooritame järgmise katse.

Valmistame puupulgast ujuki, mähkides ta ühe otsa tinapaberi või traadiga, et ta võiks vees vertikaalselt seista. Asetame selle ujuki vett sisaldavasse mensuuri (joon. 91). Kui surudes ujuki ülemisele otsale, vajutada see sügavale vette (joon. 92) ning võtta sõrm ära, siis tõuseb ujuk veepinnale.

Surudes ujukit vette, tunneme, et vesi surub vastu, mis tõukabki ujuki välja, kui sõrm ära võetakse.

Olgu meil anum vedelikuga, kuhu on asetatud kuubikujuline keha (joon. 93). Kuubikese tahule *A* rõhub vedelik ülalt alla, tahule *B* aga alt üles. Tahk *B* istub vedelikus sügavamal kui tahk *A*. Seepärast rõhub vedelik kuubikest ja iga muud vedelikku asetatud keha alt üles suurema jõuga kui ülalt alla. Vedelik tõukab välja temasse asetatud keha.



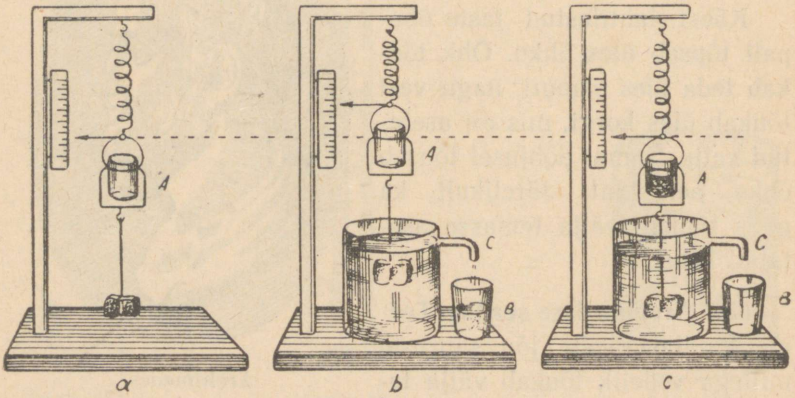
Archimedes.

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

65. Archimedese seadus. Teeme kindlaks selle jõu suuruse, millega vedelik tõukab välja temasse asetatud keha.

Sel eesmärgil kinnitame statiivile vedru, mille alumise otsa külge on seotud silmus väikese keeduklaasi jaoks (joon. 94 a) ja allpool klaasi on niidi külge seotud kivi. Märgime ära mõne näitaja abil, millise pikkuseni venib vedru. Asetame kivi alla veega purgi, mis on täidetud kuni torukese *C*-ni, et kivi võiks üleni vajuda vette. Vedru muutus lühemaks: see kinnitab veelkordselt, et vesi tõrjub välja temasse asetatud keha, aga osa vett voolab purgist klaasi *B* (joon. 94 b). Valame vee klaasist *B* klaasi *A*. Sedamööda, kuidas täitub klaas *A*, venib vedru ikka rohkem ja rohkem; kui klaasist *B* on välja valatud kõik vesi, venib vedru varemalt

märgitud pikkuseni (joon. 94 c). Et tasakaalustada vee väljatõrjejõudu, oli vaja klaasi valada nii palju vett, kui palju kivi varem tõrjus välja. Samasugune tulemus saadakse, kui selles katses vee asemel võtta mõni muu vedelik. Siit võib teha järelduse, et **vedelikku asetatud kehale mõjub väljatõrejõud, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.** Selle järelduse, millel on praktilises elus väga suur tähtsus, tegi kauges minevikus kreeka teadlane Archimedes, mispärast seda nimetataksegi **Archimedese seaduseks** [1].



Joon. 94 a, b, c.

Küsimusi.

1. Milles seisab Archimedese seadus?
2. Kuidas tõestada, et vesi tõrjub välja mitte ainult vette vajutatud puutükki, vaid ka kivi, kuigi see vees vajub põhja?
3. Kui suure jõuga tõrjutakse veest välja marmoritükki, mille ruumala on 20 cm^3?
4. Klaaskork ruumalaga 10 cm^3 on lastud petrooleumisse. Määrake, kui suure jõuga tõrjub seda välja petrooleum.
5. Vesi tõrjub kerakest välja 50 g jõuga. Määrake kerakese ruumala.

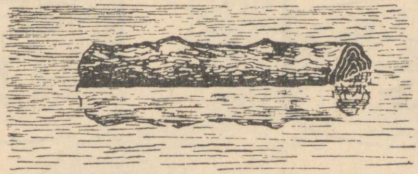
[1] Archimedes elas enam kui 2000 aastat tagasi.

66. Kehade ujumine. Vette asetatud keha on kahe jõu mõju all: 1) vertikaalselt alla mõjub temasse raskusjõud 2) vertikaalselt üles surub teda vesi jõuga, mis on võrdne keha poolt väljatõrjutud vee kaaluga.

Kui keha kaal on väljatõrjutud vedeliku kaalust s u u r e m, siis keha v a j u b p õ h j a.

Kui keha kaalub v ä h e m kui väljatõrjutud vedelik, siis ta t õ u s e b v e d e l i k u p i n n a l e.

Kui keha u j u b, siis on ta kaal v õ r d n e tema poolt väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

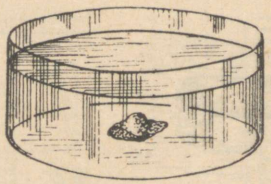


Joon. 95.

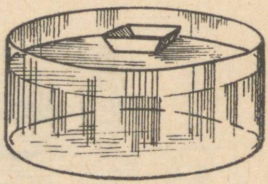
Keha, mis on valmistatud ainest, mille erikaal on väiksem vee erikaalust, ujub alati vee peal, sest ta kaal on väiksem vee kaalust keha ruumala suuruses (joon. 95). Et ujuks keha, mis on valmistatud ainest, mille erikaal on suurem vee erikaalust, on vaja kehale anda seesugune kuju ja mõõted, et vee kaal tema ruumala suuruses oleks suurem keha enda kaalust. Väikeseks tombuks kokkukeeratud seatinaleht (joon. 96) vajub vees põhja. Seatinast karbike, mis on valmistatud samast seatinalehest, ujub veel (joon. 97).

Tähendab, laeva ehitamisel on vaja pöörata peamine tähelepanu laeva kaalule, suurusele ja kujule. Laev tuleb kalkuleerida nii, et ta kaal ühes masinate ja muu koormusega oleks võrdne vee kaaluga, mille tõrjub välja vees istuv laevaosa. Seda vees istuvat laevaosa nimetatakse v e e a l u s e k s o s a k s ja see eraldatakse niinimetatud p e a l v e e o s a s t,

mis on veepinnast kõrgemal, värvilise vöödiga. Harilikult punast värvilist joont nimetatakse koormuse *süvisejooneks* ja see märgib ära taseme, milleni võib laev täiskoormuse korral vette vajuda. Laeva vees istuva osa ruumala täiskoormuse juures moodustab laeva *veeväljasurve* ja on laeva peamiseks iseloomustuseks. Kui öeldakse, et laeva veeväljasurve on 10 000 t, siis tähendab see, et ta kaal ühes koormusega on 10 000 t ja veealuse osa ruumala on 10 000 m^3.



Joon. 96.



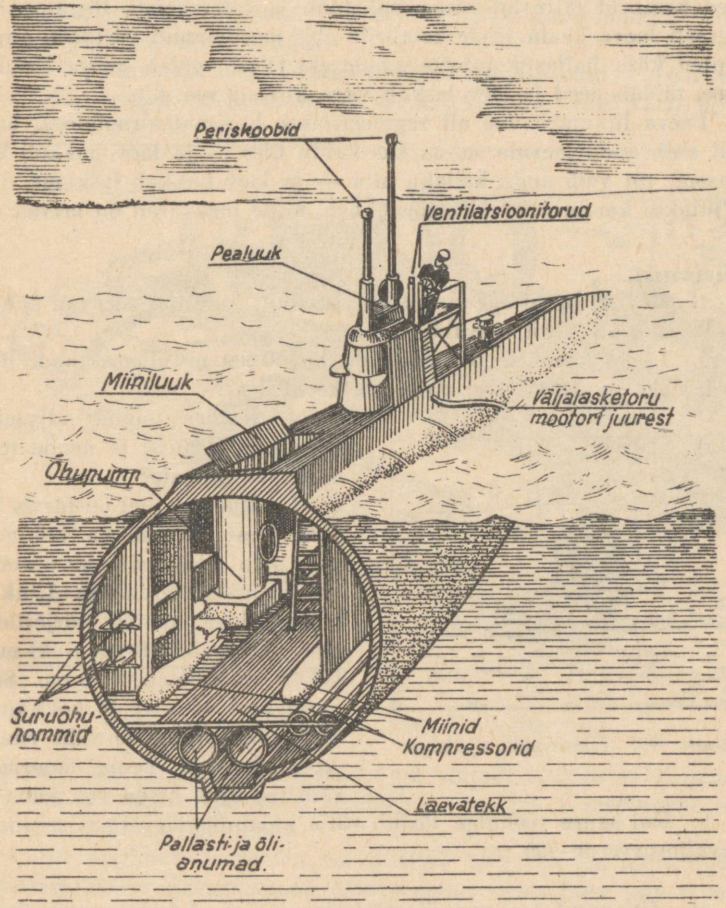
Joon. 97.

67. **Allveelaev.** Allveelaevaks nimetatakse sõjalaeva, mis võib sukelduda vee alla ja liikuda seal igas suunas teatud aja jooksul. Suurte allveelaevade pikkus on kuni 100 m, väiksemate allveelaevade pikkus aga 30 m (joon. 98).

Kuid laeva suurust iseloomustab mitte ta pikkus vaid ta veeväljasurve. Allveelaeva iseloomustavad kaks veeväljasurvet: pealvee-väljasurve, kui vees istub ainult teatud osa laevast, ja allvee-väljasurve, kui laev istub vees tervenisti. Allveelaevad ehitatakse veeväljasurvega 600—4000 t, s. o. suuruselt pole nad väiksemad suurest jõelaevast. Nüüdisaegsed allveelaevad ei karda laineid ja võivad igasuguse ilmaga viibida merel kuni üks kuu. Seni kasutatakse allveelaevu ainult sõjalisteks otstarveteks. Tänu sellele, et allveelaev võib kiiresti sukelduda (tal on selleks vaja 1—$1^1/_2$ min.), on ta tõsiseks vastaseks isegi kõige suurematele pealvee-sõjalaevadele.

Laeva alumises osas (joon. 98) asetsevad kambrid, mis täituvad veega. Nende kambrite ülesanne on erinev: ühed on laeva üldise kaalu muutmiseks (tasakaalustavad kambrid), teised on laeva sukeldumiseks (ballastikambrid) ja lõpuks — kambrid laeva tasakaalu muutmiseks pikisuunas (diferentkambrid).

Laeva kaal sõites muutub: tarvitatakse ära **kütteainet, määrde**ainet, mürske, mille abil laev peab lahingut. Kui sellele tähelepanu



Joon. 98. Allveelaev.

mitte osutada, siis istub laev vees (pealvee-sõidul) tunduvalt vähemal määral kui tarvilik. Laeva süvisejoon osutub siis kõrgel pealpool vett olevaks ja laev hakkab tugevasti kõikuma.

Et seda vältida, asendatakse äratarvitatud materjalide kaal vee kaaluga tasakaalustamiskambreis. Kambrid, mis on tarvilikud laeva sukeldumiseks, on ruumalalt võrdsed laeva pealvee-osaga. Niipea kui need kambrid täituvad veega, sukeldub laev tervenisti. Reguleerinud aegsasti laeva kaalu teiste kambrite abil ja silmanud vaenlast, annab kapten käsu ballastikambrite avamiseks. Vesi voolab neisse kambritesse, täidab need ja laev laskub väga kiiresti vee alla.

Laeva liikumist vee all reguleeritakse horisontaalroolidega, mille abil võib anda laevale suuna kas kaldu üles — ja laev hakkab üles tõusma, või võib anda kallaku alla — ja laev hakkab laskuma. Vesi tõrjutakse kambritest välja suruõhuga, mille tagavarad on laevas.

Küsimusi.

1. Millisel juhul kehad ujuvad vedelikus ja millal vajuvad põhja?
2. Mis on laeva veeväljasurve?
3. Laeva veealuse osa ruumala on 10 000 m^3. Laeva kaal ühes masinatega on 3000 t. Kui palju on laeval lasti?



Joon. 99. Üleminek ujukiga.

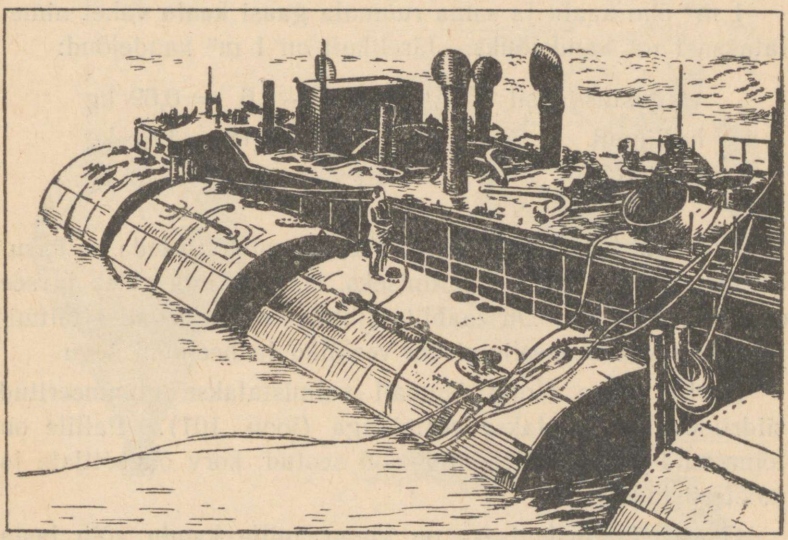
4. Kuidas toimub allveelaevade sukeldumine ja nende tõusmine vee pinnale?
5. Kui sõjaväel on tarvis kiiresti jõest üle minna kohtades, kus pole silda, siis kasutatakse erilisi ujukeid (joon. 99). Ujuk on kummikihiga kaetud purjeriidest kott. Täispuhutult on ujuki mõõted 70 cm × 30 cm × 30 cm. Selle ujuki kaal on 2 kg ja kokkupandud olekus võtab ta vähe ruumi. Arvutada, kui suure koormuse võib see ujuk hoida vee peal.
6. Kui suure veehulga tõrjub välja kalapüügilaev (traaler), mille veeväljasurve on 900 t?

68. Uppunud laevade ülestõstmine. Kui siduda suure korgi külge seatinakoormus ja vajutada kork ühes koormusega vee alla, siis niipea kui korgi lahti laseme, tõuseb ta pinnale ja tõstab enda järel seatinakoormuse. Mida suurem on korgi ruumala, seda suuremat koormust suudab ta tõsta. Nii siis võib kõnelda vedelikku asetatud keha kandejõust.

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

Vedelikus olevate kehade kandejõud leiab kasutamist uppunud laevade tõstmisel mere põhjast.

Vee alla lastakse suured veega täidetud metallvaadid — p o n t o o n i d. Need pontoonid kinnitatakse vee all, ühel või teisel viisil, uppu-



Joon. 100. Jäälõhkuja „Sadko" ülestõstmine.

nud laeva parda külge. Kui kinnitus on tehtud, aetakse pontoonidest suruõhu abil vesi välja, mille tagajärjel laev kerkib veepinnale, kus teda võib hakata remontima.

Palju uppunud laevu on sel kombel üles tõstnud Erilaadiliste Veealuste Tööde Ekspeditsioon (Экспедиция подводных работ особого назначения, lühendatult ЭПРОН). 1933. a. sügisel tõsteti Polaarmere põhjast sel viisil üles jäälõhkuja „Sadko", mis uppus 1916. a. (joon. 100). „Sadko" ülestõstmiseks valmistati nõukogude tehastes 12 määratu suurt pontooni, igaüks kandejõuga 200 t. Samal viisil tõstis ЭПРОН üles 1914. a. Mustas meres uppunud kauba-reisilaeva „Merkuri" ühes lastiga ja palju teisi laevu.

69. Õhuasjandus. Kui õhupalli kaal ühes kesta ja koormusega on väiksem tema poolt väljatõrjutud õhu kaalust, siis tõuseb pall üles. Seepärast täidetakse õhupallid gaasiga, mis oma erikaalult on õhust kergemad. Normaalse õhurõhu ja 0° C juures kaalub 1 m³ õhku 1,29 kg, valgustusgaas — 0,6 kg, heelium — 0,18 kg, vesinik — 0,09 kg.

1 m³ õhu kaalu ja sama ruumala gaasi kaalu vahet nimetatakse 1 m³ kandejõuks. Järelikult on 1 m³ kandejõud:

valgustusgaasil . . . 1,29 — 0,6 = 0,69 kg
heeliumil . . . . . 1,29 — 0,18 = 1,11 kg
vesinikul . . . . . 1,29 — 0,09 = 1,20 kg

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

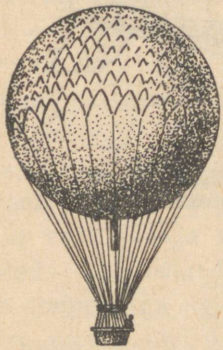
Harilik vaba lennu õhupall valmistatakse gummeeritud siidriidest ja täidetakse vesinikuga (joon. 101). Pallile on tõmmatud võrk, mille külge on seotud korv õhusõitjate ja mõõteriistade jaoks.

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

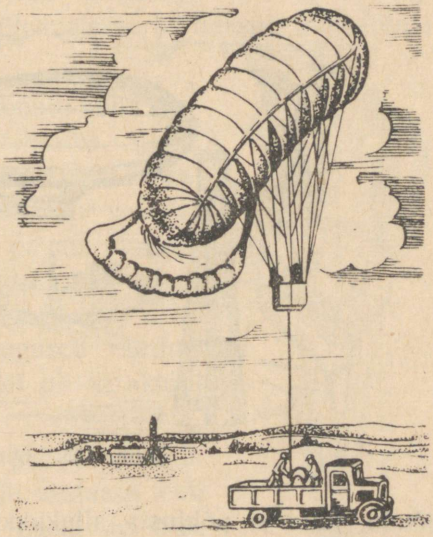
Et nõrgendada korvi põrkamist vastu maad palli maandumisel, lastakse korvilt alla jäme köis — maandumisköis ehk gaidrop.

Langedes maandumisel maha, kergendab köis palli ja pidurdab seega palli maandumist.

Peale õhupallide kasutatakse vabaks lennuks veel kinnitatavaid loheaerostaate, milledega tõustakse üles sõjalisteks vajadusteks, eesmärgiga vaadelda vaenlast ja kohti, kuhu langevad kaugelaskekahurite mürsud jne. Loheaerostaadi korvi paigutatakse harilikult 1—2 lendurit-vaatlejat, kes on maaga telefoniühenduses (joon. 102).



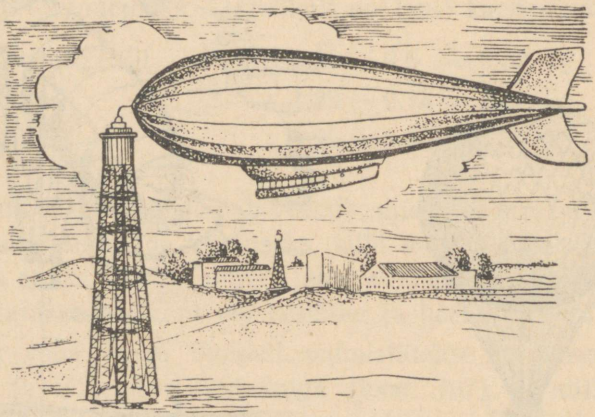
Joon. 101. Õhupall (aerostaat).



Joon. 102. Loheaerostaat.

Õhupallid lendavad õhus sinna, kuhu tuul neid kannab (välja arvatud kinnitatavad loheaerostaadid); juhitavad õhulaevad — dirižaablid — ilmusid siis, kui õnnestus valmistada kergeid võimsaid masinaid samasuguste propellerite pöörlema panemiseks, nagu on lennukil. Dirižaablil on terava pära ja nüri esiotsaga pika sigari kuju (joon. 103). Ahtri külge on kinnitatud liikumatud pinnad — stabilisaatorid, mis ei võimalda dirižaablil pöörelda pikitelje ümber ja mis annavad talle püsivuse, ning roolid dirižaabli pööramiseks pare-

male ja vasakule, üles ja alla. Dirižaabli külge on kinnitatud gondlid reisijate jaoks. Gondlites asuvad ka mootorid propellerite pöörlema panemiseks, mille abil dirižaabel võib liikuda soovitud suunas. Jäigad dirižaablid koosnevad metallkerest, mis väljastpoolt on riidega üle tõmmatud. Keres on mitu kambrit. Gaasi väljumine ühest kambrist või kambri rikkiminemine vähendab ainult mõnevõrra dirižaabli kande-



Joon. 103. Dirižaabel.

jõudu, kuid ei põhjusta allakukkumist. Dirižaabli täitmine gaasiga on väga kallis toiming, seepärast ei lasta dirižaabli maandumisel gaasi välja. Dirižaabel juhitakse kinnisesse ruumi — ellingisse, kuhu ta jääb järgmise lennuni, või kinnitatakse eriliste mastide külge (joon. 103).

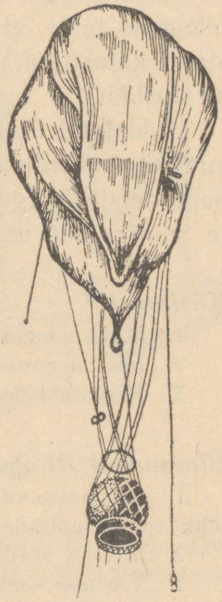
Küsimusi.

1. Kui suur on 0° juures õhu väljatõrjejõud, mis mõjub 1 m^3 ruumalaga kehale?
2. 100 dm^3 ruumalaga kummipall on täidetud vesinikuga. Kui palju on see pall kergem samasugusest pallist, mis on täidetud õhuga?
3. Laste mänguõhupallid tõusevad õhku. Mis on suurem — kas nende pallide kaal ühes neid täitva gaasiga või õhu üleslüke?

4. Milliseid gaase tarvitatakse õhupalli täitmiseks?
5. Mida nimetatakse aerostaadi kandejõuks?
6. Õhupalli ruumala on 4000 m^3. Leidke selle palli kandejõud, kui ta on täidetud vesinikuga.

70. Nõukogude stratostaadid. 30. septembril 1933. a. kolm nõukogude spetsialisti — Prokofjev, Godunov ja Birnbaum — teostasid lennu erilise õhupalliga — stratostaadiga (joon. 104) — atmosfääri ülemistesse kihtidesse, mida nimetatakse stratosfääriks.

Stratostaat «CCCP» — tohutu suur õhupall — ehitati kodumaa tehastes. Tema ruumala on 24 500 m^3, kõrgus 70 m. Stratostaadi kestasse mahutati 3200 m^3 vesinikku. See vesiniku hulk on piisav, et tõsta üles kuni 2000 kg raskust koormat, kaasa arvamata kesta ja gondli kaalu, kus asetsesid vaatlejad ja mitmesugused vaatlusriistad. Stratostaadi gondel oli kerakujuline diameetriga ligi 2 m.



Joon. 104. Stratostaat.

Gondel tehti 2 mm paksusest alumiiniumi erisulamist. Gondli kestasse tehti mitu paksude klaasidega akent ja ava, mille kaudu läksid gondlisse vaatlejad. Gondli ava suleti väga tihedalt, nii et õhk ei saanud gondlisse sisse tulla ega gondlist välja minna. Seepärast jäi rõhk gondlis kogu aja ühesuguseks ja madal välisrõhk ei saanud tekitada kahju vaatlejaile, kes asusid gondlis.

Stratostaat «CCCP» tõusis 19 km, s. o. kõrgusele, milliseni veel keegi polnud kunagi tõusnud. Lennu ajal tehti rida väärtuslikke vaatlusi ja stratostaat maandus õnnelikult Moskva lähedal, Kolomna tehaste juures.

30. jaanuaril 1934. a. kell 9.07 hommikul startis Moskva kohal Leningradi Osoaviahimi stratostaat «Osoaviahim I» stratosfääri teaduslikuks uurimiseks talve tingimustes. Kell 11.59 saavutasid kolm julget stratosfääri uurijat Fedossejenko, Vassenko ja Ussõskin kõrguse 20 600 m ja saatsid parteile ja töölisklassile oma võitlustervituse.

Kell 12.30 saavutas stratostaat «Osoaviahim I» kõrguse ülempiiri 22 000 m ja hakkas seejärel laskuma. Raadioside stratostaadi ja maa vahel katkes kell 13 ja vaid hilja ööl tõi telegraaf teate, et samal 30. jaanuril kell 16.00 tabas stratostaati katastroof, kus hukkusid kolm kangelast, kes ründasid stratosfääri.

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

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse stratosfääriks?
2. Mis on stratostaat?
3. Mispärast peab stratostaadi gondli sulgema hästi tihedalt?

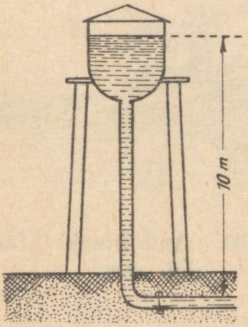
Ülesandeid III peatüki juurde.

1. Anumasse valati 15 cm kõrgune veekiht. Kui suur on selle kihi rõhk anuma põhjale?
2. Millega võrdub vee rõhk 50 cm sügavusel?
3. Vee tase veevärgis on 10 m (joon. 105). Kas rõhk on toru seintele võrdne mitmesugustes kõrgustes? Kui suur on vee rõhk toru alumises otsas?
4. 10 cm kõrgune klaas on ääreni täidetud elavhõbedaga. Arvutada rõhk klaasi põhjale.
5. Paagi naftamõõdutorus on nafta 8 m kõrgusel. Kui suur on nafta rõhk paagi põhjale?
6. Leida elavhõbedasamba rõhk, kui samba kõrgus on 76 cm?
7. Mensuuri põhja on valatud elavhõbeda kiht ja sellesse kihisse on asetatud lahtise klaastoru ots. Elavhõbeda peale mensuuris valati

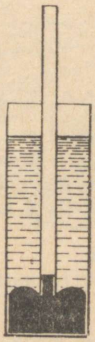
vett (joon. 106) kuni 27,2 cm kõrguseni. Kui kõrgele tõuseb elavhõbe klaastorus?

8. Allveelaev laskus 50 m sügavusse. Missugune jõud rõhub antud sügavuses laeva iga ruutmeetrisele pinnale? Merevee erikaal on $1{,}03 \frac{g}{cm^3}$.

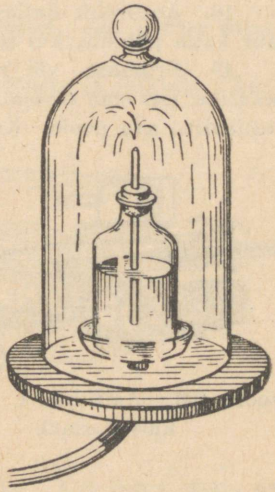
9. Missuguse kõrgusega veesammas tasakaalustab atmosfääri õhurõhu?



Joon. 105.



Joon. 106.



Joon. 107.

10. Torricelli torus jääb elavhõbe püsima 76 cm kõrgusele. Kuidas muutub elavhõbedasamba kõrgus, kui Torricelli toruga tõusta mäe harjale?

11. Õhupumba kupli alla on asetatud pudel veega, pudeli korgist on pandud läbi toruke. Miks õhu väljapumpamisel purskab torust veejuga (joon. 107)?

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

13. Arvutada, missuguse jõuga rõhub õhk lauale, mille pikkus on 1 m ja laius 60 cm.

14. Inimese keha pind on umbes 1,5 m^2. Missuguse jõuga rõhub inimese kehale õhk? Miks inimene ei märka seda rõhumist?

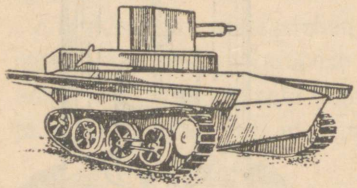
15. Mäejalal näitab baromeeter 760 mm, mäe tipul aga 610 mm. Kui kõrge on mägi (ligikaudu)?

16. Lendur tõusis 2 km kõrgusele. Mitme millimeetri võrra muutus baromeetri näitamine?

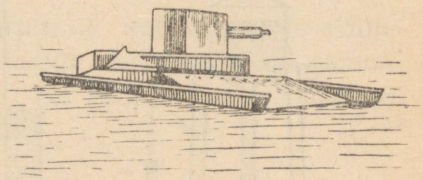
17. Elavhõbebaromeeter näitab 700 mm rõhku. Missuguse jõuga rõhub seejuures õhk igale ruutsentimeetrile?

18. Aururõhk katlas on 12 atmosfääri. Missuguse jõuga rõhub aur katla põhjale, kui selle pindala on 1,5 m^2?

19. Priimuse- või rattapumba kolvi külge paigutatakse nahkkausike, mis oma süvendiga on pööratud pumba sisemusse — pumbast väljaviiva ava poole. Kas töötab pump, kui pöörata kausike ümber?



Joon. 108. Amfiibtank. Tank kuival maal.



Joon. 109. Amfiibtank. Tank ujub vees.

20. Kõrgemaks punktiks, milleni tõusis inimene õhupalliga, oli 16 km, mille saavutas prof. Piccard 1931. a. selleks otstarbeks ehitatud aerostaadiga.

30. septembril tõusid nõukogude vaatlejad stratostaadiga „CCCP" 19 km kõrgusele.

Selles kõrguses baromeeter märkis 50 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhu. Stratostaadi gondel, kus asetsesid vaatlejad, oli tehtud alumiiniumi erisulamist ja oli tihedasti suletud. Rõhk gondlis oli kogu aja 1 at. Arvutage õhurõhk gondli seintele seest- ja väljastpoolt.

21. Miks ujub raske laev, aga vette kukkunud nael vajub põhja?

22. Kuidas muutub laeva vees-istuvus tema laadimisel?

23. Laev sõidab jõest merre. Kuidas muutub selle üleminekuga laeva vees-istuvus?

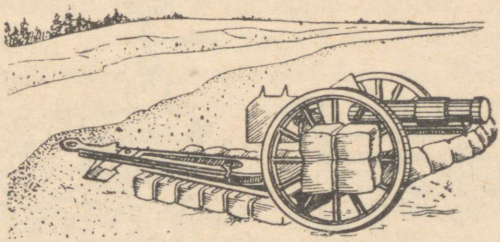
24. Puust ujuk alloleva tinast raskusega lastakse algul vette, hiljem õlisse. Nii selles kui teises vedelikus ujuk ujub. Kummas vedelikus vajub ta sügavamale?

25. Kaalukangi külge seoti ühelt poolt tinaviht, teiselt poolt aga samakaaluline klaasitükk. Kas kaal jääb tasakaalu, kui nii tina kui klaas lasta tervenisti vette? Kumb õlg vajub alla?

26. Pudelisse valati elavhõbedat, vett ja petrooleumi. Kuidas asetuvad need vedelikud pudelis?

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

28. Ujupõit reguleerides võib kala vees tõusta ja laskuda. Kuidas seda seletada?



Joon. 110.

29. 5,5 dm^3 ruumalaga kivi kaalub 15 kg. Kui suurt jõudu on vaja selle kivi hoidmiseks, kui ta on üleni vees?

30. Jää erikaal on 0,9 $\frac{g}{cm^3}$. Kumb on suurem, kas jäämäe veealune või veepealne osa? Arvutada, mitmes osa mäest on vees, mitmes vee peal.

31. Täisnurkne praam (lodi), mille pikkus on 10 meetrit, laius 4 meetrit, vajub laaditult 75 cm võrra sügavamale vette. Oletades, et tema seinad on vertikaalsed, arvutada, kui suure laadungi praam võtab peale.

32. Tuukri rinnale ja seljale asetatakse rasked seatinaplaadid, samuti kinnitatakse ta kingadele seatinast tallad. Milleks seda tehakse?

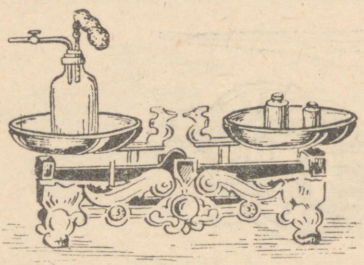
33. Amfiibtanki kaal on umbes 2 tonni. Milline peab olema tanki veesoleva osa ja ujukite ruumala, et tank võiks ujuda vee peal (joon. 108)?

34. Korgist päästerõngas kaalub 12 kg. Kui suure koormuse suudab see rõngas vee peal hoida? (Korgi erikaal on 0,25 $\frac{g}{cm^3}$).

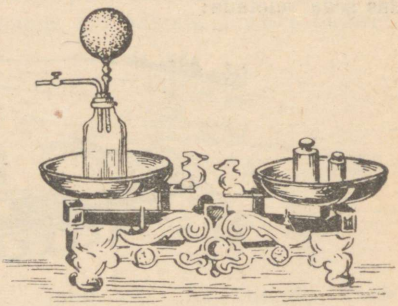
35. Mispärast inimene, kes ei oska ujuda, võib vabalt püsida vee peal kahe põie abil, mille ruumala pole enam kui 2,5 dm^3 kummalgi, sellal kui inimese kaal on umbes 70 kg?

36. Mitu ujukit on vaja kinnitada 1000 kg raske kahuri alla, et teda jõest üle toimetada (joon. 110)? Iga ujuki kaal on 2,1 kg. Ujuki ruumala on 63 dm^3.

37. Kui suur on 0° juures õhu üleslüke, mis mõjub 10 m^3 ruumalaga kehale.



Joon. 111.



Joon. 112.

38. 100 dm^3 ruumalaga kummipall on täidetud vesinikuga. Kui suur on tema kandejõud?

39. Õhupalli ruumala on 1000 m^3. Leida selle palli kandejõud, kui ta on täidetud vesinikuga.

40. Õhupall, mille maht on 1500 m^3, on täidetud vesinikuga. Kate ja gondel kaaluvad 250 kg. Kas see pall suudab üles tõsta kolm reisijat, kui igaüks kaalub 65 kg?

41. Kaalul on tasakaalustatud pudel, milles on suruõhk. Pudeli korgis on klaastoru, mille välise otsa külge on seotud kummipalli kest (joon. 111). Kas kaal jääb tasakaalu, kui õhk pudelist läheb osalt kestasse ja puhub selle täis (joon. 112)?

42. Kui suur on vesinikuga täidetud dirižaabli kandejõud, kui tema ruumala on 2460 m^3?

43. Dirižaabli ruumala on 6800 m^3. Milline on tema kandejõud, kui ta on täidetud vesinikuga?

IV peatükk.

Liikumine ja jõud.

71. Mehaanilised liikumised. Kehade liikumise näiteid täheldame kõikjal: inimese liikumine tänaval, trammi liikumine rööbastel, mingi keha langemine Maa peale, lennuki lend, kahurist väljalastud mürsu liikumine, masina mehhanismi mitmesuguste osade liikumine, Kuu ja planeetide liikumine taevavõlvil jne.

Me räägime, et tänaval liigub inimene, sest me näeme, et inimese asend muutub majade suhtes, mida peame liikumatuiks. Samuti otsustame trammi ja muude esemete üle. Me ei või midagi öelda keha liikumise kohta, kui me ära ei näita, milliste teiste, paigalseisvate kehade suhtes tema liikumist vaatleme.

Võtame sellise juhu. Reisija on jõeauriku kajutis, kus ta näeb vaid kajuti seinu ja eesriidega kaetud akent. Kas ta võib midagi öelda laeva liikumise kohta?

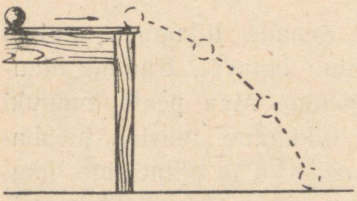
Laeva vaikse käigu juures on võimata antud tingimustes otsustada, kas laev sõidab. On vaja avada aken, leida kaldal mingi liikumatu ese ja ainult selle eseme vahemaa muutuse järgi võib otsustada laeva liikumise üle.

Kui keha oma asendit Maa suhtes ei muuda, siis ütleme, et ta on paigal, kuid ometi teame, et Maa ise liigub ümber Päikese.

Järelikult, antud keha on paigal vaid Maa suhtes, Päikese suhtes näiteks liigub ta aga ühes Maaga.

Meie ei suudaks ka väljaspool Maad leida sellist keha, mis oleks liikumatu. Kõik kehad liiguvad; iga meie poolt täheldatud paigalseis on suhteline.

72. Sirg- ja kõverjooneline liikumine. Vaadeldes rongi liikumist, võime tähele panna, et tee mõnedes osades liigub rong sirgjoont mööda, teises osas aga, kus rööbastee käändub, liigub rong kõverjoont mööda. Samuti võime ka muude liikumiste hulgas leida selliseid liikumisi, kus keha liigub kas sirg- või kõverjoont mööda. Kerake näiteks, veerenud laualt, kukub kõverjoont mööda (joon. 113). Kõverjoont mööda liigub ka kahurist väljalastud mürsk (joon. 114). Käest lahtilastud kivi aga langeb sirgjoont mööda. Joont, mida mööda toimub liikumine, nimetatakse trajektooriks. Liikumist, mille trajektoor on sirgjoon, nimetatakse sirgjooneliseks liikumiseks. Liikumist kõverjoont mööda aga nimetatakse kõverjooneliseks liikumiseks.



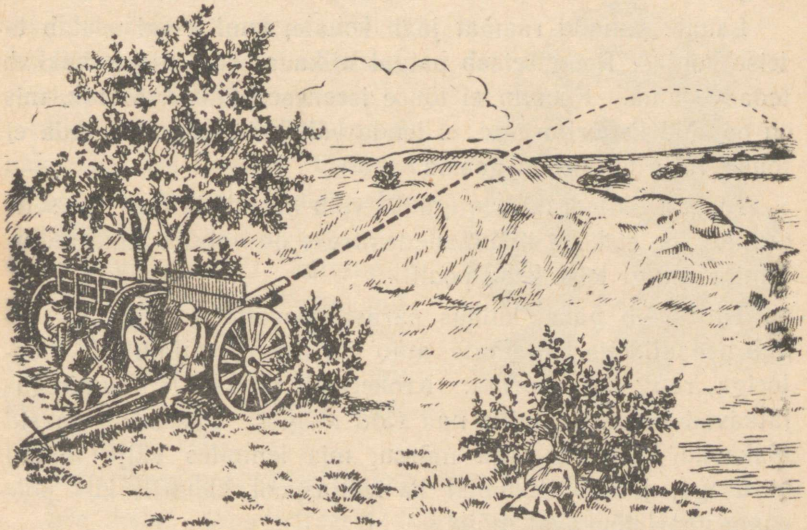
Joon. 113.

73. Ühtlane liikumine. Liikumist, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes läbib võrdsed kaugused, nimetatakse ühtlaseks liikumiseks. Selline on näiteks rongi liikumine tasasel sirgjoonelisel teeosal jaamade vahel.

74. Ühtlase liikumise kiirus. Kui meie ühes ja samas teelõigus vaatleme mitmesuguste kehade liikumist, siis märkame, et nad ühtlaselt liikudes ei käi seda lõiku ära ühe ja sama aja jooksul. Kui kiirrong näiteks läbib mingi teeosa 5 min. jooksul, siis vajab kaubarong selle teeosa läbimiseks rohkem aega. Et sõita sama teeosa hobusega, tuleb kulutada veel rohkem aega. Ja ka spordivõistlustest teame hästi, et kõik jooksjad ei läbi ühte ja sama teeosa ühteviisi kiiresti.

Mitmesuguste kehade liikumised erinevad kiiruse poolest. Et saada teada mingi keha kiirust, on vaja leida tee, mille see keha on ära käinud mingi ajavahemiku jooksul: 1 sek., 1 min. või 1 tunni jooksul.

Ajaühikuks võetakse füüsikas sekund. Oletame, et kerake veeres 5 sek. jooksul 10 m kaugusele. Järelikult kerakese kiirus on 2 m sekundis.



Joon. 114. Mürsu lennu trajektoor.

Sõna 2 m sekundis märgitakse üles nii: $2 \frac{m}{sek}$.

Tehnikas võetakse sageli ajaühikuks minut, aga mõnikord ka tund. Näiteks auto kiirus on 30 km tunnis — 30 km/tund.

Harjutusi.

1. Kahuripauk toimus vaatlejast 2640 m kaugusel. Paugu hääl jõudis pärast lasku vaatlejani 8 sek. pärast. Arvutage hääle kiirus õhus.

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

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

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

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

Toodud näited, millele igaüks võib lisandada uusi, on selle tõenduseks, et keha liikumapanemiseks on vajalik tema mõjutamine mingi teise keha poolt.

Tihti võib näha, kuidas pärast hoovõtmist jalgrattur liigub pedaalidega töötamata, auto või tramm väljalülitud mootoriga, rong ilma auruta. Kroketipall ja pall laptuumängus jätkavad liikumist, mille nad said löögist. Püssirohu gaasid tõukavad kahurist välja mürsu, mis lennates välja tohutu kiirusega, jätkab liikumist ka väljaspool kahurit, kus pole enam gaasi tõukavat mõju.

Huvitav on jälgida horisontaalsel raudteel kaubavaguni liikumist, kui seda lükkavad edasi inimesed. Kuni vagun on veel paigal, tuleb rakendada suurt jõupingutust ja kulutada palju aega, et liigutada vagun kohalt. Mida enam on vagun laaditud, seda raskem on teda liikuma panna. On aga vagun kohalt tõugatud, hakkab ta aeglaselt liikuma ja on näha, et ta edasilükkamiseks peaaegu polegi vaja jõupingutust, teistel juhtudel aga, kui talle anti küllaldane kiirus, liigub ta ise, ilma lükkavate inimeste osavõtuta. Et liikuvat vagunit seisma panna, selleks on teda vaja pidurdada. Nii raske kui

oli panna liikuma laaditud vagunit, samuti raske on teda seisma panna.

Liikuv keha säilitab oma liikumise. Et panna liikuv keha seisma, selleks on vajalik teise keha mõju temale.

Toodud tähelepanekute põhjal tuleme järeldusele: **iga keha säilitab paigaloleku või ühtlase sirgjoonelise liikumise niikaua, kuni mistahes muud kehad teda sellest olekust välja ei vii.**

Selle järelduse tegi inglise teadlane Isaac Newton 1668. a. ja seda nimetatakse liikumise esimeseks seaduseks.



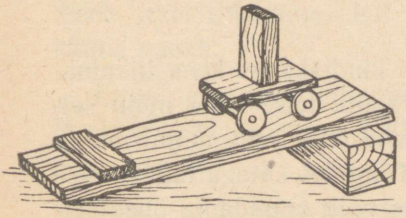
Newton.

Kehade omadust säilitada paigalolekut või ühtlast liikumist mööda sirget joont nimetatakse inertsiks.

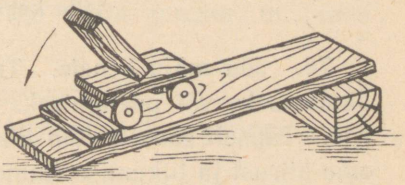
Paneme kergelt kallutatud lauale liikuma vankrikese, millel seisab puuklots (joon. 115). Vankri teele asetame mingi eseme, et peatada liikuvat vankrikest (joon. 116).

Vankrikese peatumisel kukub klots ümber.

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



Joon. 115.



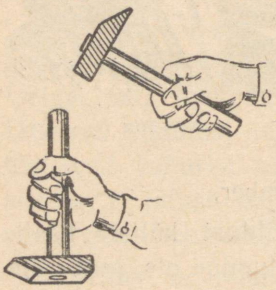
Joon. 116.

inertsi tõttu endist liikumist, mistõttu klots kukub ümber. Täpselt samuti langeme näoga ettepoole, kui uisutamisel millegi taha kinni jääme. Täpselt samuti kalduvad ka trammi reisijad järsu peatamise puhul trammi liikumise suunas.

Vastupidi, trammi järsul liikumahakkamisel pärast peatust kalduvad reisijad liikumisele vastupidises suunas.

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

Küsimusi.



Joon. 117.

1. Mis on inerts?

2. Tooge näiteid liikumiste kohta, mis toimuvad inertsi tõttu.

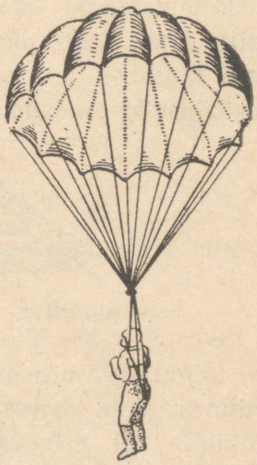
3. Kui sõiduk porisel teel kiiresti sõidab, siis lendavad ratastelt poritükid. Mispärast?

4. Mispärast lööb meister, pannes haamrit varre otsa, mitte haamri vaid varre kaugema otsa pihta (joon. 117)?

5. Lendur soovib pommiviskega purustada silda. Kas satub pomm sillale, kui lendur viskab pommi momendil, kui lennuk on silla kohal?

76. Jõu mõju kehale. Tegime kindlaks, et keha liikumapanemiseks või peatamiseks on vajalik teise keha mõju sellele. Täpselt samuti võib liikuv keha teise keha mõjul muuta oma kiirust ja liikumise suunda. Tõugates kätega tagasi meie poole lendavat võrkpalli, muudame palli suunda ja ühes sellega ka tema kiirust. Tõugates liikuvat keha tema liikumise

suunas, suurendame tema kiirust. Parašütist (langevarjur) langeb Maa peale. Kuni langevari pole avanenud, kulgeb parašütisti langemine üha suureneva kiirusega, sest Maa tõmbab parašütisti kogu aja enda poole. Niipea kui langevari avaneb, hakkab langevarju poolt haaratud õhu vastuseis langemist takistama ja langevarju liikumine aeglustub. Kui raskusjõud tasakaalustub õhutakistusega, hakkab langevari ühtlaselt langema (joon. 118). Sel juhul liigub langevari inertsi tõttu. Täpselt samuti kiirendab vedur rongi väljumisel tema liikumist. See kiirendamine kestab niikaua, kuni õhutakistus ja muud liikumise takistused saavad nii suureks, et tasakaalustavad veduri tõmbe. Alates sellest momendist sõidab rong ühtlaselt, kuni muutub võrdsus veduri tõmbejõu ja takistusjõudude vahel, mis püüavad rongi peatada. Kõik need näited võimaldavad teha järelduse, et liikumise kiiruse ja suuna muutmise põhjuseks on jõud.



Joon. 118. Langevari.

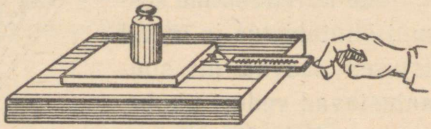
77. Hõõrdumine. Vaadeldes mitmesuguseid liikuvaid kehi, täheldame sageli, et nende liikumine aeglustub järkjärgult ja et see viimati lõpeb. Peatub raudteel liikuv vagun, lõpeb auto liikumine, kui lülitakse välja mootor, mis teda käima paneb.

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

Jõudu, mis tekib ühe keha liikumisel teise keha pinnal ja mis takistab liikumist, nimetatakse h õ õ r d u m i s j õ u k s.

78. Hõõrdumisjõud. Et mõõta hõõrdumisjõudu võib toimida järgmiselt.

Kinnitame väikese lauakese külge (joon. 119) dünamomeetri ja vedades sellega lauakest aeglaselt ning ühtlaselt teist lauda mööda, mis on asetatud horisontaalselt, mõõdame tõmbejõu, mida näitab dünamomeeter. Kuna see tõmme kulub hõõrdumisjõu ületamiseks, siis on tõmbejõud võrdne hõõrdumisjõuga. Sel viisil võib määrata hõõrdumisjõudu mitte ainult kahe puulauakese vahel. Kasutades mitmesuguseid lauakesi ja plaate, võib määrata hõõrdumisjõudu, mis tekib nende pindade vahel mitmesugustes tingimustes.



Joon. 119. Kuidas määrata hõõrdumisjõudu.

Liigutades mitmesuguseid horisontaalseid pindasid mööda mitmesuguste koormustega lauakesi (joon. 119), võime teha kindlaks, et erinevates tingimustes on ka hõõrdumisjõud erinev.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse hõõrdumiseks?
2. Mis on hõõrdumise põhjuseks?
3. Kuidas määrata hõõrdumisjõudu kahe laua vahel?

79. Laboratoorne töö nr. 5. Töö eesmärk — **selgitada, millistest põhjustest oleneb hõõrdumisjõud.**

Riistad ja materjalid: pikk siledaks hööveldatud laud (võib olla ka siledapinnaline töölaud); väike siledaks hööveldatud lauake; teine samasugune lauake, mille pindala on kaks korda suurem kui esimesel, kuid lauakeste kaal on ühesugune; raudplaat suure laua jaoks, raudplaat ühe väikese laua jaoks; koormusi; kaks ümmargust rulli; dünamomeeter; nöör; kartong; liivapaber; kartong pealekleebitud kaleviga.

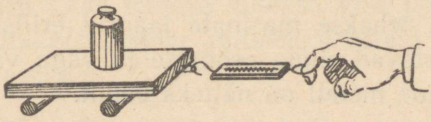
T ö ö k o r d. Määrake hõõrdumisjõud kahe laua vahel, koormates ülemist lauda mingi raskusega.

Muutes ülemise lauakese koormust, määrake iga koormuse hõõrdumisjõud.

Järjekorra nr.	Koormus kg	Hõõrdumisjõud
1		
2		
3		
4		

Küsimusi.

1. Kas sõltub hõõrdumisjõud rõhumisjõust?
2. Uurige järele, kas muutub hõõrdumisjõud, kui vahetatakse hõõrduvate pindade materjale. Töö selle osa jaoks kasutage teil olevaid mitmesuguseid aluseid: kartongi, liivapaberit, kaleviga kleebitud kartongi, plekitükke.
3. Kas oleneb hõõrdumisjõud hõõrduvate pindade liigist?
4. Uurige hõõrdumist, pannes laua alla rullikesed (joon. 120).



Joon. 120. Kuidas uurida hõõrdumist rullikestel.

80. Hõõrdumine tehnikas. Tehnikas mängib hõõrdumine kahesugust osa: mõnikord on ta äärmiselt tarvilik ja teda püütakse suurendada, teistel kordadel on ta aga kahjulik ja temast püütakse igati vabaneda. See märkus puutub mitte ainult tehnikat, vaid ka harilikku elu. Kui poleks hõõrdumist, ei saaks me midagi kätte võtta. Nagu libe kala libiseb käest, nii libiseksid käest hõõrdumise puudumisel kõik esemed, mida sooviksime tõsta.

Kiilasjää puhul on raske kõndida libedaid kõnniteid mööda. Et suurendada hõõrdumist taldade ja kõnnitee vahel, puista-

takse kõnnitee liivaga üle. Kui poleks hõõrdumist, oleks käimine täiesti võimatu. Libedail rööpail pöörlevad veduri rattad, liigutamata kohalt vedurit. Et suurendada hõõrdumist tee ja autokummide vahel, tehakse kummidesse hambulised mustrid. Talvel, kui rataste libisemine jäisel teel on eriti suur, mähitakse autorataste ümber ketid.

Rõhu suurenemisel suureneb ka hõõrdumisjõud.

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

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

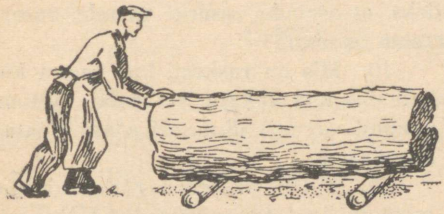
Kui hõõrdumispinnad on siledad, kui nende vahel on õlikiht, mis väheneb nende vahel hõõrdumisjõud. Seepärast püütakse masina hõõrduvad osad teha võimalikult siledad, nende vahele pannakse õlimäärdeid. Sageli omab masin seadmeid, mille abil määrimine toimub automaatselt.

Väga tihti tehakse masinate laagrid erilistest materjalidest, mis paistavad silma pehmuse ja väga väikese hõõrdumisega. Selline metall on näiteks babiit.

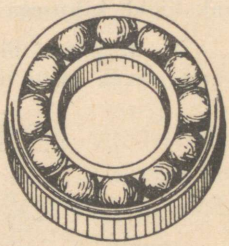
81. **Kuullaager.** Raskete esemete edasinihutamiseks pannakse sageli nende alla rullid (joon. 121), muutes seega liugumishõõrdumise veeremishõõrdumiseks. Sedasama veeremishõõrdumise printsiipi kasutatakse niinimetatud kuullaagrites. Selle konstruktsiooni juures ei hõõrdu pöörlev telg laagri liikumatut keha vastu, vaid veereb laagris telje ja laagri liikumatu osa vahele asetatud teraskuulidel.

Kuullaagritega varustatakse mitmesugused masinad: autod, treipingid, kudumismasinad, elektrimootorid, jalgrattad, jõuülekande seadmed jne. Kuullaagrid võib panna raudteevagunite telgedele, võllile, mille külge on kinnitatud lennuki propeller — ühe sõnaga, kõikjale, kus soovitakse saada väikseimat hõõrdumist.

Lihtsaima kuullaagri ehitus on kujutatud joonisel 122. Karastatud terasest sisemine rõngas asetatakse võllile, välimine rõngas paigutatakse laagri jaoks valatud malmasemesse. Võlli pöörlemisel veereb sisemine rõngas välisrõngas olevail kuulikestel.



Joon. 121. Rullid kergendavad raskete esemete edasinihutamist.



Joon. 122. Kuullaager.

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

Ülesandeid IV peatüki juurde.

1. Auto läbis 500 m vahemaa 25 sekundiga. Leida auto kiirus.

2. Vintpüssist väljalastud kuul lendas 1 kilomeetri kaugusel oleva sihini 2,5 sekundiga. Leida kuuli kiirus.

3. Konveieri pikkus on 20 meetrit. Kui kaua aja pärast jõuab konveieri algusele pandud ese konveieri lõppu, kui liikumise kiirus on $10\,\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$?

4. Kaevanduse tõstemasina kamber laskub alla kiirusega $4\,\frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kui pika aja jooksul võib ta laskuda 300 m sügavusega kaevandusse?

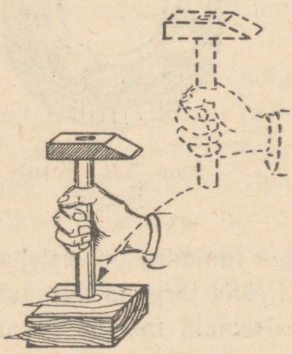
5. Kui pika aja jooksul jalgrattur sõidab ära 100 kilomeetrit, kui ta liigub kiirusega $5\,\frac{\text{m}}{\text{sek}}$?

6. Lennuk arendab kiirust 720 $\frac{\text{km}}{\text{tund}}$. Kui pika vahemaa võib see lennuk ära sõita 25 minutiga?

7. Mitme sekundi võrra lühema ajaga läbib 6000-meetrise vahemaa mürsk, mis liigub keskmise kiirusega 500 $\frac{m}{sek}$, kui paugu hääl, mis levib kiirusega 340 $\frac{m}{sek}$?

8. Maakera ekvaatori pikkus on umbes 40 000 km. Kui pika aja jooksul võib lennukiga lennata piki ekvaatorit ümber Maa, kui lennuk liigub kiirusega 800 $\frac{km}{tund}$?

9. Mispärast lüüakse selleks, et asetada vasarat varrele, vasara varre otsaga vastu liikumatut eset (joon. 123)?



Joon. 123.

10. Mis on raskem, kas vagun kohalt liikuma lükata või juba liikuma pandud vagunit ühtlaselt edasi lükata? Mispärast?

11. Millel põhjeneb riide vabastamine tolmust kloppimise teel? Raputamise teel?

12. Höövlipakust väljaulatuva tera reguleerimiseks lüüakse vasaraga kord tagumisele, kord esimesele pakuotsale. Millistel juhtudel millisele pakuotsale on tarvis lüüa? Mispärast?

13. Kergete alasite juures panevad auruvasarate löögid alasile maapinna nii tugevasti vappuma, et naabruses olevatel ehitistel tekivad praod. Küllalt raskete alasite puhul on maapinna värisemine väiksem. Mispärast?

14. Tooge näiteid, millal on hõõrdumine kasulik ja millal ta on kahjulik.

15. Mis ülesanne on mehhanismi hõõrduvate osade määrimisel?

16. Mispärast pannakse raskete esemete edasinihutamisel nende alla rullid?

17. Mis tehakse selleks, et töö juures kirves ei lendaks varre otsast?

18. Mispärast tehakse auto rattakummidele muster?

19. Kus on jõe voolus kiirem, kas jõe pinnal või põhjas? Kalda ääres või keset jõge? Mispärast?

20. Mispärast läheb seebiga määritud kruvi hõlpsamini puusse?

21. Mispärast asetatakse jalgratastes kõik pöörlevad osad kuullaagritele?

V peatükk.

Töö ja energia.

82. Töö. Et tõsta kaevust pangetäis vett või kaevandusest raand kivisõega, on vaja sooritada tööd, mis on seda suurem, mida raskem on tõstetav koormus ja mida kõrgemale tuleb seda tõsta.

Tööd ei tehta ainult raskuse tõstmisel, vaid ka mitmesugustel muudel juhtudel.

Hobune veab vankrit; liikuv vasar lööb puusse naela; lõhkemisel tekkiva tohutu suure gaasihulga rõhumine purustab kalju, paiskab kahurist välja mürsu jne. Kõigil loeteldud juhtudel sooritatakse tööd.

Kui me tõstame koormust, siis rakendame jõudu, et ületada raskusjõudu. Kui hobune veab vankrit, siis rakendab ta pingutust — jõudu, et võita vankri liikumise takistust. Mida raskem on hobusel vankri vedamine, seda rohkem ta rakendab jõudu, ja mida pikem on tee, mida mööda ta vankrit veab, seda suurem on ilmselt ka hobuse poolt sooritatud töö. Samasuguse järelduse võib teha ka kõigil muudel juhtudel, kui tehakse tööd.

Järelikult töö hulk sõltub rakendatud jõu suurusest ja selle jõu mõjul ärakäidud tee pikkusest.

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

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

Seda tööühikut nimetatakse kilogramm-meetriks. Sõna kilogramm-meeter tähistatakse lühendatult kgm.

Oletame, et vankri liikumise takistusjõud on 30 kg ja et hobune veab vankri 100 m kaugusele. Kui suure töö sooritab seega hobune?

Arutleme nii: 1-kilogrammise liikumise takistuse ületamisel 1 meetri pikkusel teel sooritatakse töö 1 kgm. Et ületada 30 kg takistust 1 m pikkusel teel on vaja sooritada töö 30 kgm. Kui aga hobune, arendades 30 kg jõudu, veab vankri 100 m kaugusele, siis on ka tema poolt sooritatud töö 100 korda suurem. Seega on otsitav töö võrdne 30 kg $\times$ $\times$ 100 m $=$ 3000 kgm.

Vaatame teist näidet: oletame, et tõstes mingit koormat, rakendame jõupingutuse 10 kg suuruses. Kui suure töö me sooritame, tõstes selle koorma püstloodis 2 m kõrgusele?

Arutanud samuti nagu esimeses näiteski, leiame, et meie poolt sooritatud töö võrdub

$$10 \text{ kg} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ kgm}.$$

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

$$1200 \text{ kg} \times 0{,}65 \text{ m} = 780 \text{ kgm}.$$

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

Kui märgime jõu suuruse tähega *F*, keha poolt jõu mõju suunas ärakäidud teepikkuse tähega *S*, seejuures sooritatud töö aga tähega *A*, siis võib eespool tähendatud olenevust märkida nii:

$$A = F \cdot S.$$

83. **Võimsus.** Oletame, et aurikule on vaja laadida suur koorem. Laadija võib selle koorma kanda laevale osade kaupa, kuid tõstekraanaga võib kogu koorma asetada aurikule korraga. Kui ühe ja sama koorma kannab aurikule laadija või kraana, siis on tehtud töö koorma ümberlaadimisel ilmselt ühesugune. Vahe seisab selles, et kraana teeb selle töö lühema ajaga kui laadija. Tööhulk, mille võib sooritada üks või teine masin teatud aja jooksul, annab võimaluse võrrelda nende masinate produktiivsust — võimsust.

Võimsust mõõdetakse tööhulgaga, mille masin teeb 1 sekundi jooksul.

Kui tööd mõõdetakse kilogramm-meetritega, siis on võimsuse ühikuks selline võimsus, mille juures sooritatakse töö 1 kgm sekundis.

Tehnikas mõõdetakse masinate võimsust «h o b u j õ u d u d e g a»[1].

1 hobujõud moodustab võimsuse 75 kgm/sek.

Nimetust «hobujõud» tuleb tunnistada ebaõnnestunuks:

1) sõna «jõud» on tarvitatud sõna «võimsus» asemel ja

2) tavaline hobune annab märksa vähem tööd kui masin võimsusega 1 hobujõud sama aja jooksul. Sõna hobujõud märgitakse harilikult tähtedega HJ.

Harjutusi.

1. Üks masin sooritab 5 min. jooksul töö 22 500 kgm, teine masin 8 min. jooksul 28 800 kgm. Kumb masin omab suuremat võimsust?

2. Määrata masina võimsus, kui masin tõstab 750 kg 3 m kõrgusele 10 sek. jooksul.

---

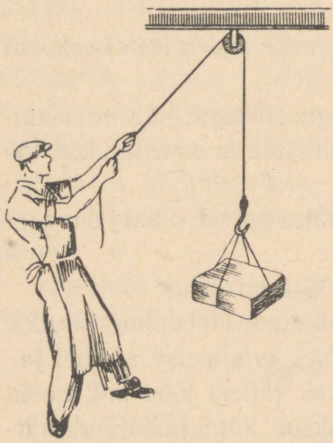
[1] Võimsuse ühiku nimetuse „hobujõud" tekkimine on järgmine: Ühiku määramisel aurumasina võimsuse mõõtmiseks võeti ühikuks hobuse võimsus, s. o. see tööhulk, mille hobune teeb ajaühiku jooksul.

Võttes arvesse, et tugev hobune võib anda 75 kgm sekundis, nimetas aurumasina leiutaja Watt võimsust 75 kgm sekundis hobujõuks.

Küsimusi.

1. Mis on võimsus?
2. Missuguste ühikutega mõõdetakse võimsust?
3. Kas võib arvutada võimsust, teades ainult tehtud tööhulka?

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



Joon. 124. Liikumatu plokk.

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

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

Telje ümber pöörlevat soonega rattakest, mis on asetatud klambrisse, nimetatakse p l o k i k s. Joonisel 124 on näidatud, kuidas, kasutades sellist plokki, tõstetakse üles koormusi. Ploki klamber on kinnitatud liikumatult üles, üle rattakese on pandud nöör. Nööri üks ots kinnitatakse ülestõstetava koormuse külge, teist otsa pidi aga tõmmatakse nööri allapoole.

Plokki, mille telg töö juures ei muuda oma asukohta, nimetatakse l i i k u m a t u k s p l o k i k s (joon. 124).

Arvutame töö, mille sooritame, tõstes koormust liikumatu ploki abil, ja töö, mida teeksime, tõstes sama koormuse samale

kõrgusele ilma plokita. Selleks on vaja mõõta jõudu, millega tõmmatakse nööri. Mõõtmised näitavad, et see on peaaegu võrdne ülestõstetava koormuse kaaluga (jõud, millega tõmmatakse, on koormuse raskusest veidi suurem, — kasutades plokki, oleme sunnitud ületama tõstmise juures tekkivat hõõrdumist). Tähendab jõud, mis sooritasid töö ühel ja teisel juhul, on võrdsed. Võrdsed on ka ärakäidud teed, sest kuivõrd liigub edasi nööri ots, millest tõmmatakse, niivõrd kerkib koormus. Seepärast on ka sooritatud töö ühel ja teisel juhul üks ja sama. Selline järeldus on õige ainult neil juhtudel, kui hõõrdumisjõud on väga väikesed ja töö nende ületamiseks on nii väike, et võime seda ka jätta arvestamata. Edaspidi vaatlemegi neid juhtumeid.

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

Küsimusi.

1. Mis eesmärgil kasutatakse liikumatut plokki?
2. Kas liikumatu ploki kasutamisel saame kasu jõus?
3. Mis kasu annab liikumatu ploki kasutamine, kui tema kasutamisel pole võitu jõus?

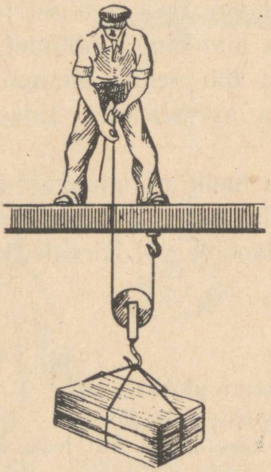
85. Liikuv plokk. Ploki abil võib koormust tõsta üles nii, nagu kujutatud joon. 125. Nööri üks ots on kinnitatud liikumatult, teist otsa pidi tõmmatakse ülespoole. Tekkinud silmuses ripub plokk, mille külge on kinnitatud koormus.

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

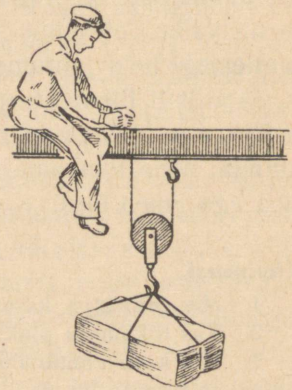
Kui tööline seob oma nööri otsa tala külge, siis jääb koormus kohale, kus ta oli, ja nagu varemgi pingutab mõlemat nööri osa ühtemoodi. Koormus on riputatud kahele nöörile, järelikult tuleb igale nöörile pool koormuse kaalu (joon. 126).

On ilmne, et hoida ülal koormust, tuleb ka töölisel nöörile rakendada jõud, mis on võrdne koormuse poole kaaluga. Seda järeldust võime kontrollida katsega. Kui tõstame üles ploki külge seotud koormuse (joon. 127), siis näitab dünamomeeter, mille rõngast hoiame käes, et koormust hoidev jõud on võrdne koormuse poole kaaluga.

Plokki, mille telg tõuseb ja langeb ühes ülestõstetava või allalastava koormusega, nimetatakse liikuvaks plokiks.



Joon. 125. Liikuv plokk.



Joon. 126.

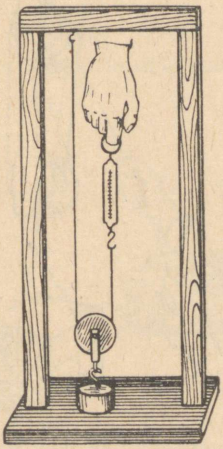
Liikuva ploki abil võime tõsta üles koormuse, rakendades kaks korda väiksemat jõudu kui koormuse kaal. Meie saame, nagu öeldakse, jõus kasu kaks korda.

Vaatleme, kas meie ei saa kasu töös, kasutades liikuvat plokki. Laseme vihi kuni lauani ja hakkame seda tõstma dünamomeetri abil. Et tõsta koormust kõrgusele h, selleks on vaja nööriots, mille külge on kinnitatud dünamomeeter, tõsta kõrgusele $2h$ (joon. 128).

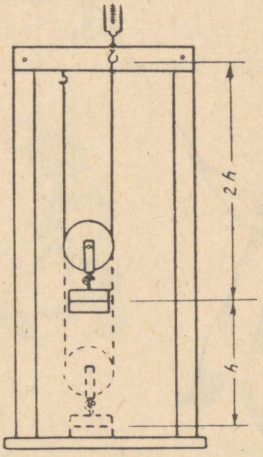
Antud katsest järgneb, et **kasutades liikuvat plokki meie ei**

saa kasu töös. Saades jõus kasu kaks korda, kaotame teepikkuses kaks korda.

Et saada kasu koormuse tõstmisel jõus, kasutades liikuvat plokki, pole töölisel vajadust üle liikuva ploki pandud nööri tõmmata üles, nagu see on kujutatud joonisel 125. Kinnitanud liikumatu ploki tala külge ja pannud sellest üle liikuva ploki nööri vaba otsa, võib tööline tõmmata nööri allapoole, koormus aga tõuseb üles (joon. 129).



Joon. 127.



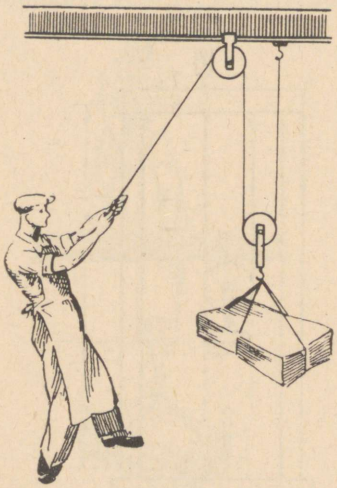
Joon. 128.

Küsimusi.

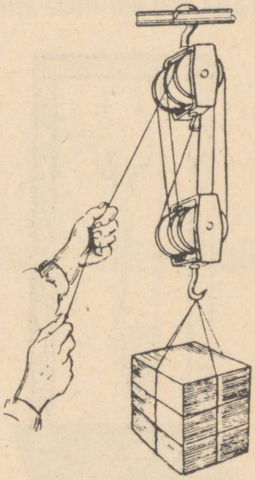
1. Mis eesmärgil kasutatakse liikuvat plokki?
2. Mis vahe on liikuva ja liikumatu ploki vahel?
3. Mitu korda võib võita jõus, kasutades liikuvat plokki?
4. Kas liikuv plokk annab kasu töös?

86. Polüspast. Suurte koormuste ülestõstmisel võib ühe liikuva ploki poolt antav kasu jõus osutuda mitteküllaldaseks, seepärast kasutatakse neil juhtudel mitte ühte liikuvat plokki, vaid liikuvate ja liikumatute plokkide süsteemi — liitplokki — polüspasti ehk tali. Selline plokkide süsteem on kujutatud joonisel 130. Iga kolmik-plokk on paigutatud eraldi klamberhaaki. Ülemine klamberhaak on kinnita-

tud liikumatult ja tema alumise konksu külge on seotud nöör. See nöör haarab alumist klamberhaaki, läheb siis ülemisele plokile ja sealt läbi alumise klamberhaagi keskmise ploki üle ülemise klamberhaagi keskmise ploki ja haarab lõpuks mõlemad äärmised plokid. Nööri vabas otsas rakendatakse jõud, mille abil tõstame üles koormuse, mis on seotud alumise klamberhaagi külge. Kui tõmbame nööri vabast otsast, siis hakkab alumine klamberhaak tõusma ja tõstab enda järel tema külge seotud koormuse.



Joon. 129.



Joon. 130. Polüspast ehk tali.

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

Polüspastiga töötamisel oleneb kasu jõus polüspasti enda omadusest. Kuna alumist klamberhaaki hoiab kuus nööri, siis tuleb ühele nöörile ainult üks kuuendik osa koormusest. Igasuguste kahjulike takistuste puudumisel peab kasu jõus kahe kolmik-ploki juures olema kuuekordne. Tõstes koormust polüspasti abil, tuleb nööri otsa kerida kuus korda pikemalt, kui on kõrgus, millele tõstetakse koormus. See tõestab veelkordselt kaotust teepikkuses kasu arvel jõus.

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

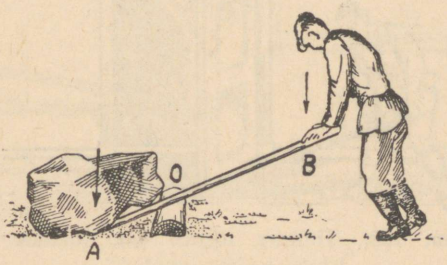
Küsimusi.

1. Mida nimetatakse polüspastiks?
2. Kui suure kasu jõus võib saada polüspastiga, mis koosneb neljast liikumatust ja neljast liikuvast plokist (kui mitte võtta arvesse hõõrdumist)?

Harjutusi.

1. Kas inimene suudab plokkide süsteemi abil tõsta üles 300 kg koormuse, rakendades 50 kg jõudu? Kuidas seda teha?
2. Nöör võib taluda 200 kg koormust. Kas plokkide abil võib selle nööriga tõsta üles 1 t raskust? Kuidas seda teha?

87. **Kang.** Väga tihti võib näha, kuidas tööline (joon. 131), tõstes suurt raskust, paneb selle alla raudkangi või



Joon. 131.

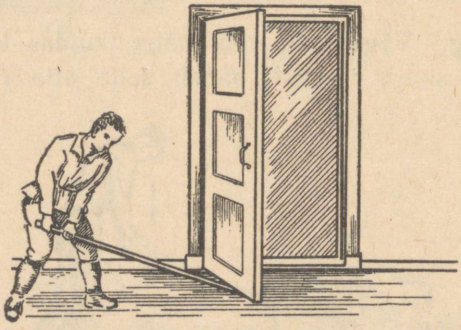
jämeda puu ja mõjudes oma jõuga puu ühele otsale, tõstab teise otsaga üles raskuse.

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

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

[1] Jõudude suund on joonisel 131 kujutatud nooltega.

Iga keha, mis rakendatud jõu mõjul võib pöörduda liikumatu telje ümber, nimetatakse kangiks. Raudkang, millega tööline tõstab raskust, on kangi lihtsaimaks kujuks. Arutleme, mida võidame, kasutades kange. Võtame uurimiseks kõige lihtsama juhu, kus kangiks on sirge varb ja temale mõjuvad jõud on paralleelsed. Kaugusi toetuspunktist kuni jõudude rakenduspunktideni nimetatakse kangi õlgadeks.

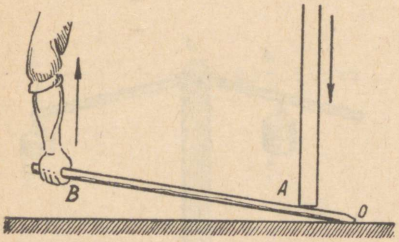


Joon. 132. Tööline tõstab ust, toetades kangi vastu maad.

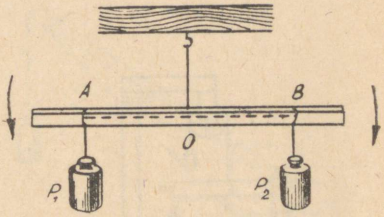
Tõstes kangi abil mõnda rasket koormust, võime veenduda, et rakendatava jõupingutuse suurus oleneb mitte üksnes koormuse raskusest, vaid ka kangi õlgade pikkuste suhtest. Kui õlg, millele mõjub meie jõupingutus, on suurem õlast, millele mõjub koormus, siis tuleb tõstmiseks rakendada väiksemat jõudu kui koormuse kaal. Sel juhul võidame jõus. Vastupidi, kui õlg, millele mõjub meie jõud, on väiksem õlast, millele mõjub koormus, siis meie kaotame jõus: sel juhul tuleb rakendada suuremat jõudu kui on koormuse kaal. Joon. 132 on kujutatud kangi kasutamise teine viis. Sel juhul toetub kang otsaga vastu maad. Kaugused kangi otsast (toetuspunktist) kuni jõudude rakenduspunktideni *OA* ja *OB* (joon. 133) on kangi õlad.

88. Kangi tasakaalu tingimused. Kangil võib tasakaalustada mistahes kahte jõudu. On vaid tarvis, et jõudude ja õlgade vahel oleks teatud sõltuvus. Kui õlale OA mõjub jõud P_1, aga õlale OB jõud P_2 (joon. 134—135), siis jääb kang tasakaalu, kui $OA \cdot P_1 = OB \cdot P_2$.

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



Joon. 133. Kangi skemaatiline kujutus ukse tõstmisel.



Joon 134.

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

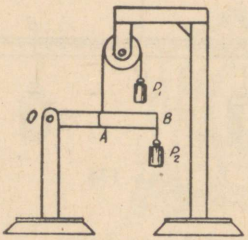
Tasakaalustanud kangi, mõõdame kangile mõjuvate koormuste õlad. Seesuguse katse tulemused on kantud tabelisse:

Vasak õlg			Parem õlg		
Koormus grammides	Õlg cm	Jõu ja õla korrutis	Koormus grammides	Õlg cm	Jõu ja õla korrutis
100	20	2000	50	40	2000
200	5	1000	50	20	1000
50	30	1500	100	15	1500

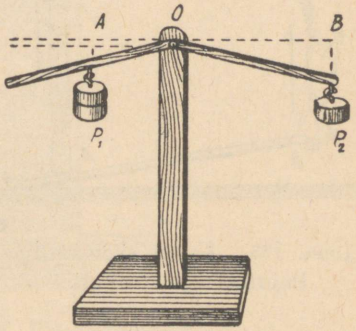
Esimeses katses mõjus vasakule õlale, mille pikkus on 20 cm, jõud 100 g, ja et kangi tasakaalustada, tuli rakendada 50 g jõudu kaks korda pikemale õlale, s. o. õlale pikkusega 40 cm. Sarnaseid tulemusi saadi ka teistel katsetel.

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

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



Joon. 135.



Joon. 136.

See reegel on maksev mitte üksnes sirge kangi, vaid mistahes kujulise kangi suhtes. Tarvitseb vaid meeles pidada, et jõu õlaks tuleb lugeda ristjoone pikkust, mis on tõmmatud toetuspunktist jõu suunda kujutavale joonele (joon. 136). Nii näiteks on jõu P_1 õlaks *OA,* aga jõu P_2 õlaks *OB.*

Harjutusi.

1. Joonisel 137 on kujutatud kaitseventiili läbilõige. Arvutage, kui suure raskuse peab riputama pikemale õlale, kui rõhk katlas on 12 at. Klapi pindala on 3 cm², klapi ja kangi kaalu arvesse ei võeta. Õlad mõõta joonise järgi.

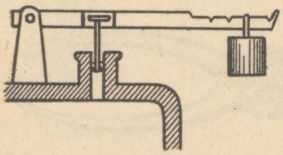
2. Joonisel 138 on kujutatud tõstekraana. Arvutage, kui suurt raskust võib selle kraanaga tõsta, kui vastukaal on 1 t. (Joonise all kujutatud skeem annab juhiseid ülesande lahendamiseks).

3. Arvutage jõu suurus, mille rakendab tööline ukse tõstmiseks (joon. 133), kui $OB = 1$ m, $OA = 20$ cm, ukse takistus aga on 40 kg.

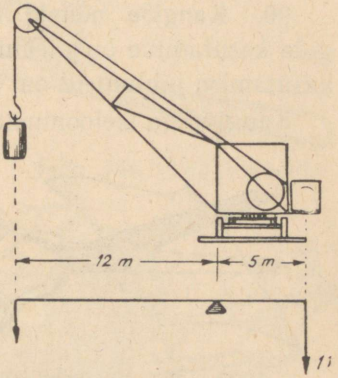
89. Kas kangi kasutamisel võidame töös? Et lahendada pealkirjas asetatud küsimust, korraldame katse.

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

$$A = 1 \text{ kg} \times 0{,}1 \text{ m} = 0{,}1 \text{ kgm}.$$



Joon. 137. Kaitseventiil.



Joon. 138. Tõstekraana.

Sooritame selle töö, kasutades kangi, mille toetuspunkt on rakendatud jõudude vahel, tasakaalustades 1 kg vihi 0,5 kilogrammiga. Märkinud ära kangi mõlemate otste kõrgused, tõstame 1 kg vihi 0,1 m võrra kõrgemale. Mõõtes nüüd kauguse, milleni laskus ots, millele mõjub jõud 0,5 kg, leiame, et see võrdub 0,2 m. Järelikult, allalangenud jõu 0,5 kg töö võrdub:

$$A_1 = 0{,}5 \text{ kg} \times 0{,}2 \text{ m} = 0{,}1 \text{ kgm}.$$

Näeme, et $A = A_1$. Teisiti öeldes, **kangi abil töös ei võideta.** Kasutades kangi, võime võita kas jõus või teepikkuses. Kui meie oma jõupingutuse rakendame pikemale õlale, siis

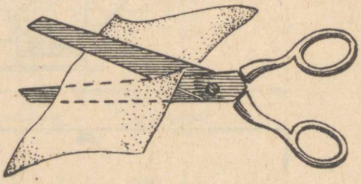
võidame jõus, kuid kaotame samapalju korda teepikkuses. Mõjudes jõuga lühemale õlale, võidame kauguses, kuid kaotame niisama palju jõus.

Küsimusi.

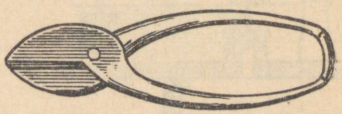
1. Kas kasutades kangi võib saada võitu töös?
2. Mis kasu annab kangi tarvitamine, kui tema abil ei ole võitu töös?
3. Kas kangi abil võib saada võitu jõus? Milles siis kaotame?

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

Kangi väga iseloomustavaks näiteks on käärid (joon. 139).

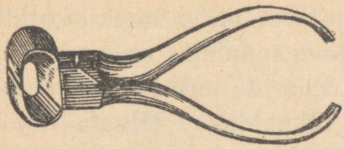


Joon. 139. Paberikäärid.

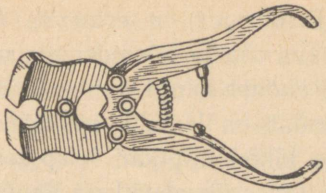


Joon. 140. Plekikäärid.

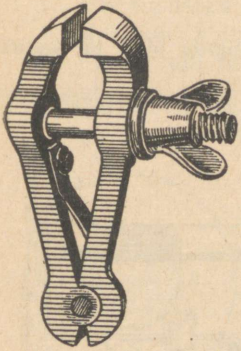
Selle kangi toetustelg on kruvi, mis ühendab kääride mõlemat poolt. Liikumapanevaks jõuks on sõrmede jõud, mis pigistavad kääre kokku, takistusjõuks on selle aine takistus, mida kääridega lõigatakse. Olenevalt kääride ülesandest, on nende ehitus mitmesugune. Käärid, mis on määratud paberi lõikamiseks, omavad pikki lõiketeri ja peaaegu niisama pikka käepidet, sest paberi lõikamiseks pole vaja suurt jõudu ja pikkade lõiketeradega on hõlpsam lõigata sirget joont mööda. Plekikäärid (joon. 140) evivad lõiketeradest märksa pikemat käepidet, sest raua takistus on niivõrd suur, et lühikese käepideme juures ei piisa inimese jõust raua lõikamiseks.



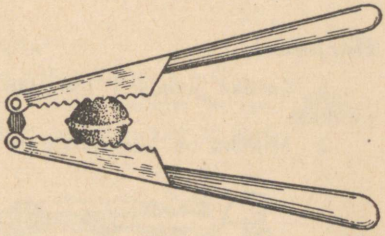
Joon. 141. Lõiketangid.



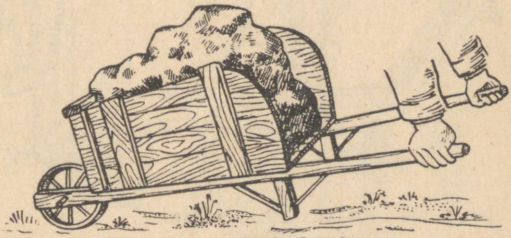
Joon. 142. Liittangid.



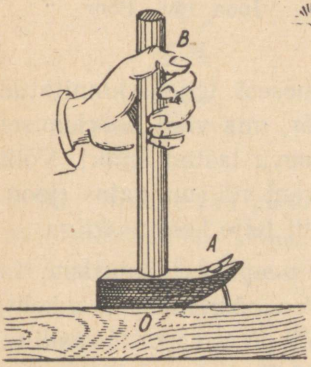
Joon. 143.
Käsikruustangid.



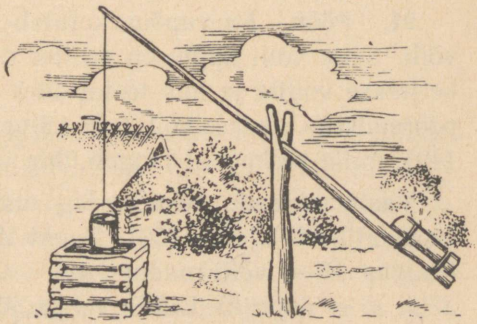
Joon. 144. Pähklitangid.



Joon. 145. Aedniku käru.



Joon. 146. Haamer naela
välja tõmbamas.



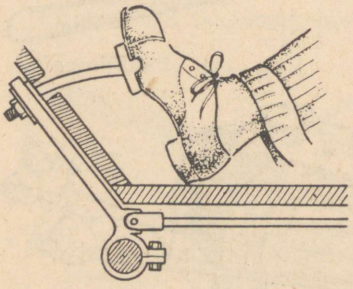
Joon. 147. Kaevukook.

Eriti suur on erinevus traadi lõiketangide õla pikkuses lõikava osa ja käepidemete vahel (joon. 141). Samuti kujutavad endast kangi katusekäärid. Toetuspunktiks on kruvi, mis ühendab mõlemaid kääride osi. Kääride lõikeosa on toetustelje lähedal: pikad käepidemed võimaldavad lõigata rauda, tarvitades üsna väikest jõudu.

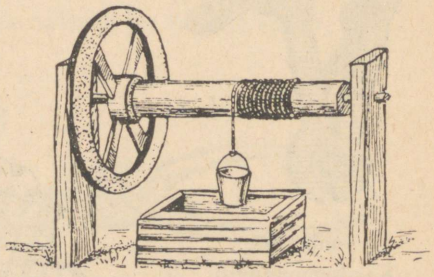
Edasi on jooniseil 142—148 kujutatud veel rida kange.

Harjutusi.

1. Leidke jooniseil 138—148 kujutatud kangide õlad ja toetuspunktid.
2. Milleks on kaevukoogule tehtud vastukaal (joon. 147)?



Joon. 148. Auto piduri pedaal.



Joon. 149. Pöör.

91. Pöör. Kaevupöör kujutab enesest teljele kinnitatud võlli. Selle võlli külge on seotud nöör, mis võlli pöörlemisel keritakse võllile ja mis tõstab üles kaevu lastud ämbri. Võlli pööramiseks tehakse võlli telje külge vänt või suur ratas (joon. 149), mille keskpunkt langeb ühte võlli telje keskpunktiga.

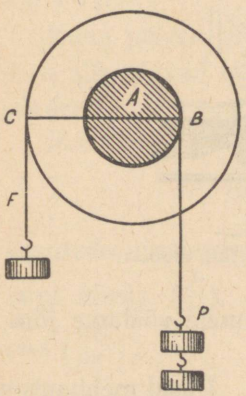
Vaatleme selle seadise tegevust; seepärast kujutame ta skemaatiliselt (joon. 150). Punkt *A* on pöörlemise keskkoht. Kaugus *AB* — võlli raadius, *AC* — võlli pöörava ratta raadius. Jõud *P* — ämbrikaal ühes veega, jõud *F* — pange tõstva inimese jõud. Kui läbi punktide *C, A ja B* tõmmata sirgjoon, siis

saame joonise kangist, mille üheks õlaks on võlli raadius, teiseks õlaks aga ratta raadius; punkt *A* on toetuspunkt.

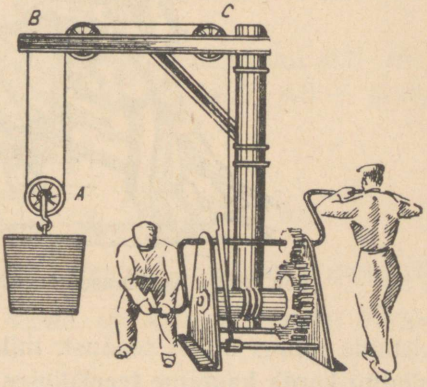
Kuna need raadiused pole võrdsed, siis järelikult pole võrdsed ka jõud, mis rakendatakse punktides *C* ja *B*. **Mitu korda on võlli raadius väiksem ratta raadiusest, niipalju korda peab olema jõud *F* väiksem jõust *P*, kui võll on tasakaalus.**

Küsimusi.

1. Mis eesmärgil kasutatakse pööra?
2. Kui suurt võitu jõus saadakse pööra kasutamisel?
3. Pööra võlli raadius on 20 cm, vända pikkus 50 cm. Milline jõupingutus on vajalik, et tõsta ämber vett kaaluga 12 kg?



Joon. 150.



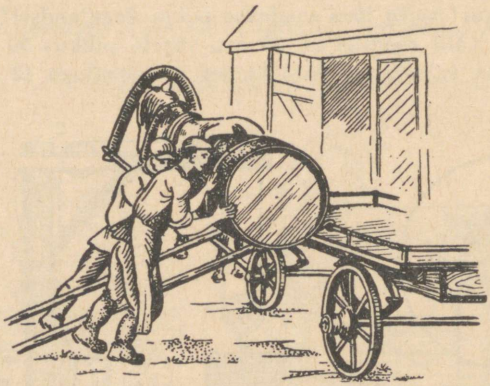
Joon. 151.

92. Mehaanika põhireegel. Vaatlesime mõningaid lihtsamaid mehhanisme. Neid mehhanisme võib näha mitmesugustes instrumentides ja masinates, mida kasutatakse igapäevases elus ja tööstuses. Võtame näiteks tõsteseadise, mis on kujutatud joon. 151. Selles seadises näeme meile tuttavat liikuvat plokki *A*, kahte liikumatut plokki *B* ja *C*, mille eesmärgiks on — muuta kahel korral jõudude suunda; joonisel

näeme vintsi, mis koosneb kahest pöörast. Esimeseks pööraks on vänt ja hammasratas; teiseks — hammasratas ja võll.

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

Õppides tundma lihtsamaid mehhanisme, nägime, et nende kasutamine annab võimaluse muuta mõjuva jõu suurust ja tema suunda. Kuidas me nende mehhanismide kasutamisel ka ei muudaks mõjuva jõu suunda, me täheldame kõikide mehha-



Joon. 152. Koormuse tõstmine kaldpalke mööda.

nismide juures üldist seadust: **mitu korda meie võidame jõus, niimitu korda kaotame teepikkuses.**

See järeldus on mehaanika põhireegel [1]. **Ükski mehhanism ei anna meile töös juurdekasvu.**

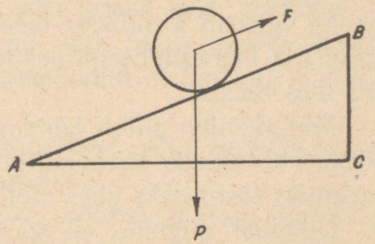
93. Kaldpind. Kaldpind on mehhanism, mida praktikas kasutatakse väga tihti. Joonis 152 näitab ühte tema kasutamisviisi. Selle asemel et vaati tõsta vankrile, veeretavad töölised teda kaldpalke mööda. Kujutame selle juhu skemaatiliselt (joon. 153). Siin *BC* on vankri kõrgus, *AB* — palkide pikkus,

[1] Tehnikas nimetatakse põhireeglit mõnikord mehaanika „kuldseks reegliks".

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

Tööliste jõupingutuse F kindlaksmääramiseks kasutame mehaanika põhireeglit.

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



Joon. 153.

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

Kuna põhireegli järgi ei saa ühegi mehhanismi abil võita töös, siis peavad need kaks tööd — $P \cdot BC$ ja $F \cdot AB$ — olema võrdsed.

Märgime nende võrdsuse üles:

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

kasutades raskuste tõstmiseks kaldpinda, võidame tungis niimitu korda ($\frac{P}{F}$), kuimitu korda on kaldpind pikem kõrgusest ($\frac{AB}{BC}$).

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

Tööline kannab telliskive maja teisele korrusele. Et telliskive oleks mugavam kanda, laob tööline need kandelauale. Telliskivide igakordsel ülesviimisel tuleb töölisel teha tööd ka kandelaua üleskandmiseks ja tal endal tuleb üles tõusta. Mida raskemad on kandelauad, seda suurem osa töölise tööst kulub kandelaudade tarbetuks üleskandmiseks. Mida kergemad on

kandelauad, seda rohkem telliskive suudab tööline sama jõupingutuse juures nendega kanda, seda suurem osa töölise tööst läheb telliskivide kandmisel «kasulikuks» tööks. Tööline teeb veelgi rohkem kasulikku tööd, kui telliskivide ülestõstmiseks kasutada mõnesuguseid mehhanisme, nii et tal endal pole tarvis üles tõusta.

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

Ülalpool nägime, et igas mehhanismis on meil tegemist hõõrdumisega, mille ületamiseks tuleb sooritada ülearust, kasutut tööd. Missuguse töö me näitena ka võtaksime, leiame, et kasulik töö moodustab alati ainult osa kogu sooritatud tööst.

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

Harilikult väljendatakse kasutegur protsentides. Oletame, et 40 kgm kasuliku töö saamiseks tuli meil sooritada töö 50 kgm. Kui suur on kasutegur.

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

95. Energia. Liikuv õhk — tuul —, leides oma teel veskitiivad, võib need panna liikuma. Kuna aga veskitiivad on edasiande-mehhanismide abil ühendatud veskikividega, siis hakkavad liikuma ka veskikivid. Seejuures sooritatakse ilmselt tööd. Järelikult omab tuul töötegemise võimet. Samasugust töötegemise võimet omab kahurist väljalennanud mürsk. Ületades õhutakistust ja sooritades oma teel purustusi, teeb ta tõepoolest tööd. Tööd teeb ka alla langedes ülestõstetud kellaviht, pannes liikuma kella mehhanismi, tammi abil ülespaisutatud vesi, pannes pöörlema veskiratta, ja üleskeeratud kella-

vedru maha käies. Iga keha, mis on teatud olukorras või asendis teiste kehade suhtes, võib evida võimet teha tööd.

Keha kohta, mis evib võimet teha teatud tööd, öeldakse, et see keha omab energiat. Järelikult tuul, liikuv mürsk, tammi abil ülespaisutatud vesi ja üleskeeratud kellavedru — kõik need kehad omavad energiat.

Liikuva keha energiat nimetatakse kineetiliseks energiaks ehk liikumis-energiaks [1].

Vee- ja õhuvool, lendav kuul, pöörlev masina hooratas, langev haamer, avast väljatungiv aurujuga — kõik need kehad omavad kineetilist energiat.

Ülestõstetud kellavihi või üleskeeratud kellavedru energiat nimetatakse potentsiaalseks energiaks.

Sõna «potentsiaal» tuleneb sõnast «potents», mis tähendab «võime». Ülestõstetud kellapomm paneb üksnes siis kella mehhanismi liikuma, kui talle antakse võimalus langeda. Üleskeeratud kellavedru paneb kella mehhanismi käima, kui ta seejuures end lahti keerab. Kokkusurutud õhk võib panna liikuma mitmesuguseid instrumente, kui ta seejuures laieneb.

Energia, mida omab ülestõstetud koormus, üleskeeratud vedru, kokkusurutud õhk, on potentsiaalse energia näiteks. Ühes nende kehade olukorra või asendi muutumisega muutub ilmselt ka nende potentsiaalne energia.

Küsimusi.

1. Tooge näiteid kehadest, mis omavad potentsiaalset energiat.
2. Tooge näiteid kehadest, mis evivad kineetilist energiat.

96. Energia jäävuse ja muundumise seadus. Mäe otsa viidud kelk evib potentsiaalset energiat. Mida kõrgem on mägi, millele kelgu viime, seda suurem on temas peituv potentsiaalne energia. Kui kelk laskub mäest alla, siis väheneb ta potent-

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

siaalne energia, kuid see-eest liigub kelk ikka kiiremini — kasvab tema kineetiline energia.

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

Järelikult, mida suuremat potentsiaalset energiat omab kelk mäetipul, seda suurem on tema kineetilise energia tagavara mäejalal.

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

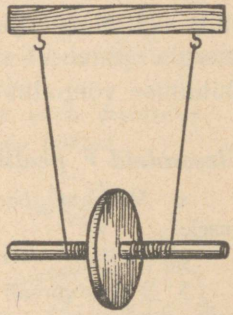
Kui kuulike hakkab langema, siis väheneb tema potentsiaalse energia tagavara, kuid ühes sellega omandab kuulike kineetilist energiat.

Löögi momendil vastu plaati omab kuulike ainult kineetilist energiat; pärast lööki vastu plaati, kui pole energia kaotust, tõuseb ta üles sama kõrguseni, milliselt alustas langemist. Selle ülestõusmise juures väheneb üha kuulikese kiirus, tema kineetiline energia väheneb, kuid kuulike tõuseb üha kõrgemale — tema potentsiaalne energia suureneb.

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

Samasuguseid nähtusi võime täheldada riista juures, mis on kujutatud joonisel 154 ja mida nimetatakse Maxwell'i (loe: mäksuöl) pendliks. Ülestõstetud pendel evib teatud potentsiaalset energiat. Kui pendel lahti lasta, siis hakkab ta pööreldes langema. Vastavalt langemisele väheneb pendli potentsiaalne energia, kuid ühes sellega kasvab kineetiline energia.

Langemise lõpul omab pendel sellist kineetilise energia tagavara, et kerides niiti telje ümber tõuseb ta peaaegu endisele kõrgusele, kust langeb ja tõuseb jälle. See kestab niikaua, kuni pendel on oma liikumist segavate takistuste ületamiseks kulutanud kogu oma energia. Kui pendlil poleks olnud vajadust anda oma energiat takistuste ületamiseks, siis poleks tema energia tagavara vähenenud, ta oleks ilmselt liikunud lõpmatuseni.



Joon. 154. Maxwelli pendel.

Läbiaruteldud näited osutavad, et:

1) potentsiaalne energia võib muunduda kineetiliseks energiaks ja ümberpöördult;

2) need energia muundused toimuvad nii, et energiahulk jääb muutuseta. Järelikult, **energia ei hävi ega teki uuesti. Ta läheb ainult üle ühest kujust teise.**

Nii kõlab looduse põhiseadus — **energia jäävuse ja muundumise seadus.**

Küsimusi.

1. Milles seisab energia jäävuse ja muundumise seadus?
2. Tooge näiteid ühe energia liigi muundumisest teiseks.
3. Kuidas mõõdetakse energiat?
4. Missuguste ühikutega mõõdetakse energiat?

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

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

Mõeldi välja väga palju keerukaid igavese jõumasina mehhanisme, paljusid neist ehitati. Kuid ükski mehhanism mitte ainult ei liikunud igavesti, vaid temale antud liikumine lõppes üsna kiiresti.

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

Ülesandeid V peatüki juurde.

1. Määrata töö, mis tuleb sooritada, et tõsta 2 t 0,5 m kõrgusele.
2. Tööline tõstis 30 kg 5 m kõrgusele. Kui suur on tehtud töö?
3. Pump annab igas sekundis 10 m kõrgusele 20 l vett. Kui suure töö sooritab pump minutis?
4. Puusaagija lükkab sae 50 cm kaugusele, kasutades 10 kg jõupingutust, kusjuures iga lükkega saag sügavneb 3 mm võrra. Kui palju tööd läheb vaja, et saagida läbi 30 cm paksune palk?
5. Kui suurele kõrgusele võib tõsta 5 kg koormuse, kulutades selleks 12 kgm tööd?
6. Kui suure kiirusega võib hobune vedada vankrit, rakendades 60 kg jõupingutust, kui ta minutis teeb tööd 3600 kgm?
7. Kui suurele kõrgusele võib tõsta ämbri vett (12 l), sooritades töö 60 kgm?
8. Elevaator tõstab tunnis 720 000 kg teri kõrgusele 25 m. Määrata selleks tööks vajalik võimsus.
9. 100 m sügavusse šahti koguneb minutis 4,5 m^3 vett. Kui suur peab olema selle vee ärapumpamiseks pumba võimsus?
10. Auto võimsusega 40 HJ kulutas koormuse veoks 20 min. Kui suure töö sooritas auto?
11. Dirižaabel, sõites 4 mootoriga, igaüks 100 HJ, liigub õhus kiirusega 120 km/tunnis. Leida õhutakistuse jõud dirižaabli liikumisele.
12. Hobuse võimsuse kindlaksmääramiseks laskis James Watt hobust tõsta 68 kg koormust. Selle koormuse tõstis hobune üles kiirusega 4 km/tunnis. Määrata nende andmetega hobuse võimsus kilogramm-meetreis sekundis ja hobujõududes.

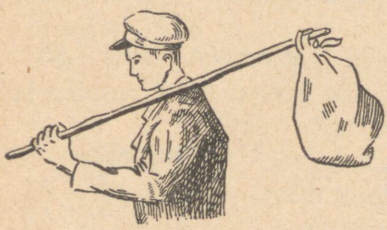
13. 5 at aururõhu all liikus kolb edasi 0,5 m. Määrata auru töö, kui kolvi pindala on 300 cm^2.

14. Kui kaua peab töötama pump, mille võimsus on 20 HJ, et pumbata välja 200 m sügavusest šahtist 150 m^3 vett?

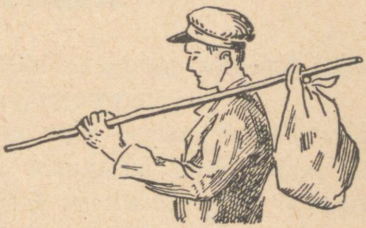
15. Kas suudab 75 kg raskune inimene tõsta 85 kg koormust liikumatu ploki abil?

16. Liikuva plokiga tõstetakse 50 kg koormust (joon. 129). Milline jõud on rakendatud liikumatu ploki klambrile? konksule, mille külge on seotud nööri ots? liikuva ploki klambrile?

17. Pööra võlli diameeter on 20 cm, pööra ratta diameeter — 1 m. Millist võitu võib saada jõus, kasutades seda pööra?



Joon. 155.



Joon. 156.

18. Kuidas tuleb ehitada pöör, et tema abil oleks võimalik saada 10-kordset võitu jõus?

19. Jäätunud mäe pikkus on 20 m, kõrgus 4 m. Kui suur töö tuleb sooritada, et tõsta sellele mäele 15 kg raskust kelku? Kui suur jõud on vajalik kelgu tõstmiseks?

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

21. Tööline veab käruga koormust. Koormuse ja käru kaal on 60 kg. Kas tuleb rakendada väiksemat või suuremat jõudu kui 60 kg, et lükata käru käepidemeist?

22. Selgitage, miks ei kasutata kruustangide juures harilikke mutreid vaid „tiibmutreid" (joon. 143); millises asendis rõhub kepp, millega kantakse kompsu, õlale vähem (joon. 155—156).

23. 200 t koormuse tõstmiseks 0,5 m kõrgusele on vaja sooritada teatud töö. Arvutada, kui suure töö sooritame samal tõstmisel kangi abil, mis annab 5-kordse võidu jõus.

24. Määrata, missuguse jõuga rõhub kepp inimese õlale (joon. 153), kes kannab 5-kilogrammist kompsu kepi otsas, kui kepi otsa pikkus õlast käeni on 40 cm, õlast kompsuni aga 60 cm. Kepi kaalu mitte arvestada.

25. Kui kaugel toetuspunktist on vaja rakendada jõudu 1 kg, et tasakaalustada jõudu 4,5 kg, mis mõjub 15 cm pikkusele kangi õlale?

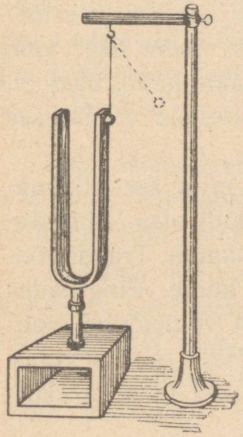
26. Kangi otstele mõjuvad jõud 2 kg ja 8 kg. Jõudude rakenduspunktide kaugus on 1 m. Kus on toetuspunkt, kui kang on tasakaalus?

27. Kangi õlad on 10 cm ja 30 cm. Kangile mõjuv väiksem jõud on 5 kg. Leidke suurem jõud.

VI peatükk.

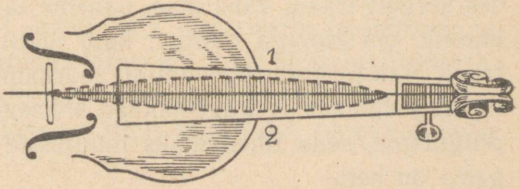
Algteadmisi häälest.

98. Hääle tekkimine. Hääleks nimetame selliseid füüsilisi nähtusi, mida tajume oma kuulmisorgani abil.



Joon. 157. Helisev helihark võngub.

Kui helisevale helihargile lähendada niidi külge kinnitatud teraskuulike, siis võib kuulikese pillutamise järgi helihargi poolt täheldada, et helihargi harud võnguvad (joon. 157). Niipea kui helihargi harud lakkavad võnkumast (kuulike lakkab pillutumast), lõpeb ka helihargi helisemine.



Joon. 158. Häält tekitav viiuli keel võngub.

Et viiuli keel hakkaks helisema, on teda vaja panna värisema, võnkuma. Meie saavutame selle, kas tõmmates poognaga mööda keelt või lüües teda millegagi. Vaatleme tähelepanelikult värisevat keelt: ta on nagu keskelt jämedamaks

muutunud ja tema piirjooned on vähem selged. Keele kuju on muutunud seepärast, et ta võngub kahe äärmise asendi 1 ja 2 vahel (joon. 158). Keele võnked on niivõrd kiired, et meie ei saa jälgida ta liikumist. Kui helisevale keelele lähendada pabeririba otsake, siis hakkab ribake keele löökidest hüplema. Kuni võngub keel, kuuleme häält; peatame keele, lõpeb ka hääl.

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

Vaatlused ja katse näitavad meile, et hääleallikaks on kõigil juhtudel võnkuvad materiaalsed kehad: inimeste ja loomade hääleorganid, pillikeeled, masinate osad jne.

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

Kinnitame naela külge, mis on löödud mingisse liikumatusse alusesse, peenikese vask- või terastraadi otsa. Pingutades kergelt traadi vaba otsa, paneme ta võnkuma. Traadi võnkumine on silmaga nähtav, kuid häält ei kuule. Pingutades traati järk-järgult tugevamini, märkame, et võnkumine muutub sagedamaks ja traat hakkab helisema. Mida rohkem traati pingutame, seda tihedamaks muutuvad võnked ja seda «kõrgem» on heli.

Võtame teljel pöörleva hammasratta. Paneme ta pöörlema ja puudutame hambakesi mingi õhukese plaadikesega (näiteks tihedast kartongist). Kui plaadikesest möödub hambake, kaldub plaadike kõrvale, kui möödub sälk, sirgub plaadike. Lõpptulemusena on plaadike pandud võnkuma.

Mida kiiremini pöörame ratast, seda tihedamad on plaadikese võnkumised ja seda kõrgem kuuldavale tulev hääl.

Võngete arvu, mida teeb võnkuv keha 1 sekundis, nimetatakse võnkesageduseks.

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

Meie kõrv pole võimeline kuulma kõiki hääli. Madalatel ja kõrgetel toonidel on piirid. Enamik inimesi kuuleb madalaid hääli alates 16—30 võnkest sekundis. Kõrgeid hääli aga kuuleme meie 30 000—40 000 võnkeni sekundis. Inimese hääle toonide piirid kõiguvad 64 (madala bassi toon) ja 1300 (soprani ülemine toon) võnke vahel sekundis.

Looduses esineb võnkeid, mille sagedus on niivõrd suur, et meie kõrv ei võta neid kui häält vastu. Nii võib lendava sääse tiivakeste võnkesagedus olla üle 40 000 võnke sekundis, nagu näitavad katsed. Võib kergesti tähele panna, kuidas sääse poolt tekitatav hääl muutub üha kõrgemaks ja kõrgemaks ning kaob lõpuks.

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

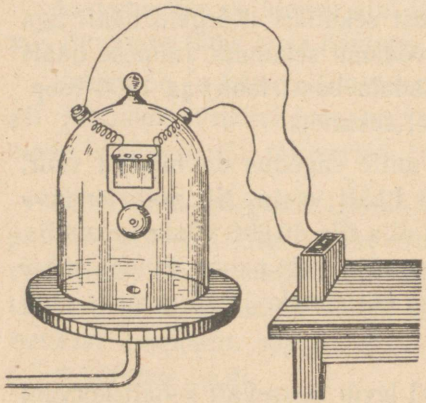
Asetame õhupumba kupli alla elektrikella ja paneme ta helisema. Sel määral, kuidas kupli alt õhku välja pumbatakse, muutub hääl ikka nõrgemaks ja nõrgemaks ja kaob lõpuks täiesti. Vastupidi, kui laseme kupli alla õhku, tugevneb kella hääl (joon. 159).

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

Seome supilusika peenikese nööri keskkohta, nööri otsad asetame kõrvadesse ja lööme lusikaga vastu lauda. Lusika

võnkumine andub edasi nööri mööda ja meie kuuleme lusika helinat.

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



Joon. 159.

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

Katsed näitavad, et mitmesugused tahked kehad juhivad häält erinevalt. Pehmed ja urbsed kehad on halvad hääle juhid. Kui kell on rõivaste taskus, siis on ta ümbritsetud pehme riidega ja meie ei kuule ta tiksumist.

Et kaitsta mingit ruumi kõrvaliste häälte sissetungimise vastu, kaetakse seinad, põrand ja lagi häält mitteläbilaskva materjali kihiga (vilt, vaibad, pressitud kork, urbsed kivid, seatina). Hääl, jõudnud selliste kihtideni, kustub kiiresti.

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

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

101. Hääle levimise kiirus. Lihtsad vaatlused näitavad, et hääl levib keskkonnas teatud kiirusega. Kui vaatame püssilaskmist kaugelt, siis näeme algul suitsu ja tuld, alles teatud

aja pärast kuuleme pauku. Suits tekib samal ajal, kui tekib esimene hääle võnge. Mõõtnud ajavahemiku (t sekundit) hääle tekkimise (suitsu ilmumise moment) ja momendi vahel, millal hääl jõuab kõrvani, ja teades kaugust (s m) kuni hääleallikani, võime kergesti määrata hääle levimise kiiruse ($v = \frac{s}{t}\ \frac{\text{m}}{\text{sek}}$). Täpsed mõõtmised näitavad, et hääle kiirus on õhus 0° ja normaalse õhurõhu juures 332 m/sek.

Õhu temperatuuri kasvamisega kasvab hääle kiirus. Näiteks 15° juures on kiirus 342 m/sek.

Muudes gaasides on hääle kiirus teistsugune kui õhus. Mida kergem on gaas, seda suurem on temas hääle kiirus. Vesinikus on ta 0° juures 1265 m/sek. Süsihappegaasis kui raskemas gaasis on hääle kiirus väiksem; 0° juures on ta 260 m/sek.

Katse hääle kiiruse määramiseks vees tehti esmakordselt 1827. a. Genfi järvel. Üks vaatlejaid laskis oma paadist vette kella, pani selle vee all helisema ja tekitas paadis samaaegselt püssirohu suitsu. Teine vaatleja, kelleni vahemaa oli täpselt mõõdetud, nägi teises punktis algul püssirohu plahvatust, alles siis kuulis läbi vettelastud kuuldetoru kella kõlinat. Mõlemad ajamomendid märkis ta ära sekundimõõtjaga. Pärast arvutati hääle kiirus samuti, nagu seda tehti hääle kiiruse määramisel õhus. Selgus, et hääle kiirus vees on 1450 m/sek.

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

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

Hääle kiirus mitmesugustes keskkondades.

Õhk (0° juures)	332 m/sek
Vesinik (0° juures)	1265 „
Süsihappe gaas (0° juures)	260 „
Vesi	1450 „
Vask	3800 „
Raud	4900 „
Klaas	5600 „
Kuusepuu	4800 „
Kork	430—530 „
Kautšuk	50 „

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

Elastsed keskkonnad juhivad häält paremini ja hääle kiirus on neis suurem.

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

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

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

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

Mis toimub õhus hääle levimisel? Teame, et õhk on elastne keha. Kui suruda õhk kokku ja siis lõpetada rõhumine, võtab õhk uuesti oma esialgse ruumala. Helisev keha paneb võn-

kuma õhuosakesed, mis temaga vahetult kokku puutuvad. Liikumapandud õhuosakesed suruvad naabruses olevaile õhuosakestele ja panevad neid samuti võnkuma nagu helisev kehagi. Võnked, antuna edasi õhuosakestelt õhuosakestele, panevad võnkuma need õhuosakesed, mis on vahetult meie kõrva juures; nende osakeste võnkumine paneb võnkuma meie kõrva kuulmenaha ja meie kuuleme häält.

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

Küsimusi.

1. Millest sõltub hääle kõrgus?
2. Kas hääl levib igas keskkonnas?
3. Missugused on meie poolt kuuldavate häälte sageduspiirid?
4. Mis on kaja?
5. Millise katse abil võib näidata, et maa ja raudteeröövpad juhivad häält hästi?

Harjutusi.

1. Missugusel kaugusel tuleb olla peegeldavast seinast, et kaja jõuaks meieni 3 sek. jooksul?
2. Miks kehakultuuri päevadel, millest võtab osa väga palju kehakultuurlaste rühmi, antakse käsklusi mitte hääle, vaid nähtavate signaalidega?
3. Kui kaugel toimus välgulöömine, kui kuulsime müristamist 5 sek. pärast välgu löömist?
4. Kui suur on mere sügavus, kui selle sügavuse uurimisel laeva veealuse kella hääl, pärast peegeldumist mere põhjas, jõudis merepinnale 2,5 sek. jooksul?

I peatükk.

Kehade paisumisest soojenemisel.

103. Sissejuhatus. Ürgaegsete inimeste laagrikohtades leitakse lõkkejäänuseid ja jälgi, mis osutavad sellele, et ürgaegsed inimesed kasutasid tuld mitte üksnes soojendamiseks, vaid et tulel valmistati ka toitu, põletati savi, valmistati nõusid. Kuid alles võrdlemisi hiljuti õppisid inimesed kasutama soojust masinate tööks.

Alles XVII s. tuli arenevale tööstusele vaja võimsat ja tugevat jõumasinat, mida oleks võidud üles seada mistahes kohas.

Ilmuvad aurumasinad: Polzunovi [1] oma Venemaal, Newcomen'i [2] ja Watt'i [3] omad Inglismaal.

Pärast 1800. a. leiab aurumasin laialdast kasutamist tööstuses ja transpordis.

Tehased vahetasid meelsasti hobused, kes panid käima tööpingid, aurumasinate vastu.

1834. a. ehitati Uuralis, Alam-Tagilis, esimene raudtee Venemaal. Sellel teel pani vagunid liikuma Tšerepanovite [4]

[1] Polzunov — sõduri poeg, meister Siberi mäekaevanduses.

[2] Newcomen — iseõppinud sepp, kaevandustööline.

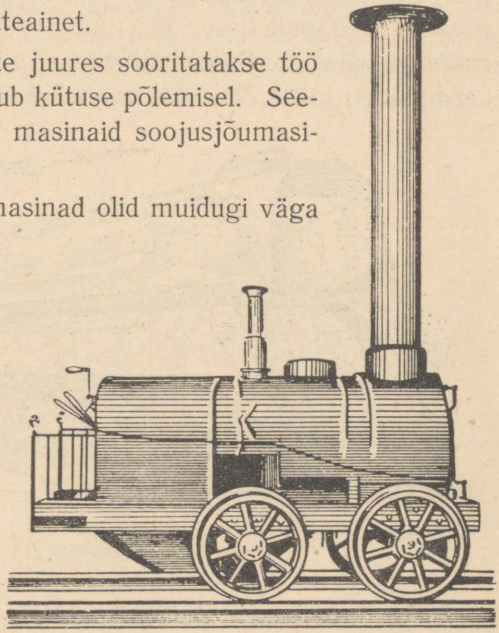
[3] Watt — lukksepp, omandas iseõppimisel suuri teadmisi.

[4] Tšerepanovid — J. A. ja M. J. — isa ja poeg — Alam-Tagili mäetehaste mehaanikud.

vedur (joon. 160), mida võib pidada nüüdisaegse veduri (joon. 161) üheks eelkäijaks.

Peale aurumasinate kasutatakse nüüdisaegses tehnikas auruturbiine. Autodel, lennukeil, dirižaablitel, laevadel ja allveelaevadel töötavad plahvatusmootorid, mis tarvitavad üht või teist kütteainet.

Kõigi nende masinate juures sooritatakse töö soojuse arvel, mis eraldub kütuse põlemisel. Seepärast nimetatakse neid masinaid soojusjõumasinateks.



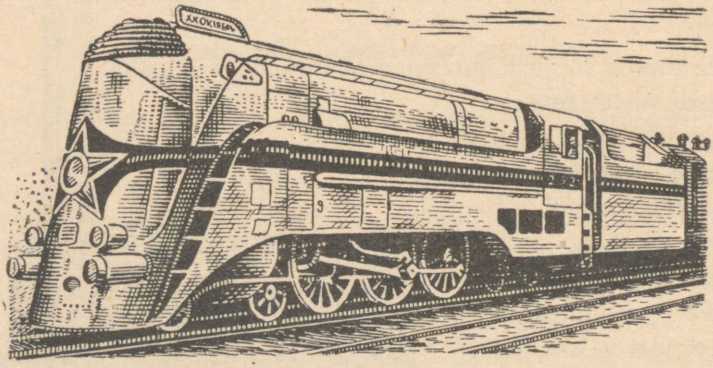
Joon. 160. Tšerepanovite vedur.

Esimesed soojusjõumasinad olid muidugi väga kaugel nüüdisaegseist masinaist, mida evib praegusaegne tehnika. 200 aasta jooksul, mis sellest ajast on möödunud, kui ilmusid esimesed aurumasinad, on tehnika neisse toonud tunduvaid muudatusi, täiendusi ja palju uusi leiutusi. Suur teene selles asjas kuulub füüsikale. Uurinud hoolikalt paljusid soojusnähtusi, näitasid füüsikud leiduritele, tehnikutele ja inseneridele kätte need teed, mida mööda käies saavutasid nad soojusjõumasinate arengus suuri edusamme.

Et teadlikult saada aru nüüdisaegsete masinate tööst, on meil vaja eelkõige õppida tundma rida soojusnähtusi, alates kõige lihtsamaist; see ongi meie kursuse ülesanne.

104. Õhu paisumine soojenemisel. Võtame korgiga suletud keedupudeli, mille korki läbistab klaastoru; asetame toru

otsa vette. Soojendame keedupudelit piirituselambiga või isegi käega (joon. 162). Õhk hakkab mullidena keedupudelist väljuma. Õhu hulk keedupudelis ei suurenenud, ja kui õhk väljub keedupudelist, siis järelikult tema ruumala suurenes soojenedes. Kui õhku keedupudelis jahutada, siis tõuseb vesi toru mööda keedupudelisse, mis näitab, et õhu jahtumisel tema ruumala väheneb. Samad tulemused saaksime, kui täidaksime keedupudeli mitte õhu vaid mõne muu gaasiga.



Joon. 161. Nüüdisaegne vedur.

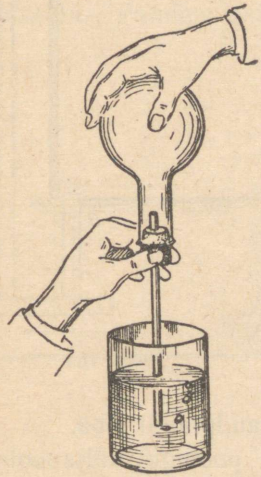
105. Vedelikkude paisumine soojenemisel. Täidame vee või mõne muu vedelikuga keedupudeli, mis on suletud korgiga, mida läbistab klaastoru (joon. 163). Märgime kummirõngakesega vedeliku taseme torus. Soojendades keedupudelit märkame, et vedeliku tase torus tõuseb. Keedupudeli jahtudes vedeliku tase langeb. Tähendab, ka vedelikud paisuvad soojenedes, jahtudes aga tõmbuvad kokku.

106. Laboratoorne töö nr. 1. T ö ö e e s m ä r k — **võrrelda mitmesuguste vedelikkude ja gaaside soojuspaisumist.**

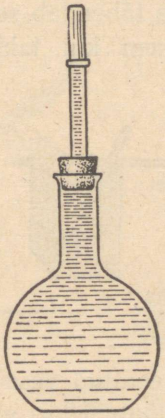
1. Täidame ühesuurused katseklaasid ühekõrguselt vee, piirituse või petrooleumiga ja asetame nad kuuma vee nõusse.

Paneme tähele, kas vedelikud paisuvad ühesugusel soojenemisel ühteviisi.

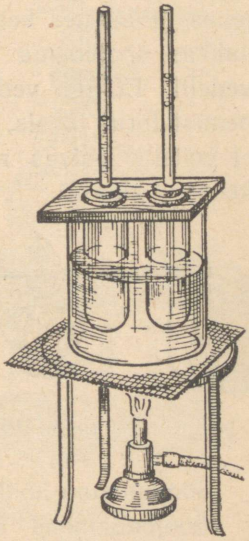
2. Võrdleme vedeliku ja gaasi paisumist. Suleme kaks ühesugust katseklaasi korkidega, mida läbistavad klaastorud (joon. 164). Ühe katseklaasi täidame nagu varem piirituse või petrooleumiga, teise katseklaasi torusse aga asetame tilga mingit vedelikku. Mõlemad katseklaasid kinnitame koos statiivi külge ja asetame nad sooja veega täidetud klaasi. Tilga liikumise ja vedeliku taseme tõusu järgi võib otsustada vedeliku ja õhu võrdleva paisumise üle.



Joon. 162.



Joon. 163.



Joon. 164.

107. Tahkete kehade paisumine soojenemisel. Kinnitame (joon. 165) metallvarva ühe otsa liikumatule toele. Varva teise otsa paneme õlekõrrest läbi torgatud nõelale. Soojenemisel varb paisub ja pöörab nõela. Nõela liikumist näitab õlekõrre pöördumine.

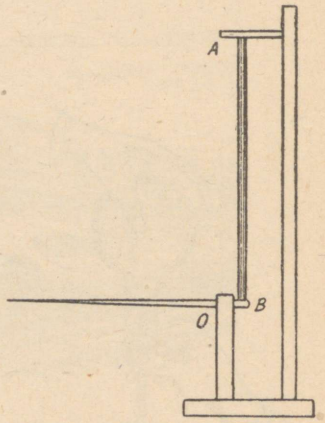
Kinnitame vertikaalselt statiivile varva *AB* (joon. 166). Varva alumine ots *B* toetub kerge kepikese otsale, mis võib

pöörelda punkti *O* ümber. Varva soojenemisel tõuseb kepikese pikem ots üles, jahtumisel aga laskub alla. Mõlemad katsed näitavad, et ka tahked kehad paisuvad soojenedes ja tõmbuvad kokku jahtudes.

Võtame riista, mida kasutasime vedeliku paisumise tundmaõppimiseks (joon. 163), ja asetame keedupudeli kiiresti palavasse vette. Algul vedeliku tase keedupudelis veidi langeb. Siis hakkab vedeliku tase tõusma. See tuleb sellest, et algul soojenes ja laienes keedupudel, siis aga hakkas soojenema keedupudelis olev vedelik. Et aga vedelik pärast soojenemist torus tõusis, siis tähendab see, et vedelik paisus rohkem kui tahke keha — klaas.



Joon. 165.



Joon. 166.

Soojendame kokkuneeditud vase- ja raudplaadi riba.

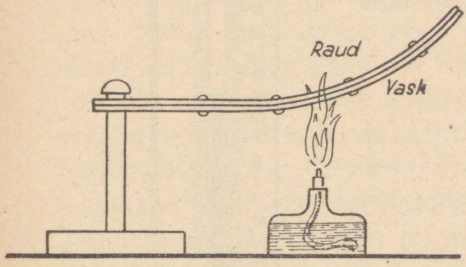
Soojendamisel kooldub riba vaskse poolega väljapoole (joon. 167). See tuleb sellest, et ühesugusel soojenemisel paisub vaskplaadike rohkem kui raudne. Jahtumisel tõmbub vaskplaadike rohkem kokku kui raudne ja riba kooldub raudse poolega väljapoole.

Vaadelnud soojendamise mõju tahketele, vedelatele ja gaasilistele kehadele, tuleme järeldusele:

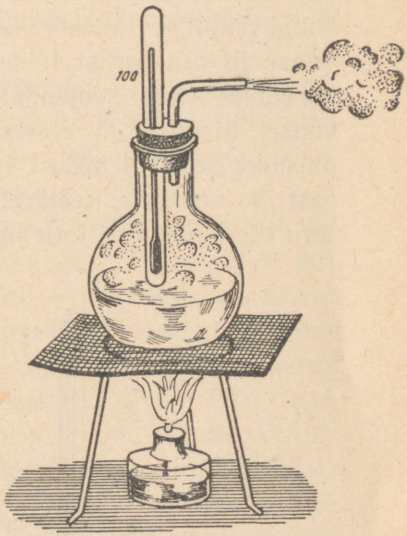
Kõik kehad soojenemisel paisuvad, aga jahtumisel tõmbuvad kokku. Ühesugusel soojenemisel ühed kehad paisuvad rohkem, teised vähem.

108. Temperatuur. Katsudes käega kütmata ahju, märkame, et ahi on külm. Kui hakkame ahju kütma, siis soojeneb see: muutub külmast soojaks ja pärast palavaks. Sõnadega külm, soe, palav iseloomustame soojuse mitmesugust olekut, kehade erinevat temperatuuri. Palava ahju temperatuur on kõrgem kui külma ahju temperatuur. Talvel on õhu temperatuur õues madalam kui suvel.

Sageli otsustame kehade temperatuuri üle aistingu järgi. Kuid seejuures võib kergesti eksida. Paneme näiteks parema



Joon. 167.



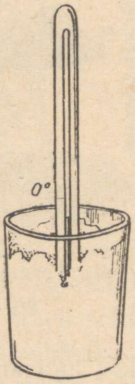
Joon. 168. Termomeeter keeva vee aurus.

käe palava vee anumasse, vasaku käe aga külma vette. Pannes pärast mõlemad käed teise, sooja vee anumasse, märkame, et parema käe tundmist mööda on vesi selles anumas külm, aga vasaku käe tundmist mööda näib sama vesi olevat palav.

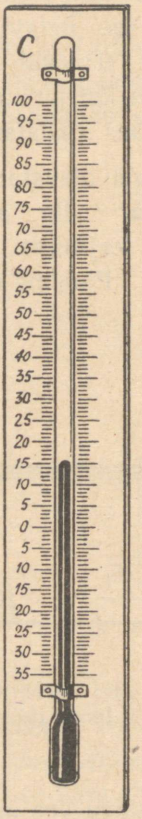
Tähendab kehade temperatuuri üle otsustamisel ei või aistingut alati usaldada.

Keha tõelise temperatuuri määramiseks kasutatakse eririistu — t e r m o m e e t r e i d.

109. Termomeetri ehitus. Termomeetri tegevus on rajatud kehade soojuspaisumisele. Mida enam on keha soojendatud, seda enam ta paisub. Termomeeter valmistatakse klaastorust, milles on väga peenike ja kogu pikkuses ühesugune kanal. Sellise toru üks ots kujutab enesest väikest kera- või silindrikujulist reservuaari. Reservuaar ja osa torust täidetakse elavhõbedaga. Siis soojendatakse reservuaari niipalju, et elavhõbe hakkab paisudes toru ülemisest lahtisest otsast üle voolama; seejärel joodetakse toru ots kinni. Kui toru ja selles olev elavhõbe jahtuvad, siis tõmbub elavhõbe rohkem kokku kui toru ja laskub toru põhja. Elavhõbeda peal tekib torus õhutühi ruum.



Joon. 169. Termomeeter sulavas jääs.



Joon. 170.

Sel viisil valmistatud riist asetatakse keeva vee aurusse (joon. 168). Elavhõbe tõuseb torus teatud kõrgusele, mis märgitakse kriipsukesega torule või mõnikord lauakesele, mille külge kinnitatakse riist. Seda punkti nimetatakse vee keemispunktiks ja selle juurde pannakse arv 100. Seejärel asetatakse termomeeter sulavasse jäässe (joon. 169); elavhõbe jahtub torus ja langeb teatud tasemeni, mis samuti märgitakse kriipsukesega. See punkt nimetatakse jää sulamispunktiks ja märgitsetakse arvuga 0.

Vahemaa 0—100 jagatakse 100 võrdseks osaks, mida nimetatakse kraadideks [1], ja nende jaotiste märkimist jätkatakse ülalpool 100 ja allpool 0. Punkte 0 ja 100 nimetatakse termomeetri «põhipunktideks».

Jaotised võivad minna ülespoole 100° ja allapoole 0°; viimasel juhul kirjutatakse või loetakse neid lisades arvu ette märgi — või sõna «miinus». Näiteks —15° loetakse: «miinus 15°» ehk «15° alla nulli». Eespool kirjeldatud viisil valmistatud skaalat nimetatakse sajakraadiliseks skaalaks, sellise skaalaga termomeetreid aga Celsiuse termomeetreiks (joon. 170), teadlase nime järgi, kes tegi termomeetriga palju katseid. Et näidata ära, et temperatuuri on mõõdetud sajakraadilise skaala järgi, asetatakse kraadide arvu järele täht C, näiteks 20° C.

Termomeetrid, mida kasutatakse mitmesugusteks eesmärkideks, omavad erinevalt ehitatud skaalasid. Nii on toatermomeetri jaoks küllaldane skaala 0°—50° C. Välistermomeetri jaoks tuleb kasutada skaalat, mis algab madalamast temperatuurist.

Madalate temperatuuride mõõtmiseks ei saa kasutada elavhõbedat, kuna see külmub —39° C juures; elavhõbe asendatakse piiritusega, mis külmub —114° C juures, või toluooliga — vedelikuga, mis külmub —95° C juures.

---

[1] Ladinakeelne sõna *gradus* tähendab s a m m.

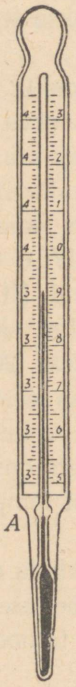
Mõõtes toa õhu temperatuuri ei või termomeetrit riputada sooja müüri või palava ahju lähedale.

Välisõhu temperatuuri mõõtmiseks asetatakse termomeeter varju, et vältida tema vahetut soojenemist Päikese kiirtest.

Vedelikkude temperatuuri mõõtmise juures ei tule temperatuuri vaatamiseks termomeetrit vedelikust välja võtta, vaid temperatuuri vaatamist tuleb teostada, jättes termomeetri vedelikusse.

Küsimusi.

1. Milleks kasutatakse termomeetrit?
2. Missuguseid punkte nimetatakse termomeetri „põhipunktideks"?
3. Mispärast ei saa elavhõbetermomeetriga mõõta madalaid temperatuure?



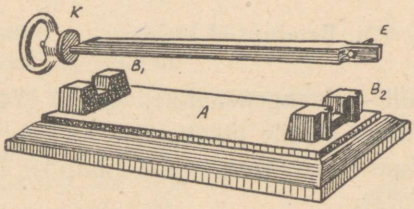
Joon. 171. Meditsiiniline termomeeter.

110. Meditsiiniline termomeeter. Meditsiiniline termomeeter omab skaalat 34° kuni 43° C, mis vastab umbes elava inimese temperatuuri kõikumisele. Kuna keha temperatuuri täpne määramine on haige ravimiseks väga tähtis, on meditsiiniline termomeeter jaotatud veel kraadi kümnendikosadeks. Et termomeetri jaotised oleksid suured ja et neid võiks selgesti loetavalt jaotada kraadi kümnendikosadeks, tehakse termomeetri reservuaar võrreldes termomeetri kitsa kanaliga väga suur. Suure elavhõbeda mahu tähtsusetu soojendamine annab elavhõbedasambas nähtava muudatuse.

Et termomeeter saaks näidata keha temperatuuri, selleks paigutatakse ta kuni 10 minutiks kaenla alla. Seejuures tõuseb elavhõbe, kuid kui termomeeter kaenla alt ära võtta, siis ei lähe elavhõbe reservuaari

tagasi. Selle põhjuseks on asjaolu, et torus on punkti *A* juures tehtud kanali kitsendus, millest elavhõbe läheb paisudes läbi, jahtudes aga katkeb selle kitsenduse juures ega lähe tagasi reservuaari. Järelikult näitab kehast eraldatud termomeeter kõrgeimat temperatuuri, mille ta saavutas soojenedes keha mõjul. Et elavhõbe läheks uuesti reservuaari, on tarvis termomeetrit tugevasti raputada. (Harilikke, mitte meditsiinilisi termomeetreid pole vaja raputada.)

111. Kehade soojuspaisumise arvestamine tehnikas. Tahked kehad paisuvad soojenemisel väga vähe. Selle üle võib



Joon. 172.

otsustada järgmise tabeli järgi, kus on ära tähendatud, kui palju pikeneb soojenemisel 1° C võrra iga aine meeter tahkes olekus:

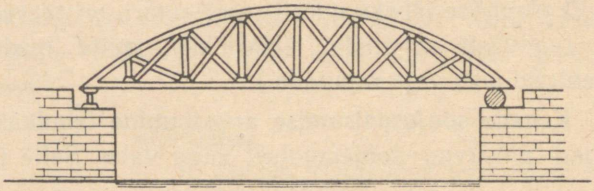
Klaas	0,000009 mm võrra
Raud	0,000012 „ „
Valgevask	0,000019 „ „
Alumiinium	0,000024 „ „

Kuid isegi see väike muudatus omab tehnikas suurt tähtsust, kuna nende paisumiste juures ilmnevad küllaltki märgatavad jõud.

Asetame vastupidavasse malmalusesse *A* (joon. 172) tugevasti soojendatud teraslati. Kinnitame selle lati aluse külge ühelt poolt (B_2) jämeda ümmarguse malmvarvaga *E*, teiselt poolt (B_1) mutriga *K*. Jahtudes latt lüheneb ja malmvarb murdub.

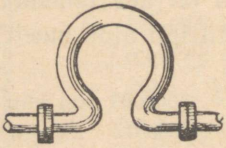
Seesugust suurt jõudu on tarvis tehnikas arvestada.

Raudteerööbaste mahapanemisel jäetakse nende otste vahele väike vahe; suuri sildu kinnitatakse ainult ühest otsast, teine seisab rullidel (joon. 173). Aurujuhtmesse pannakse

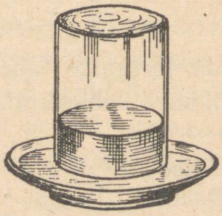


Joon. 173. Raudteesild kinnitatakse rullidele.

kõverdatud torud — kompensaatorid (joon. 174), mis võtavad enesele aurujuhtme torude pikenemise, painduvad ja hoiavad seega aurujuhtme terve. Mõningatel juhtudel leiab soojuspai-



Joon. 174. Kompensaator.



Joon. 175.

sumise jõud tehnikas otsest kasutamist; nii asetatakse rehv rattale soojendatud olekus. Kui rehv jahtub, siis surub ta ratta tugevasti kokku.

Raua ja betooni ühtlane paisumine lubab teha raudbetoonehitisi.

Vedelikud paisuvad tunduvalt rohkem kui tahked kehad. 1 l toatemperatuurilist vett suureneb ruumalalt 0,0032 l võrra,

kui seda soojendada 1° C võrra. On täiesti aursaadav, et kui soojendada mingit kinnist anumat täitvat vedelikku, siis võib ta rõhumine purustada anuma.

Gaasid paisuvad veel rohkem kui vedelikud. Soojendamisel 1° C võrra suureneb gaasi ruumala $^1/_{273}$ osa võrra ruumalast, mida omab gaas 0° juures.

Kui gaas on kinnises anumas, siis ei saa ta ruumala suureneda, mistõttu gaasi soojendamisel 1° C võrra suureneb ta rõhk $^1/_{273}$ osa võrra sellest rõhust, mida gaas omas 0° juures. Gaasi sisaldavad anumad omavad harilikult küllaldast tugevust, et pidada vastu gaasi suurendatud rõhumisele.

Ülesandeid I peatüki juurde.

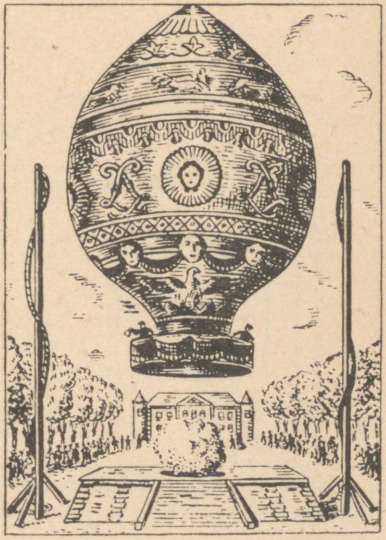
1. Mispärast on telegraafitraat suvel rohkem alla paindunud kui talvel?

2. Et võtta pudelilt tugevasti kinnijäänud klaaskorki, on vaja pudelikaela tulel soojendada. Mispärast võib see soojendamine korgi äravõtmisele kaasa aidata?

3. Malmivalamisel valatakse sula malm vormidesse, kus ta ka hangub. Valamist toimetatakse kuni 1300° juures. Mispärast tehakse vormid suuremad kui valmistatav ese ise?

4. Et keerata lahti vana roostetanud kruvi, pannakse kruvi pea juurde palav jootekolb, millega soojendatakse kruvi. Kui kruvi jahtub, saab teda kergesti lahti keerata. Kuidas seda nähtust seletada?

5. Mispärast voolab vesi soojendamisel täis teekannust välja, kuigi teekannu ruumala soojendamisel ka suureneb?



Joon. 176. Vendade Montgolfier'de õhupalli tõusmine 21. nov. 1783. a.

6. Kas võib talvel kauplusest osta plekknõutäis petrooleumi, kui nõu kodus tuleb hoida soojas ruumis?

7. Mispärast soojendab sepp tugevasti raudrehvi, enne kui ta selle paneb ratta pöiale?

8. Kui neetida kokku ühesuurused raud- ja vaskplaadid ja siis soojendada, siis kõverdub kogu kokkuneeditud plaat. Mispärast?

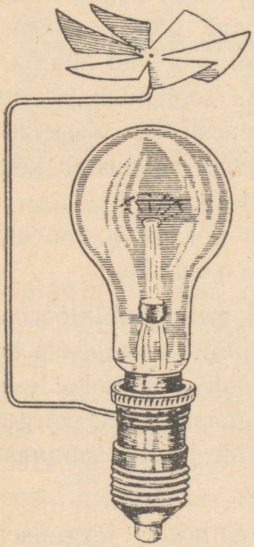
9. Veega taldrikule pandi kummulipööratud tuline klaas. Mispärast seisab vee tase klaasis pärast teatud aja möödumist kõrgemal kui taldrikul (joon. 175)?

10. Joonisel 176 on kujutatud esimese, vendade Montgolfier'de (loe: mongolfjé) õhupalli tõusmine 21. nov. 1783. a. Pall täideti kuuma õhuga, mida võib näha palli alla tehtud tule järgi. Seletada, mispärast tõuseb üles kuuma õhuga täidetud pall?

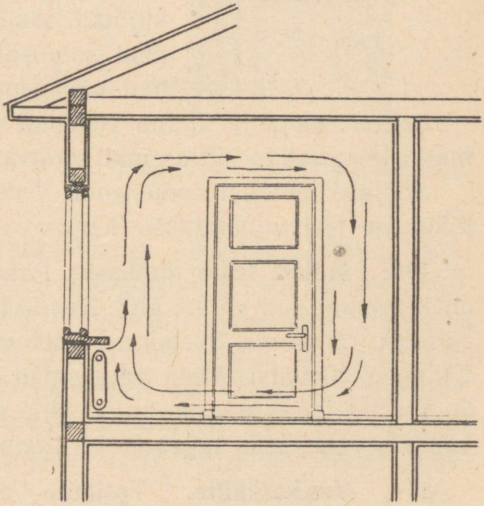
II peatükk.

Soojuse edasiandmine.

112. Konvektsioon. Asetades käe keskkütte radiaatori, pliidi või põleva elektrilambi kohale, märkame, et nende kohal tõusevad üles soojaõhu joad. Väike tuuleratas, mis on asetatud küünla leegi või elektri-laualambi kohale, hakkab tõusva sooja õhu voolusest liikuma (joon. 177). Käterätikud, mis



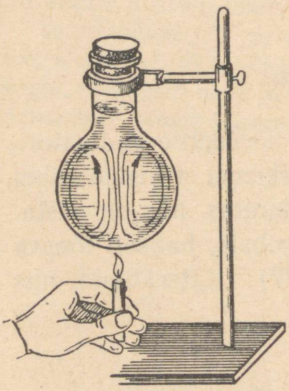
Joon. 177.



Joon. 178.

kuivavad pliidi kohal, kõiguvad tõusva õhu tõttu. Toas toimub õhu ringvool (joon. 178).

Külm õhk, puutudes kokku palavate radiaatoritega, soojeneb ja tõuseb üles. Tema asemele tulevad uued annused vähem sooja õhku. Toas toimub sooja ja külma õhu ümberasetumine, mille tulemusena toa õhk soojeneb.



Joon. 179.

Mis on nende vooluste põhjuseks? Teame, et gaasid soojenedes paisuvad; seetõttu väheneb nende erikaal. Nagu õhupall, mis on täidetud kergema gaasiga kui ümbritsev õhk, tõuseb üles, nii tõuseb üles ka palav õhk. Külm õhk aga kui raskem laskub alla.

Samasuguseid nähtusi paneme tähele, kui soojendame vedelikku alt (joon. 179).

Vedeliku soojenenud osakesed kui kergemad tõusevad üles, raskemad külmad osad aga langevad alla, kus neid soojusallikas soojendab ja kust nad soojenenult uuesti üles tõusevad.

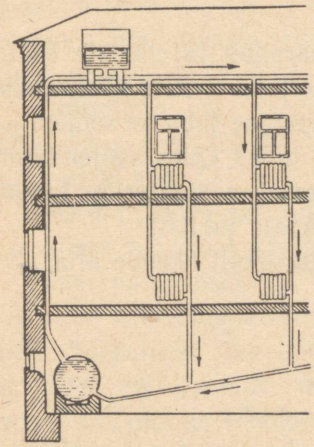
Selline sooja ja külma vedeliku ringvool soodustab kogu massi kiiremat ja ühtlasemat soojenemist.

Soojuse levimist soojenenud vedeliku või gaasi hoovuste liikumise teel nimetatakse konvektsiooniks.

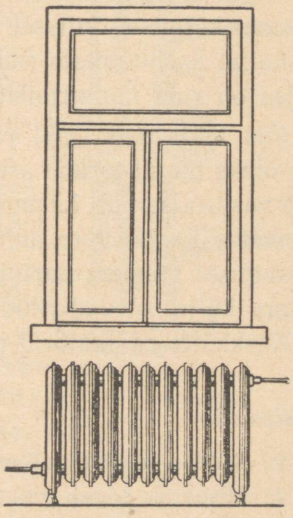
113. Millest tekib tõmbus? Palavad gaasid ahjulõõrides on kergemad kui väline õhk. Nende rõhumine on väiksem kui välisõhu rõhumine. Seepärast läheb välisõhk alt küttekoldesse, tekitades tõmbust. Mida palavamad on gaasid, mida kõrgem on korsten, seda suurem on soojade gaaside ja õhu sammaste kaalude vahe, seda tugevam on tõmbus.

114. Vesikeskküte. Vesiküte on ehitatud järgmiselt. Hoone keldriruumi on paigutatud kinnine katel, milles sooje-

neb vesi. Katla ülemisest osast läheb sirge veetõusutoru pööningule. Seal muutub ta kergelt kaldtoruks, millest lähtub allapoole läbi hoone tubade rida vertikaalseid torusid. All suubuvad kõik need torud teise kaldtorusse, mis viib alt katlasse (joon. 180). Vertikaalsete torudega ühendatakse torud, mis viivad tubades asuvate radiaatoriteni [1] — erikujuliste malm-



Joon. 180. Vesiküttе skeem.



Joon. 181. Vesiküttе radiaator.

karpideni —, mis on mitmekaupa ühendatud (joon. 181). Kogu küttevõrk täidetakse veega. Kütmisel vesi katlas soojenedes paisub. Vee ülejääk, mis tekib soojenedes paisumise tõttu, juhitakse võrdlemisi kitsast toru mööda eri paaki, mis asub pööningul. Katlas soojendatud vesi tõuseb vertikaaltoru mööda pööningule ja satub kaldtorusse, kust voolab laiali torusid mööda, mis viivad kõigi korruste radiaatoriteni. Üles-

[1] Radiaator — kiirgaja.

läinud sooja vee asemele voolab kõigist torudest külm vesi, Katla edasise kütmisega läheb katlast kaldtorusse juba palav vesi ja selle asemele tuleb torudest katlasse vähem palav vesi.

Palav vesi soojendab radiaatoreid, andes neile osa oma soojusest, ja jahtudes neis, pöördub tagasi katlasse. Radiaatorite juurde pannakse kraanid, mille abil võib sulgeda vee juurdepääsu radiaatorile ja panna seega seisma üksiku toa edasise kütmise, kui see on läinud liiga soojaks. Mõnikord pannakse karbitaoliste radiaatorite asemele laiad torud, mille küljes on rida malmribisid.

Mis tähtsus on neil radiaatori karpidel ja ribidel? Võibolla oleks olnud torude asetamisest küllalt? Sellele küsimusele võib vastata samuti küsimusega: missugune tuba on soojem — kas väikese või suure ahjupindalaga tuba? Olles soojendatud ühesuguse temperatuurini, suurendavad radiaatorite karbid ja toru küljes olevad ribid kõetud pindala tublisti.

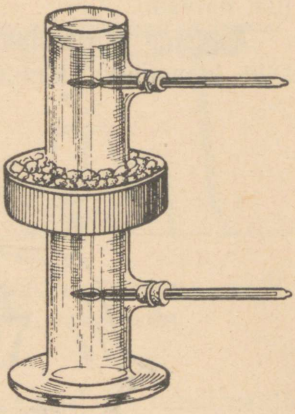
Keskkütte radiaatorid pannakse harilikult akende alla.

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud vesiküte?
2. Mispärast liigub vesi vesiküttе torudes?
3. Missugusel korrusel on radiaatorid soojemad — kas alumisel või ülemisel korrusel (vt. joon. 180)?

115. Kuidas tekib tuul. Maakera pinna mitmesugused osad soojenevad päikese kiirte mõjul erinevalt. Tõepoolest, liiv jõekaldal on suvel palav, aga vesi jões pole kaugeltki soe. Lahtised kohad soojenevad tugevamini kui kohad, mis on kaetud tiheda taimestikuga. Puutudes kokku soojenenud maapinnaga, soojenevad õhu alumised kihid. Soe õhk tõuseb üles ja tema asemele tulevad külmemad õhumassid. Õhumasside horisontaalne ümberasetumine ehk liikumine pole midagi muud kui tuul.

116. Vee soojuspaisumise iseärasus. Silindrikujulisel anumal on küljepinnal kaks ava erineval kõrgusel (joon. 182). Avadesse on pandud kaks termomeetrit. Anumasse on valatud vesi. Keskel on võrk jää jaoks. Pannud võrku jää, jahutame vett anumas. Samal ajal vaatleme termomeetrite näitamisi. Algul märgib madalamat temperatuuri alumine termomeeter, mis osutab jahenenud vee allalangemisele, kuid alates 4° C näitab madalamat temperatuuri ülemine termomeeter, alumine termomeeter aga märgib edasi temperatuuri 4° C.



Joon. 182.

Järelikult vesi paisub mitte üksnes soojenemisel üle 4° C, vaid ka jahtumisel alla 4° C.

See näitab, et vesi omab 4° C juures kõige suuremat erikaalu.

Vee paisumisel on suur tähtsus vees elavate olendite elu alalhoidmiseks. Tõepoolest, talvel sügavates veekogudes vesi jahtudes ülal laskub alla — põhja. See külma vee allaliikumine kestab seni, kui vesi muutub külmemaks kui 4° C. Sel juhul lõpeb jahtunud vee allalangemine ja vesi külmub järk-järgult jahtudes pealt kinni. Teatud paksusega jääkiht, tema halva soojusejuhtivuse tõttu, kaitseb kogu veemassi külmumast. Seetõttu ei külmu küllalt sügavais veekogudes vesi kunagi põhjani.

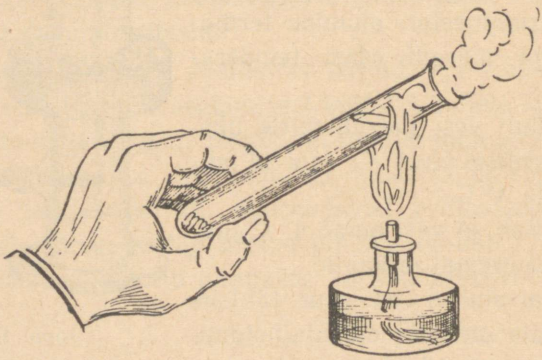
117. Soojusejuhtivus. Kui paneme metall-lusika palavasse teeklaasi, siis muutub ka lusika vars väga kiiresti palavaks. Soojus, mille saab teesse lastud lusika ots, kandub ühtede metalliosade kaudu edasi naabruses olevaile metalliosadele. Konvektsiooni juures asetus ümber soojendatud vesi ise. Antud juhul jäävad lusika osad oma kohtadele, kuid soojus andub

edasi ühelt osalt teisele. Soojuse edasiandmise nähtust keha ühelt osalt teisele nimetatakse soojusejuhtivuseks.

Uurime seda nähtust lähemalt.

Kui panna tulle kepi ots, siis hakkab see põlema, kuid ots, mis on tulest väljas, jääb külmaks. Tähendab, puu juhib soojust halvasti.

Asetame piirituslambi leegisse peenikese klaaspulgakese. Piki klaaspulka kinnitame vahakuulikesed. Meil tuleb kaua



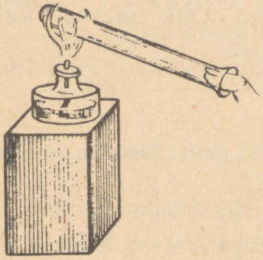
Joon. 183.

oodata, kuni vahakuulikesed kepikese küljest maha kukuvad. Järelikult ka klaas juhib soojust halvasti.

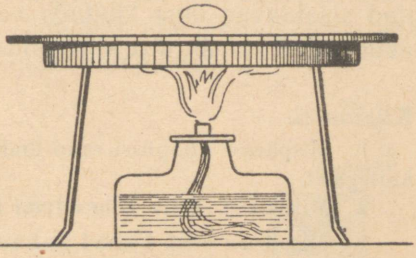
Võtame katseklaasi veega (joon. 183), asetame sellesse jäätükikese, mille peal on koormus, et jää vajuks põhja, ja hakkame soojendama katseklaasi ülemist osa. Vesi hakkab varsti keema, kuid jää katseklaasi põhjas sulab väga vähe. Tähendab vesi juhib soojust halvasti, samuti nagu puu ja klaaski.

Joonisel 184 on kujutatud katse, mis näitab õhu halba soojusejuhtivust. Kuiv katseklaas pannakse sõrme otsa ja soojendatakse teda, hoides katseklaasi leegis põhjaga ülespoole. Sõrm seejuures soojust peaaegu ei tunnegi.

Kui lasta tilk vett hõõguvale metallpinnale (joon. 185), siis muutub tilk võrdlemisi aeglaselt auruks, sest vee ja metallplaadi vahel tekkis aurukiht, mis takistab plaadi soojuse pääsu veetilga juurde.



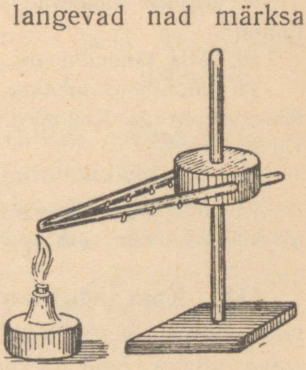
Joon. 184.



Joon. 185. Veetilga ja hõõguva plaadi vahel on aurukiht.

Kinnitame statiivil asuva korgi külge vask- ja raudtraadid nii, et traatide vabad otsad puutuksid kokku (joon. 186). Kinnitame traatide külge vahaga mõned haavlid ja juhime ühendatud traatide otsad piirituslambi leegisse. Märkame, et haavlid hakkavad varsti järk-järgult traatide küljest maha langema, kusjuures vasktraadi küljest langevad nad märksa varem kui raudtraadi küljest. Meie katse näitab, et nii vask kui ka raud on üldiselt head soojusejuhid; nendest on vask parem kui raud.

Niisiis katsed näitavad meile, et erisuguste kehade soojusejuhtivus on erisugune. Ühed kehad juhivad soojust hästi, teised halvasti. Head soojusejuhid on metallid, parimad nendest on hõbe ja vask. Puu, klaas ja nahk juhivad soojust halvasti.



Joon. 186.

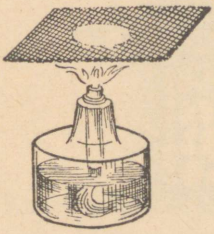
Kõige halvemini juhivad soojust: vill, karvad, linnusuled, paber, kartong, asbest, kork ja teised urbsed kehad. Soojusejuhtivus on väike kõigil vedelikkudel, välja arvatud elavhõbe. Gaasid juhivad soojust veel halvemini kui vedelikud. Vill, vatt, udusuled ja karusnahk on halvad soojusejuhid sellepärast, et nad sisaldavad oma kiudude vahel õhku. Õhk, mis on kahe akna vahel, hoiab tuba kiire jahtumise eest.

Küsimusi.

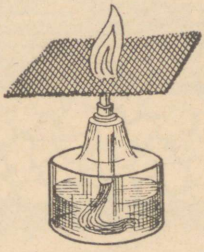
1. Mispärast vintpüssi raud ümbritsetakse puust laenõva ja rauakattega?
2. Mispärast sügav kohev lumi kaitseb vilja külmumise eest?
3. Mispärast õled, heinad ja kuivanud lehed juhivad halvasti soojust?
4. Mispärast pikale raud-ahjuroobile ei tehta puust käepidet?
5. Mispärast tunduvad pakase käes metallesemed külmemana kui puuesemed?
6. Räägitakse, et kasukas „soojendab". Kas see väljendus on õige? Mis sünnib jääga, kui see toas katta kasukaga?
7. Missugune vateeritud tekk on soojem — uus või vana, äravajunud? Mispärast?
8. Kumma katuse all on talvel soojem — õlg- või plekk-katuse all?
9. Kuidas kaitsevad end külma eest meil talvituvad loomad ja linnud?
10. Mis tähendus on katlakivil vee soojendamisel?
11. Mõnikord tehakse maja seinad laudadest, mille vahed täidetakse saepuruga. Kas need seinad peavad olema palkseinast paksemad või õhemad?
12. Mis tähtsus on topelaknail, mis pannakse ette talveks?
13. Mispärast lõhkevad paksud teeklaasid palavast veest, õhukestes klaasides aga võib vett keeta?

118. Kaevanduselamp. Kui hoida gaasilambi (või ka piirituslambi) leegi kohal tihedat vaskvõrku (joon. 187), siis gaas võrgu peal ei põle. Võib ka vastupidi süüdata gaasi võrgu peal, nii et leek ei levi võrgu alla (joon. 188).

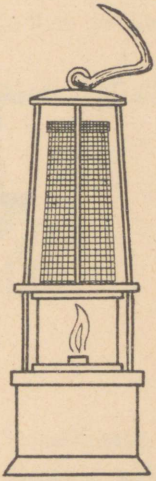
Kui lambi leek ümbritseda vaskvõrguga (joon. 189), siis kaevanduses tekkinud põlevgaas, sattunud lampi, põleb selles. Väga hea soojusejuhtivuse tõttu alandab võrk põlemissaaduste temperatuuri kiiresti; need, minnes ümbritsevasse õhku, mis sisaldab plahvatavat gaasi, ei süüta seda. Seesuguseid lampe kasutati kaua kaevandustes. Nüüdsel ajal asendatakse neid meil kaevandustes mugavate elektrilampidega.



Joon. 187.



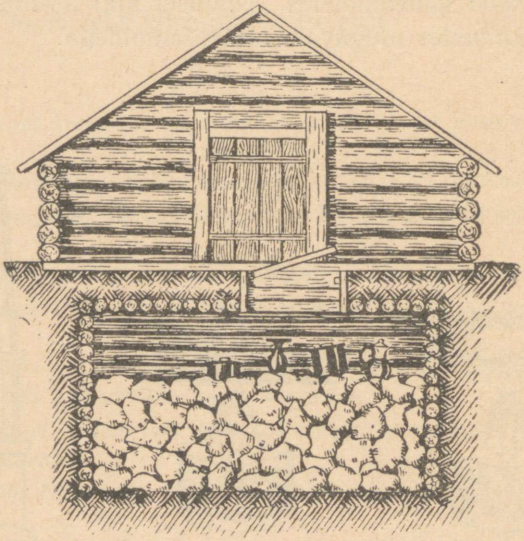
Joon. 188.



Joon. 189. Kaevanduselamp.

119. Soojuse isolatsiooni näiteid ehitiste juures. Elu- ja tööruumide seinad ehitatakse puust, telliskivist, kivist või betoonist. Kõik need materjalid omavad väga väikest soojusejuhtivust ja kaitsevad paraja paksuse juures ruumi jahtumise vastu välisõhu mõjul. Hoone põrand ja lagi tehakse harilikult puust, ja nende paremaks soojuse hoidmiseks jäetakse põranda ja maa, lae ja katuse vahele tühi ruum, mis on täidetud õhuga. Õhk, olles halb soojusejuht, kaitseb hoonet jahtumise vastu alt ja ülevalt. Õhk aga, mis on kahekordsete

akende vahel, ei lase hoonet jahtuda võrdlemisi õhukeste aknaklaaside kaudu. Puumajade seinad topitakse hoolikalt takkudega, et poleks pilusid; välisuksed lüüakse üle vildiga ja vahariidega, sest on väga raske ust nii kinni panna, et ta sulguks täiesti tihedasti. Pööningul pannakse laele üsna paks kuiva



Joon. 190. Jääkeldri läbilõige.

liiva kord, mis suleb kõik lõhed, mis võiksid jääda lae ehituse juures, ega anna soojale õhule võimalust pääseda pööningule.

Mulla ja õhu kasutamist soojuse isolatsioonina võime näha jääkeldrite ehitamisel (joon. 190). Jää, mis on pandud maasse tehtud auku ja suletud pealt jääkeldris oleva õhuga, säilib väga kaua.

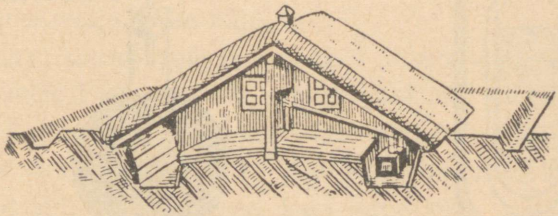
Väga tihti võib näha, kuidas puumaja seinad vooderdatakse laudadega, laudade ja palkide vahele aga pannakse kuiv saepuru või sammal. Selline vooderdamine kaitseb hästi seinu

jahtumise eest. Mõnikord krohvitakse puumaju väljast- ja seestpoolt või ainult seestpoolt.

Mulla kasutamist soojuse isolatsioonina võib näha muldonnides, mida kasutatakse sõja ajal sõjaväe paigutamiseks talvel.

Muldonnid ehitatakse 10—25 inimesele. Joon. 191 on näha, et muldonni seinteks on muld. Maasse kaevatud 4—6 m laiusele ja 15—18 m pikkusele kraavile on asetatud katus. Katus tehakse palkidest, hagudest, õlgedest või laastudest ja kaetakse pealt paksu mullakorraga.

Otsaseinad tehakse palkidest ja kaetakse seejärel mullaga.



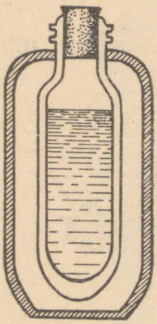
Joon. 191. Muldonn.

Kahekordsete raamidega aknad ehitatakse otsaseintesse ja kui pole klaase, kleebitakse kahelt poolt kinni õlitatud paberiga.

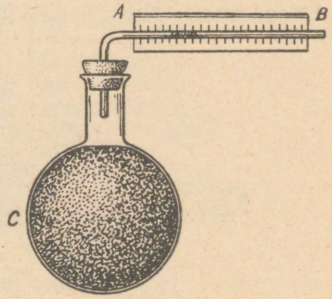
Muldonni minekuks kaevatakse ühe otsaseina juurde astmed ja tehakse eeskoda kahe uksega — seesmise ja välimisega. Onni sisemusse ehitatakse telliskivi- või raudahjud või tehakse küttekolle otse mullasse. Suits juhitakse onnist välja toru kaudu. Muldonni ventilatsioon toimub küttekolde kaudu.

120. Termospudel. Termospudeliks nimetatakse eriliiki anumat, millesse valatud vedelik säilitab väga kaua oma temperatuuri. Kui valada termospudelisse palavat teed, siis jääb tee palavaks mitmeks tunniks; samuti jääb külmaks termospudelisse valatud külm vesi või muu vedelik. Nagu nähtub

joonisest 192, koosneb termospudel kahekordsete seintega klaaspudelist. Klaasi sisemine pind on hõbetatud ja pudeli seintevahelisest ruumist on õhk välja pumbatud, pärast seda on klaas kinni joodetud. Seintevaheline õhutühi ruum peaaegu täiesti ei juhi soojust. Et kaitsta klaasi vigastuste eest, on pudel paigutatud kartong- või metallkestasse. Pudel korgitakse hariliku korgiga ja kruvitakse pealt kinni metallkuplikesega, mida võib kasutada jooginõuna.



Joon. 192. Termospudel.



Joon. 193. Termoskoop.

121. Kiirgamine. Asetame korgi abil väikesesse tahmaga kaetud kolbi *C* (joon. 193) otsast kõverdatud toru *AB*. Juhime sellesse torusse värvitud vedeliku sambakese. Tehes toru juurde skaala, saame riista — termoskoobi, mille abil sooritame mõningad katsed.

Lähendame oma termoskoobile kuni 1 m kauguseni tugevasti kuumutatud 2—3-kilogrammise vihi. Näeme, et termoskoobi vedeliku sammas asetub torus *AB* paremale. Nähtavasti soojenes kolvis õhk ning paisus.

Mil kombel kandus vihi soojus edasi termoskoobile? Konvektsiooni teel ei võinud see toimuda, sest soojendatud õhk tõuseb üles. Kuna õhk on väga halb soojusejuht, siis järelikult ei mängi siin mingit osa ka soojusejuhtivus.

Asetanud termoskoobi ja vihi vahele kartongi- või plekitüki, märkame, et vedelikusambake läheb tagasi oma endisse asendisse. Termoskoop ei saa nüüd enam vihilt soojust. Teame, et Maa saab Päikeselt tohutul hulgal soojust. Samal ajal on täpselt kindlaks tehtud, et atmosfääri ülemistes kihtides on õhk tugevasti hõrendatud ja et veel palju maad edasi on Maa ja Päikese vahel õhutühi ruum.

Järelikult, Päikese soojus ei saa kanduda edasi ei konvektsiooni ega soojusejuhtivuse teel.

Uurimused näitavad, et kui mistahes keha kaotab soojust, ilma et ta oleks kokkupuutes muude kehadega, siis saadab ta selle soojuse välja kiirte näol.

Kui keegi seisab meie ja heledasti põleva lõkke vahel, siis et tunne meie lõkke soojust, sest soojuskiired ei tule meieni.

Katsed näitavad, et hõõguvatest kehadest tulevad kiired koosnevad osalt nähtavaist ja osalt nähtamatuist kiirtest.

Kõetud ahi, üldse iga soe, kuid tume keha, saadab ainult nähtamatuid kiiri.

Anum palava veega jahtub, saates välja kiiri, kuid sama anum, kui ta on pandud hõõguvate süte lähedale, soojeneb.

Tähendab, iga keha samaaegselt saadab ja neelab kiiri. Kui keha saadab rohkem kiiri kui neelab, siis jahtub ta. Kui keha neelab rohkem kiiri kui saadab, siis soojeneb.

Kui asetame kiirte teele kartongi, siis ei lase kartong kiiri läbi (ta on neile läbitungimatu) ja soojeneb ise. Seda nägime ka oma katsel termoskoobiga.

Õhk laseb kiired läbi, kuid ei soojene neist ise.

Kui asetada soojuskiirte teele peegel, siis võib tähele panna, et peegel peegeldab kiiri ja soojeneb seejuures veidi ka ise.

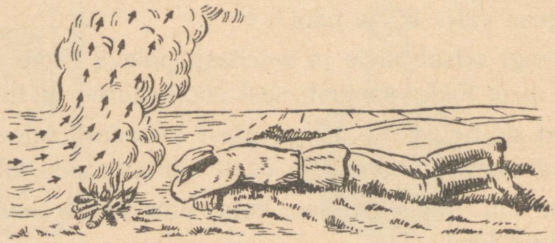
Mida rohkem keha neelab kiiri, seda tugevamini ta soojeneb.

Heledad läikivate pindadega kehad peegeldavad kiiri ja soojenevad seetõttu märgatavalt vähem kui tumedate mattpindadega kehad, mis neelavad kiiri.

Igaühel on teada, et suvel on heledas ülikonnas märgatavalt jahedam kui mustas ülikonnas.

Ülesandeid II peatüki juurde.

1. Mispärast soojeneb peegel vähe, kui ta peale langevad Päikese kiired?
2. Mispärast on termospudeli klaasosa sisemine pind hõbetatud?
3. Mispärast kantakse suvel heledaid riideid?
4. Missugune teekann jahtub kiiremini — läikiv või tahmunud?



Joon. 194.

5. Mispärast sulab määrdunud lumi linnades kiiremini kui puhas lumi põldudel?
6. Missugune pinnas soojeneb päikesest paremini — kas mustmullane või liivane pinnas? Mispärast?
7. Mispärast värvitakse isotermilised vagunid valgeks?
8. Öösel Maa jahtub, levitades ümbritsevasse ruumi kiiri. Millal jahtub Maa kiiremini, kas selge või pilvise ilmaga?
9. Mispärast asetatakse vesikütte radiaatorid toas alla, mitte aga üles?
10. Mispärast pannakse petrooleumilampidele klaasid peale?
11. Mispärast ehitatakse ahjud neil juhtudel kõrgete korstnatega, kui ahjus on tarvis saada suurt kuumust?
12. Toatemperatuuriga vee peale pandi metallanum jääga. Kas jahtub vesi?
13. Mil viisil kutsutakse esile vee liikumine vesikütte torudes?

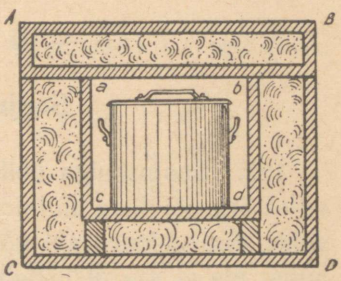
14. Joonisel 194 on kujutatud üks kaitseviise lämmatavate gaaside vastu — lõkketule taga. Mispärast lõkketuli võib teatud määral kaitsta lämmatavate gaaside vastu?

15. Mispärast tehakse kuuma vee paakide kraanide käepidemed puust?

16. Vesivarustuse torud mähitakse külmades kohtades vildiga ja kaetakse laudadega. Mispärast tehakse seda?

17. Mispärast sulab lumi paksu õlekihi all aeglaselt?

18. Sageli tehakse pikemaks ajaks palava toidu säilitamiseks „termosed", mis koosnevad kahekordsete seintega kastidest, mille seinte vahel on kägardatud paber või laastud. Mispärast säilib sellises „termoses" toit palavana kauemat aega (joon. 195)?



Joon. 195.

19. Muldonnides tehakse külma vastu kahekordsed aknad, mis klaaside asemel on kaetud paberiga. Mispärast võivad sellised aknad kaitsta külma vastu?

20. Mispärast ei külmu vesi paksu jääkihi all?

21. Kas soojeneb vesi, kui asetada vee peale vaskne kausike ühes põleva piiritusega?

22. Õhk juhib soojust halvasti. Mispärast aga jahtuvad õhus palavad esemed?

23. Mispärast tehakse kevadel külmadel ja selgetel öödel aedades lõkketulesid, mis annavad palju suitsu?

24. Mispärast kaetakse stratostaadi kest hõbedase värviga?

III peatükk.

Soojuse mõõtmine.

122. Soojushulga ühikud. Et kütta ahi soojaks, on vaja selles ära põletada küllaldane hulk puid. Kui ahju panna puid vähe, siis soojeneb ahi nõrgalt ja toas on külm. Kuid soojuse hulga üle ei saa otsustada ainult temperatuuri järgi. Tõepoolest, kui tuua tuppa tuline triikraud, mida ei või puudutadagi, ei köeta ometi sellega tuba soojaks. Samal ajal aga soe ahi või vesikütte radiaatorid soojendavad tuba hästi.

Soojendame kahe ühesuguse piirituslambi abil kahte anumat. Ühes anumas on 1 l vett, teises 2 l. Märkame, et teises anumas soojeneb vesi vähem, kuigi ühesugused piirituslambid annavad ühesuguseid soojushulki.

Erinevate veehulkade soojendamiseks ühe ja sama kraadini on nõutavad erinevad soojushulgad.

Et osata soojust arvestada, tuleb kokku leppida, missugust soojushulka võtta ühikuks.

Soojushulga ühikuks on võetud selline soojushulk, mis on vaja anda 1 g veele, et tõsta ta temperatuuri 1° C võrra. Seda ühikut nimetatakse kaloriks (cal).

Kalorit nimetatakse sageli grammkaloriks ehk väikeseks kaloriks (cal).

Tehnikas, kus on tegemist suurte soojushulkadega, kasutatakse suuremaid ühikuid — kilokaloreid.

Kilokalor ehk suur kalor (kcal) on soojushulk, mis on vaja anda 1 kg veele, et tõsta ta temperatuuri 1° C võrra.

Kuna 1 kg on 1 grammist tuhat korda suurem, siis 1 kcal võrdub 1000 cal.

Kujutledes selgesti, mis on kalor, pole raske arvutada soojushulka, mis on vajalik vee soojendamiseks.

Lahendame mõned näited.

1. Kuipalju on vaja kaloreid, et soojendada 5 g vett 25° C võrra?

1 g vee soojendamiseks 1° C võrra kulub 1 cal
5 „ „ „ 1° C „ „ 5 cal
5 „ „ „ 25° C „ „ 125 cal

2. Mitu kalorit on vaja, et soojendada 100 g vett 15° C kuni 50° C? Eelkõige määrame kindlaks, mitme kraadi võrra soojeneb vesi.

Vee temperatuur oli 15° C, seda on vaja soojendada kuni 50° C; Järelikult vee temperatuur tõuseb 50°—15° C = 35° C.

Et soojendada 100 g vett 1° C võrra, on vaja 100 cal.

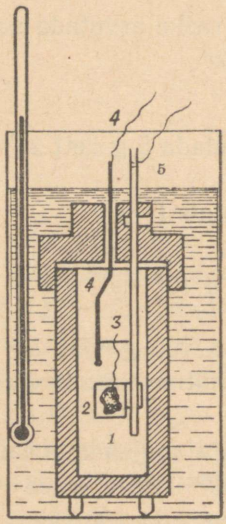
Et soojendada 100 g vett 35° C võrra, on vaja 100×35 = = 3500 cal.

Küsimusi.

1. Kui palju kaloreid on vaja 275 g vee soojendamiseks 20^0 kuni 40^0 C?
2. Kui suurt veehulka võib soojendada 15^0 kuni 35^0 C, andes sellele 8000 cal?
3. Missuguse temperatuurini soojeneb 300 g vett, mille temperatuur on 20^0 C, kui veele antakse 600 cal?
4. Milline temperatuur oli 25 kg veel, kui temperatuur, pärast seda kui ta oli saanud 300 cal, tõusis 30^0 C-ni?

123. Kütuse küttevääartus. Soojushulka, mis tekib 1 kg kütuse täielikul ärapõlemisel, nimetatakse selle kütuse k ü t t e v ä ä r t u s e k s.

Tehnilistes ja teaduslikes laboratooriumides toimub kütuse kütteväärtuse kindlaksmääramine eririista abil, mida nimetatakse kalorimeetriliseks pommiks (joon. 196).



Joon. 196. Kalorimeetri pomm.
1 — uuritav kütus; 2 — tiigel, kuhu pannakse kütteaine; 3 — niit kütteaine süütamiseks; 4 — elektrijuhtmed niidi süütamiseks; 5 — toru hapniku andmiseks pommisse.

Kalorimeetriline pomm koosneb teraskestast, mis on suletav pealekruvitava kaanega. Seestpoolt on see kest kaetud plaatinaga või eriemailiga, et ta kütuse põlemisel ei oksüdeeruks. Süüdatav aine 1 paigutatakse kausikesse 2, mis asetseb kesta sisemuses. See kest paigutatakse erinõusse veega — kalorimeetrisse — ja uurimise all olev kütus süüdatakse põlema elektrisädeme abil. Läbi sellise kesta kaane läheb toru 5, mille kaudu pomm täidetakse hapnikuga, mis on vajalik uurimise all oleva aine täielikuks ärapõlemiseks. Uuritava aine põlemisel eraldunud soojus soojendab pommi, viimane aga annab soojuse kalorimeetri veele. Eraldunud soojushulga järgi otsustatakse kütteaine kütteväärtuse üle.

Oletame, et kalorimeetrilises pommis 2 g söe põletamisel eraldunud soojus soojendas 2 l vett 22° kuni 29,5° C. Missugune on söe kütteväärtus? Üldse eraldus söepõlemisel soojust $2 \cdot (29{,}5 - 22) = 15$ kcal.

Järelikult 1 g sütt eraldas $15 : 2 = 7{,}5$ kcal, aga 1 kg sütt annab $7{,}5 \cdot 1000 = 7500$ kcal.

Mitmesuguste kütuste kütteväärtuse uurimise tulemused on ära toodud järgmises tabelis.

Mitmesuguste kütuste küttevääртus kilokalorites 1 kg kütuste kohta.

Kasepuud, kuivad	3150
Männipuud	3200
Turvas	3400
Süsi, Moskva-lähedane	3400
Süsi, pruun	4700
Kivisüsi	7000—7650
Piiritus	7200
Puusüsi	8000
Antratsiit	8000
Nafta	10 500
Petrooleum	11 000
Bensiin	11 200
Vesinik	34 000

Selles tabelis on näidatud, mitu kilokalorit annab täieliku põlemise juures 1 kg antud liiki kütust.

124. Laboratoorne töö nr. 2. Töö eesmärk — **arvutada soojushulk, mille saab vesi soojenedes piirituslambil 1 g piirituse ärapõlemisel.**

Valanud mingisse metallnõusse teatud hulga teada oleva temperatuuriga vett, soojendame vett piirituslambil. Teades vee temperatuuri enne katse algust, pärast katset ja soojendatavat vee hulka, on kerge arvutada, mitu kalorit sai vesi.

Kaalunud piirituslambi ühes piiritusega enne katse algust ja pärast katset, määrame kindlaks ärapõlenud piirituse hulga.

Teades ärapõlenud piirituse hulga ja kalorite arvu, mille sai vesi, võib arvutada, mitu kalorit annab piirituslamp 1 g piirtuse põlemisel.

125. Soojusekasutus. Kui võrrelda laboratoorse töö tulemust tabeli andmetega, siis näeme, et saadud kalorite arv, mille annab 1 g piiritust põledes piirituslambis, osutub tabeli arvust 7200 tunduvalt väiksemaks. Mitte kõik soojus, mis eraldus piirituse põlemisel, ei läinud vee soojendamiseks: osa soojust kulus toa õhu soojendamiseks, osa anuma soojendamiseks, milles oli vesi, osa kolmjala ja piirituslambi enda soojenda-

miseks. Kõiki neid kulutusi laboratoorse töö juures ei arvestatud.

Kasulikult ärakulutatud soojushulga suhet kogu ärakulutatud soojushulgaga nimetatakse soojusekasutuseks. Soojusekasutus avaldatakse harilikult protsentides.

126. Soojusmahtuvus. Soojendades kahel ühesugusel piirituslambil kahte anumat, milledest ühte on valatud 1 kg vett, teise aga on pandud 0,5 kg vett ja tükk seatina kaaluga 0,5 kg, märkame, et teises anumas soojenevad vesi ja seatina kiiremini kui esimeses. Siit järgneb, et seatina soojendamiseks teatud kraadide arvuni on vaja vähem soojust kui sama veehulga soojendamiseks sama kraadide arvuni.

Asetame kolme laia katseklaasi: esimesse 100 g seatinahaavleid, teise 100 g raualaaste või rauapuru, kolmandasse aga 100 g alumiiniumitükikesi. Soojendame kõiki kolme katseklaasi keevas vees kuni 100° C. Kuni katseklaasid soojenevad, võtame kolm väikest klaasi ja valame igaühesse 100 cm^3 toatemperatuurilist (15° C) vett. Kui katseklaasid ja nende sisu on nõutavalt soojenenud, puistame ühte klaasi kuumutatud haavlid, teise rauapuru, kolmandasse alumiiniumitükikesed. Seganud vett ja mõõtnud temperatuuri, märkame, et vesi soojenes klaasides ebaühtlaselt.

Seatinahaavlid soojendasid vee peaaegu kuni 17,5° C, s. o. 2,5° C võrra. Rauapuru soojendas vee peaaegu kuni 23,5° C, tähendab 8,5° C võrra. Alumiiniumitükikesed soojendasid vee peaaegu kuni 30° C, järelikult 15° C võrra.

Sellest katsest peame järeldama:

Ühesuguse temperatuurini soojendatud mitmesuguste metallide võrdsed hulgad annavad veele jahtudes ebavõrdseid soojushulki.

Arvutanud, kui palju annab soojust ära igaüks neist metallidest jahtudes 1° C võrra, leiame, et seatina annab veele peaaegu 3 cal, raud umbes 11 cal ja alumiinium 21 cal.

Võrreldes saadud tulemusi, tuleme järeldusele, et jahtudes ühe ja sama kraadide arvuni, annab alumiinium ära umbes seitse korda rohkem soojust kui sama suur hulk seatina.

Katsed tõendavad, et ka mitmesuguste ainete võrdsete hulkade soojendamiseks ühe ja sama kraadide arvuni on vajalik erinev soojushulk: alumiinium nõuab peaaegu 7 korda enam soojust kui sama suur hulk seatina.

Soojushulka, mis on vajalik mistahes keha soojendamiseks 1° C võrra, nimetatakse antud keha soojusmahtuvuseks.

Katsete alusel võime järeldada, et soojusmahtuvus 100 g seatinal on 3 cal, 100 g raual — 11 cal ja 100 g alumiiniumil — 21 cal.

On täiesti arusaadav, et soojusmahtuvus sõltub mitte ükskes keha aine omadustest, vaid ka selle hulgast. Et soojendada suurt raudkatelt, on vaja rohkem soojust kui väiksemamõõtelise katla jaoks.

Et oleks võimalik võrrelda erinevate ainete soojusmahtuvust, arvutatakse soojushulk, mis on vajalik 1 g aine soojendamiseks 1° C võrra ja nimetatakse seda suurust **aine erisoojuseks.**

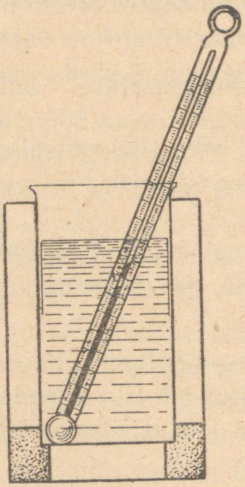
Erisoojuste tabel.

Alumiinium	0,21	Raud	0,11	Piiritus	0,58
Seatina	0,031	Malm	0,11	Õli	0,4
Vask	0,094	Teras	0,11	Vesi	1,0
Tsink	0,094	Klaas	0,15	Petrooleum	0,51
Valgevask	0,092	Puu	0,57		

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse aine soojusmahtuvuseks?
2. Mida nimetatakse aine erisoojuseks?
3. Missugune erisoojus saadi seatinal, raual ja alumiiniumil § 126 kirjeldatud katse tulemuste põhjal?

127. Tahkete kehade soojusmahtuvuse määramine. Tahkete kehade soojusmahtuvus määratakse järgmisel viisil. Valanud keeduklaasi või erianumasse — kalorimeetrisse [1] teatud hulga vett, mille temperatuur on lähedane toatemperatuurile, lastakse sellesse vette uuritav keha, mis on soojendatud teatud temperatuurini (üle vee temperatuuri). Vesi kalorimeetris soojeneb, vette lastud keha aga jahtub seni, kuni nii vesi kui keha on ühteviisi soojad.



Joon. 197. Kalorimeeter.

Teades vee ja uuritava aine kaalu, nende algtemperatuuri ja ühist temperatuuri pärast katset, võib arvutada erisoojuse.

N ä i d e. 200-grammine metallitükk, soojendatud kuni 100° C, lasti 400 grammi vette, mille temperatuur oli 12° C. Selle tagajärjel tõusis vee temperatuur kalorimeetris kuni 20° C. Leida antud aine erisoojus.

L a h e n d u s. 400 g vett soojenes 8° C võrra, milleks kulus $400(20 - 12) = 3200$ cal. Järelikult niisama palju kaloreid andis ära metall, mis jahtus 80° C võrra. Metallitükk kaotas jahtudes iga kraadi kohta $\frac{3200}{80}$ cal ja metalli iga gramm kaotas jahtudes 1° C võrra $\frac{3200}{80 \cdot 200} = 0{,}2$ cal. Antud metalli erisoojus on 0,2.

---

[1] Kalorimeeter koosneb kahest anumast, mis on valmistatud õhukesest valgevaskplekist (joon. 197). Seesmine anum on nii asetatud, et tema ja välimise anuma vahele jääks õhukiht; välimise nõu põhja on asetatud alusena korgi- või puutükid.

Harjutus.

1000-grammine metallitükk, mille temperatuur oli 100° C, lasti 200 cm^3 vette temperatuuriga 10° C. Vee temperatuur tõusis kuni 21° C. Kui suur on antud aine erisoojus?

128. Laboratoorne töö nr. 3. Töö eesmärk — **määrata aine erisoojus.** Kasutades katse kirjeldust ja soojusmahtuvuse määramise viisi, mis on toodud eelmises paragrahvis, koostage plaan, kuidas teie laboratooriumi tingimustes võite määrata soojusmahtuvust raual, vasel, portselanil ja muudel ainetel.

Kui soojusmahtuvuse määramiseks tuleb võtta suuri esemeid, siis tuleb ese lasta keevasse vette ja hoida selles vähemalt 10—15 min. Eseme asetamine soojendajast kalorimeetri vette peab toimuma väga kiiresti.

129. Kuidas arvutada soojushulka, mis on vajalik keha soojendamiseks?

Lahendame näited. 1. Kui palju on vaja soojust 400-grammise vasetüki soojendamiseks 20° C võrra?

Erisoojuste tabelist saame teada, et 1 g vase soojendamiseks 1° C võrra on nõutav 0,09 cal. Järelikult 400 g vase soojendamiseks 1° C võrra nõutakse soojust 400 korda rohkem: $0{,}09 \times 400 = 36$ cal.

400-grammise vase soojendamiseks 20° C võrra vajatakse soojust veel 20 korda rohkem, s. o. $36 \times 20 = 720$ cal.

2. Kui palju vajatakse kaloreid, et soojendada 2 kg rauda 18° kuni 345° C?

Tabelist leiame, et 1 kg raua soojendamiseks 1° C võrra vajatakse 0,11 kcal. 2 kg soojendamiseks 1° C võrra vajatakse $0{,}11 \times 2 = 0{,}22$ kcal.

Kuna meil on vaja soojendada rauda mitte ühe kraadi, vaid $345 - 18 = 327$° C võrra, siis vajatakse üldse $0{,}22 \times 327 = 71{,}94$ kcal.

Kõigis toodud näiteis, et arvutada soojuse hulka, mis kulub mingi keha soojendamiseks, korrutasime erisoojuse antud aine hulga ja kraadide arvuga, mille võrra keha soojenes.

Ülesandeid III peatüki juurde.

1. Kui palju vajatakse kaloreid, et soojendada 250 g vett 20° C võrra?
2. Kui palju vajatakse soojust, et soojendada 2 kg vett 5° C võrra?
3. Kui palju on vaja kaloreid, et soojendada 5 g vett 10° C võrra?

4. Kui palju on vaja soojust, et tõsta 400 g vee temperatuuri 20^0-lt 30^0 C-ni?

5. Klaas vett (250 g) jahtub 90^0 kuni 40^0 C. Kui palju eraldus soojust?

6. Kui suure veehulga võib soojendada 10^0 C võrra, andes sellele 1 kcal?

7. 200 g vett, mille temperatuur oli 15^0 C, soojendati kuni 20^0 C. Mitu kalorit sai vesi?

8. 300 g vett, mille temperatuur oli 40^0 C, jahutati kuni 20^0 C. Mitu kalorit kaotas vesi?

9. Kuni 20^0 C soojendatud 500-grammine veehulk sai 5 kcal. Missuguseks muutus vee temperatuur?

10. Kui palju on vaja soojust, et soojendada m grammi vett 8^0 kuni 18^0 C?

11. Kui palju on vaja soojust, et soojendada m g vett t^0_1 kuni t^0_2?

12. Mitu kalorit tuleb anda 1 l veele, et tõsta ta temperatuuri 10^0 C võrra?

13. Kui palju kaloreid vajatakse selleks, et 15 cm^3 vett soojendada 1^0 C võrra?

14. Mitu suurt kalorit on vaja selleks, et soojendada 1 t vett 10^0 C võrra?

15. 2500 g vett soojendati 15^0 kuni 34^0 C. Kui palju oli selleks vaja soojust?

16. Kui palju on vaja soojust, et 300 m^3 ruumalaga veemahutit soojendada 10^0 C võrra?

17. Hästi õhutatud laboratooriumi soojendamiseks on vaja tunnis ligi 1000 kcal. Kui palju vett tuleb anda igas tunnis keskkütte radiaatoreisse, kui vee soojus on tulles radiaatoreisse 80^0 C ja väljudes neist 72^0 C?

18. 150 cm^3 veele, mille temperatuur oli 35^0 C, lisati juurde 50 cm^3 vett temperatuuriga 19^0 C. Missugune sai segu temperatuur?

19. Kui palju tuleb lisada juurde 20^0-list vett 3 liitrile veele, mille temperatuur on 60^0 C, et segu temperatuur oleks 40^0 C?

20. Missuguse temperatuuri saab vesi, kui segada 20 g vett temperatuuril 15^0 C, 30 g vett temperatuuril 25^0 C ja 10 g vett temperatuuril 60^0 C?

21. Kuipalju soojust annab täielikul põlemisel 10 kg puusütt?

22. Kuipalju tuleb põletada naftat, et saada 31 500 kcal?

23. Kuipalju soojust eraldub 10 kg kuivade kasepuude põlemisel?

24. Kuulipilduja padruni püssirohu laeng kaalub 3,2 g. Püssirohu põlemissoojus on 900 cal. Kuipalju soojust eraldub iga lasu ajal?

25. Missuguse temperatuurini võiks soojendada 2 kg vett 10 g piirituse põletamisel, kui kogu piirituse põlemise soojus oleks läinud vee soojendamiseks? Vee algtemperatuur on 20° C.

26. Leida priimuse soojusekasutus, kui 4 l vee soojendamisel 20° kuni 75° C põles 50 g petrooleumi.

27. Petrooleumi soojusekasutus on 30%. Kui palju on vaja põletada petrooleumi, et soojendada 3 l vett 15° C kuni keemiseni?

28. Turbalademete hulga poolest on Nõukogude Liit esimene riik maailmas. NSV Liidu arvele tuleb 25% maailma turba tagavaradest. Turba iga-aastane juurdekasv NSV Liidu Euroopa-osas on umbes 27 miljonit t. Missugusele söehulgale vastab see turbahulk, kui söe kalorite sisaldus on 7000 kcal.

29. Teada olevail andmeil evib Kuzbass 400 miljardi tonnilist söetagavara. Arvutada kui palju soojust (tonnkalorit) moodustab see söehulk?

30. Laev võttis sõiduks peale 60 t naftat. Millise söehulgaga oleks võidud asendada see naftahulk?

31. Kui palju soojust on vaja, et soojendada 1 kg rauda 45° C võrra?

32. Kui palju on vaja soojust, et soojendada 15 kg vaske 20° temperatuurilt kuni 100° C?

33. Kaks ühesugust vaskkuulikest, mis olid soojendatud ühe ja sama temperatuurini, visati: üks veeklaasi, teine klaasi, kuhu on valatud sama palju petrooleumi. Kumb soojeneb kõrgema temperatuurini — vesi või petrooleum?

34. 300-grammine vaskkastrul mahutab 1 l vett. Kui palju on vaja soojust, et selles kastrulis soojendada vett 15° kuni 100° C?

35. Mispärast on mere-äärsetes maades temperatuuri kõikumised vähem järsud kui kontinentaalsetes maades?

36. Kui palju vajatakse soojust, et soojendada 1 m^3 liiva (erikaal 1,5) 10° kuni 70° C (liiva erisoojus on 0,2)?

37. Kui palju on vaja soojust, et soojendada 5 kg vaske 10° kuni 200° C?

38. Kui palju on vaja kaloreid, et soojendada toaõhku 0° kuni 22° C? Toa ruumala on 60 m^3, õhu erisoojus on 0,24.

39. Arvutada, mitme kraadi võrra soojeneb 500 g-ne kogus vett, kui lasta sellesse vette 500 g-ne vasetükk, mis jahtub vees 80° kuni 20° C.

40. 2 kg raskusesse malmanumasse valati 10^0 temperatuuri juures 5 l vett temperatuuriga 90^0. Missuguseks muutub vee temperatuur?

41. Kui palju on vaja soojust, et 2,5 kg kaaluga vaskkatlas soojendada 8 kg vett 10^0 kuni keemiseni?

42. Kui palju on vaja sütt, et soojendada 10 t malmi 20^0 kuni 1100^0-ni? Sulatusahju soojusekasutus on 60%.

43. Aurukatla koldes on vaja iga põletatava söe kilogrammi kohta 30 kg õhku. Õhk läheb koldesse 20^0 C temperatuuri juures ja sealt lõõridesse 400^0 C temperatuuri juures. Määrata, kui suur osa kütteaine energiast kandub ühes õhuga korstnasse. (Õhu erisoojusena võetakse 0,24.)

IV peatükk.

Aine oleku muutumine.

130. Aine üleminek ühest olekust teise. Paljud ained, mida me näeme harilikult tahketena, vedelikena või gaasitaolistena, lähevad temperatuuri muutuse tagajärjel ühest olekust teise. Vesi muutub jahtudes alla 0° kõvaks jääks. Jää, mis on külma käest tuppa toodud, sulab, muutudes veeks. Joodi kristallid tekitavad soojenedes violetseid aurusid, mis sadestudes neid sulgeva katseklaasi seintele, muutuvad uuesti tahketeks joodi kristallideks [1]. Soojendades vett, võime vee muuta auruks, aga jahutades auru, saame taas vee.

131. Sulamine ja tahkumine. Aine üleminekut tahkest olekust vedelasse olekusse, mis on kutsutud esile aine soojenemise tõttu, nimetatakse sulamiseks. Selleks, et jää hakkaks sulama, on küllalt, kui teda tuua külma käest sooja tuppa. Naftaliini kristallid, mis harilikus temperatuuris on tahkes olekus, sulavad, kui kristallidega täidetud katseklaas asetada keevasse vette. Tükk inglis- või seatina võib sulatada raudlusikas, kuumutades seda piirituslambil või priimusel. Vase, raua ja malmi sulatamiseks on vajalik väga kõrge temperatuur, mida saadakse eriahjudes.

Järelikult erisugused ained sulavad eri temperatuuri juures.

[1] Kristalliliseks nimetatakse aine olek, kui ta osakesed asetsevad korrapäraselt.

Ouest tuppa toodud jää või lume temperatuur on 0° C-st madalam.

Toas soojeneb jää aegamisi, temperatuur tõuseb kuni 0° C-ni. Siis hakkab jää sulama, kuid termomeetri elavhõbedasammas ei tõuse üle 0°, kuni pole sulanud kogu jää. Lõpuks on sulanud kõik jää, elavhõbe hakkab tõusma, näidates, et jäärst tekkinud vesi soojeneb. Tähendab, jää sulab täiesti kindla temperatuuri juures.

Temperatuuri, mille juures toimub sulamine, nimetatakse sulamistemperatuuriks ehk sulamispunktiks.

On kindlaks tehtud, et kristallilised kehad sulavad igale kehale omase kindla temperatuuri juures.

Erinevate ainete sulamistemperatuurid on erinevad.

Selleks, et keha hakkaks sulama, on vaja tõsta ta temperatuuri kuni sulamistemperatuurini. Sulamise ajal keha temperatuur ei muutu.

Keha tahkub sama temperatuuri juures, mille juures ta sulab.

Tahkumise protsessi vältel keha temperatuur ei muutu.

Mõned ained nõuavad sulamiseks väga kõrget temperatuuri, näiteks volfram. Teisi aineid tuleb aga tublisti jahutada, enne kui nad muutuvad tahkeks kehaks.

Sulamispunktid (Celsiuse kraadides).

Heelium	—272	Vask	1083
Vesinik	—257	Malm	1100—1300
Lämmastik	—210	Raud, tehniline	1170—1440
Piiritus	—114	Teras	1300—1400
Elavhõbe	—39	Raud, puhas	1525
Jää	0	Portselan	1550
Inglistina	232	Räni	1625
Vismut	271	Plaatina	1767
Kadmium	321	Iriidium	2340
Seatina	327	Osmium	2500
Tsink	419	Volfram	3370
Alumiinium	658	Süsinik	3500
Kuld	1064		

132. Laboratoorne töö nr. 4. Töö eesmärk — **naftaliini sulamis- ja tahkumispunkti määramine.**

Riistad ja materjalid: lai katseklaas; termomeeter; naftaliin; keeduklaas ehk plekknõu; piirituslamp.

Katseklaas ühes tahke naftaliiniga, milles on termomeeter, asetatakse vette, mida soojendatakse piirituslambi väikesel leegil (joon. 198).

Kui naftaliin on soojenenud kuni 50° C, vaadake iga minuti järele naftaliini temperatuuri ja märkige see vihikusse. Soojendage naftaliini kuni 90° C. Seejärel võtke ta palavast veest välja ja laske tal õhu käes jahtuda, jätkates iga minuti järel naftaliini temperatuuri märkimist seni, kuni ta jahtub 60° C-ni.

Kandke vaatluse andmed ruudulisele paberile naftaliini temperatuuri muutuse graafikuna olenevalt soojendamise ajast.

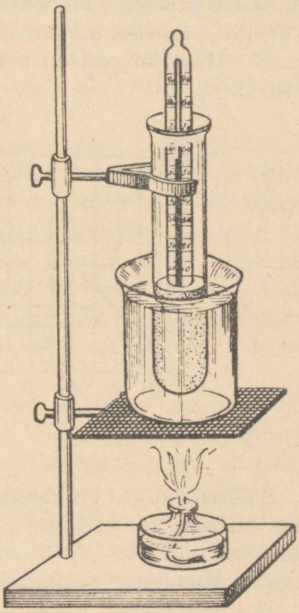
Saadud joonis näitab, mis on toimunud naftaliiniga.

See on järgmine: 1) kuumutamine kuni sulamispunktini — tahke naftaliini temperatuur tõuseb;

2) algas sulamine — temperatuur jääb muutuseta;

3) naftaliin on sulanud — vedela naftaliini temperatuur tõuseb;

4) naftaliin võeti piirituslambilt — temperatuur hakkab langema;



Joon. 198.

5) naftaliini tahkumine — temperatuur jääb muutumatuks;

6) naftaliin tahkus ja jahtub — temperatuur langeb.

Küsimusi.

1. Missuguse temperatuuri juures sulab naftaliin?
2. Missuguse temperatuuri juures tahkub naftaliin?
3. Missugune kuju on graafiku kõveral naftaliini sulamise ajal?
4. Missugune kuju on graafiku kõveral naftaliini tahkumise ajal?
5. Kas võib naftaliini soojendada ülespoole sulamispunkti?

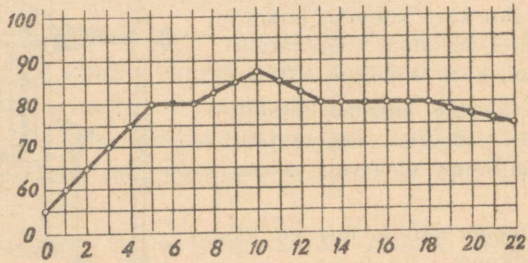
6. Mispärast tehakse termomeetrid välisõhu mõõtmiseks piiritusega, mitte aga elavhõbedaga?

7. Kas elavhõbe võib olla tahkes olekus? Missugusel tingimusel?

8. Kas inglistina hakkab sulama, kui ta visata sulatatud seatinasse?

9. Märkinud ära palavas vees soojendatava parafiini temperatuurid, saame graafiku, mis on kujutatud joonisel 199. Määrake selle graafiku järgi parafiini sulamistemperatuur.

10. Mida kõrgem on hõõguva keha temperatuur, seda heledamini ta särab.



Joon. 199.

Elektrilampide niidikesed tehakse volframist, tantalist ja iriidiumist. Millega on seletatav nende metallide kasutamine elektrilampide niidina?

11. Missuguse temperatuuri juures külmub vesi?

12. Missuguses olekus on piiritus —110 kuni —120° juures?

13. Missuguses olekus on teras 1500° temperatuuri juures?

133. Sulamid. Metalle tarvitatakse tööstuses suuremalt osalt mitte puhtal kujul, vaid nende sulamitena või isegi metallide ja mittemetallide sulamitena.

Sulamite põhiomadused on järgmised: kõrge temperatuuri juures ühtesulatatud metallid omandavad sellise elastsuse, sitkuse ja venitatavuse, millist ei olnud ühelgi sulatatavaist metallidest.

Duralumiiniumi sulam koosneb 94% puhtast alumiiniumist, 5% vasest, 0,5% magneesiumist ja 0,5% mangaanist. Sulamistemperatuur on 650°, erikaal on peaaegu kolm korda väiksem terase erikaalust. Katkemistakistus on peaaegu sama, mis paremat terase liikidel.

Samasuguseid omadusi evib koltšug-alumiinium, mida valmistatakse meil Nõukogude Liidus. Need sulamid lähevad nendeks toodeteks, kus on vaja ühendada kergust tugevusega — autode ja lennukite üksikosadeks.

Sulamite sulamistemperatuur on tihti madalam kui sulami koostisesse kuuluva kõige kergemini sulava metalli sulamispunkt. Nii näiteks kasutatakse metalltoodete osade kokkujootmiseks sulamit, mis koosneb kahest osast inglistinast ja ühest osast seatinast. See sulam sulab 169° C temperatuuril, samal ajal kui seatina sulamispunkt on 327° C, inglistinal aga 232° C. Selle sulamiga võib kokku joota kõiki metalle, mille sulamispunkt on üle 169° C.

Mõningate sulamite madala sulamistemperatuuri ärakasutamisel põhjeneb aurukatelde kaitsekorkide kergesti sulavate klappide ehitus. Klapid tehakse inglistina, seatina ja vismuti sulamist. Kaitsekorgid keeratakse aurukatelde gaasidest ümbritsetud seintesse. Korkide klapid soojenevad neist gaasidest, kuid aurukatlas olev vesi, millega klapid kokku puutuvad, jahutab nad kiiresti. Kui aga vee tase katlas muutub normaalsest madalamaks, siis paljastuvad klapid, kuumuvad üle ja sulavad. Seetõttu saab aur katlast vaba väljapääsu ja sellega hoitakse ära katla lõhkemise oht.

Kergesti sulavaid sulameid kasutatakse tuletõrje seadistes niinimetatud sprinkleri peakestes. Need peakesed sulavad tulekahju juhul teatud temperatuuri juures ja avavad seega torustiku, mis on ühendatud veega täidetud tuletõrjepaagiga või veevärgiga.

Kergesti sulavad sulamid leiavad kasutamist ka trükiasjanduses niinimetatud stereotüüpide — metall-lao valmistamisel, mis saadakse kergesti sulava sulami valamisega tähejäljenditega paberist vormi.

Küsimusi.

1. Mispärast kasutatakse tööstuses mitte üksnes ehedaid metalle, vaid ka nende sulameid?
2. Mis võib öelda sulamite sulamispunkti kohta?

134. Sulamissoojus. Kui soojendada plekknõu, milles on lumi, siis sulab lumi, kuid ta temperatuur jääb 0° nii kaua, kui leidub veel sulamata lund ja ainult pärast seda, kui on sulanud viimne lumekübe, hakkab tõusma tekkinud vee temperatuur. Kuid piirituslamp põles ju kogu aja, kui sulas lumi; kuna

aga temperatuur siiski ei tõusnud, siis tuleb sellest järeldada, et lume sulamise ajal piirituslambi poolt antud soojus kulus ainult selleks, et ära sulatada lumi, tema temperatuuri tõstmata.

Järelikult, et tahke keha hakkaks sulama, on vähe sellest, kui tõsta ta temperatuur sulamispunktini, vaid talle tuleb anda veel teatud hulk soojust, et keha sulaks tervenisti. See soojus läheb keha tahke oleku muutmisele vedelaks.

Kalorite hulka, mis on vajalik 1 g aine sulatamiseks sulamistemperatuuril, nimetatakse sulamissoojuseks.

Erinevail aineil on sulamissoojus erisugune.

Sulamissoojus.

Alumiinium	90	Malm, teras	25
Jää	80	Inglistina	15
Raud	49	Väävel	9,3
Vask	41	Seatina	5,0
Tsink	27	Elavhõbe	2,8
Plaatina	27	Piiritus	26
Hõbe	26		

Küsimusi.

1. Mis on sulamissoojus?
2. Milleks kulub sulamissoojus?
3. Mitu kalorit vajatakse 1 kg jää sulatamiseks?

Harjutusi.

1. Mitu kalorit on vaja, et sulatada 4 kg jääd, mille temperatuur on 0°?
2. Kui palju vajatakse kaloreid 20 g seatina sulatamiseks, kui selle temperatuur enne sulatamist oli 12° C?

135. **Laboratoorne töö nr. 5.** Töö eesmärk — **määrata jää sulamissoojus.**

Riistad ja materjalid: keeduklaas või plekknõu, mida võiks kasutada kalorimeetrina; klaas väikeste jäätükkidega (väikese pähkli suurused); kaalud; kaalumiseks vajalikud väikesed vihid; termomeeter; filterpaber või puhas kuiv lapp.

Kui visata sooja veeklaasi jäätükke temperatuuriga 0°, siis hakkab jää sulama. Sulamiseks vajaliku soojuse võtab jää veelt; seepärast jahtub vesi. Arvutanud, kui palju soojust kaotas vesi ja kui palju sulas jääd, võib kindlaks määrata, kui palju kaloreid kulus 1 g jää sulatamiseks. Selle töö sooritamisel tuleb arvestada, et mitte kõik soojus, mille vesi kaotas, ei kulunud jää sulamiseks. Osa soojust kulus selleks, et soojendada jäänd tekkinud vett kalorimeetris oleva vee temperatuurini.

Katse sooritatakse järgmiselt: valage klaasi palavat vett (umbes 60° C) ja kaalunud selle vee, visake sellesse jäätükke, segades vett[1] pidevalt termomeetriga.

Kui kõik katseks võetud jää on sulanud, määrake vee lõplik temperatuur ja kaaludes vett uuesti, leidke jäähulk, mis võeti katseks.

Andmed kirjutage tabelisse ja kasutades seda, teostage vajalikud arvutused.

Iga jäätükki, enne kui viskate neid vette, kuivatage lapiga.

Tabel.

Kalorimeetri kaal . . . . . .
Kalorimeetri kaal ühes palava veega . . . . .
Kalorimeetri kaal ühes vee ja sulava jääga . . . .
Vee temperatuur enne jää sulamist . . . . . .
Vee temperatuur pärast jää sulamist . . . . .

Arvutada:

Kui palju oli palavat vett?
Kui palju sulatati jääd?
Mitme kraadi võrra jahtus vesi?
Mitu kalorit kaotas vesi?
Kui palju kulus vee poolt kaotatud soojusest selleks, et soojendada jäänd tekkinud vett?
Mitu kalorit kulus kogu jää sulamiseks?
Mitu kalorit kulus 1 g jää sulamiseks?
Täpsete katsetega on leitud, et 1 g 0°-lise jää sulamiseks kulub 80 cal.

---

[1] Vee temperatuuril 60° C võib jääd võtta veest neli korda vähem. Arvutage, kui palju tuleb võtta vett ja jääd, et teil oleva anumaga teostada katse.

Küsimusi.

1. Kui suur on jää sulamissoojus?
2. Missugune vahe on teie poolt leitud arvu ja sulamissoojuste tabelis antud arvu vahel?

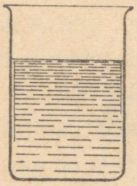
136. Soojuse eraldumine tahkumisel. Sulatatud naftaliini jahtumisel temperatuur langeb. Niipea kui temperatuur jõuab tahkumispunktini, lõpeb temperatuuri langemine, kuigi naftaliin kaheldamatult jätkab soojuse kaotust. Naftaliini temperatuur jääb muutumatuks, kuni on tahkunud kogu naftaliin. Niipea kui ta on tahkunud, hakkab naftaliini temperatuur uuesti langema. Mispärast aga ei langenud naftaliini temperatuur tahkumise ajal? Nähtavasti seepärast, et tahkumisel eraldub soojus ja see soojus asendab soojuse vähenemise naftaliini ümbritsevas ruumis.

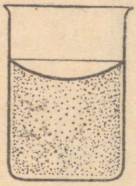
Hüposulfiti kristalle võib sulatada ja soojendada üle sulamispunkti. Jahutades ettevaatlikult sulatatud hüposulfitit, võib teda jahutada tunduvalt allapoole sulamispunkti ja ta jääb vedelaks. Tarvitseb vaid raputada ülejahutatud hüposulfitit või visata sellesse hüposulfiti kristallike, kui kogu vedelik kristalliseerub peaaegu silmapilkselt ja ta temperatuur tõuseb kuni sulamispunktini. Täpsed katsed näitavad, et aine eraldab tahkumisel selle soojushulga, mis kulus tema sulamiseks.

137. Ruumala muutumine sulamisel ja tahkumisel. Visanud sulatatud parafiinisse tükikese tahket parafiini, märkame, et ta vajub anuma põhja. Järelikult, tahke parafiin on raskem kui vedel parafiin. Sulatame oma anumas kogu parafiini ja märgime ära saadud vedeliku ülemise tasapinna (joon. 200). Pärast seda, kui parafiin on anumas hangunud, märkame, et ülal on tekkinud nõgu (joon. 201). Hangunud parafiin võtab järelikult enda alla väiksema ruumala kui sula parafiin.

Katsed näitavad, et enamik aineid tahkumisel vähenevad ruumalalt. Erandi sellest reeglist moodustavad ainult vähesed ained, näiteks jää ja malm.

Kui valada pudel vett täis ja asetada kinnikorgituna külma kätte, siis lõhub vesi külmudes pudeli. Vee muutumisel jääks toimub ruumala suurenemine nii suure jõuga, et kui katsetati vett külmutada küllaltki paksudes malmpommides, lõhkesid need pommid. Vesi, tungides kivide lõhedesse ja külmudes seal, suurendab järk-järgult neid lõhesid ja purustab kivid. Samuti purunevad veetorustiku torud, kui neis vesi juhuslikult külmub. Et seda ei juhtuks, võetakse tarvitusele abinõud: väljasolevad torud kaevatakse sügavasse maasse, torud aga, mis sisenevad ruumidesse külmades kohtades, ümbritsetakse soojust halvasti juhtivate ainetega.





Joon. 200 ja 201. Sulanud ja hangunud parafiin.

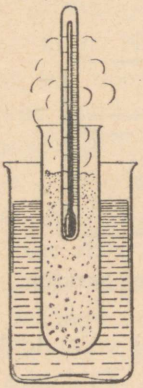
Malmi ruumala suurenemine tahkumisel võimaldab saada malmi valamise teel kunstipäraseid asju. Tahkudes täidab malm vormi peenimadki süvendid.

Vaatamata sellele, et malm tahkumisel paisub, tuleb malmtoodete jaoks teha vormid suuremad, kui seda on valatava detaili mõõted, sest et malm tahkub 1130° C temperatuuri juures, aga pärast jahtudes normaaltemperatuurini, tõmbub kokku. Seda nähtust nimetatakse k a h a n e m i s e k s.

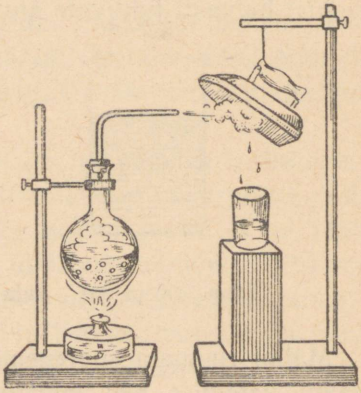
138. Keemine. Soojendades piirituslambi kohal keedukolbi veega, võib täheldada, et keedukolvi seintele ilmuvad väikesed mullikesed, mis tõusevad üles. See on õhk, mis oli vees. Kui vesi on küllaldaselt soojenenud, hakkavad keedukolvi põhjast tõusma suured gaasimullid. Need mullikesed kaovad

enne, kui jõuavad pinnale. Nad on täidetud vee auruga. Kui termomeeter näitab ligikaudu 100° C, siis ilmuvad mullikesed igal pool vees, tõusevad üles veepinnani ja lõhkevad, vabastades vee auru. Vesi keeb nüüd kolvis. Termomeeter näitab ligikaudu 100° C ega tõuse rohkem, kuigi piirituslamp soojendab keedukolbi.

Temperatuuri, mille juures vedelik normaal-õhurõhu juures keeb, nimetatakse keemistemperatuuriks ehk **keemispunktiks.** Erinevate vedelikkude keemispunktid ei ole võrdsed. Piiritus keeb 80° C juures, eeter 35° C juures (joon. 202).



Joon. 202. Eeter keeb palavasse vette asetatud katseklaasis.



Joon. 203. Auru kondenseerumine.

Füüsikud tõestasid, et kõik ained, mis harilikes tingimustes on gaasid, muutuvad küllaldase jahtumise juures vedelikeks, mis keevad väga madala temperatuuri juures. Vedel hapnik näiteks keeb atmosfäärirõhu juures —183° C juures. Vastupidi, selliseid aineid, mis harilikes tingimusis esinevad tahkes olekus, muutuvad sulades vedelikkudeks, mis keevad väga kõrge temperatuuri juures. Näiteks, sulatatud raua keemispunkt on 2450° C.

Mitmesuguste ainete keemistemperatuurid normaal-õhurõhu juures (Celsiuse kraadides).

Heelium	—268,8
Süsihapu gaas	—65
Vesinik	—252
Hapnik	—183
Vesi	100
Elavhõbe	357
Eeter	35
Piiritus	80
Raud	2450

Niipea kui võtame ära piirituslambilt keeva vee, lõpeb kohe keemine. Nähtavasti on keemise toetamiseks soojuse kulutamine vajalik. See soojus ei lähe vedeliku temperatuuri tõstmiseks, vaid ta muutmiseks auruks.

Kalorite hulka, mis on vajalik 1 g vedeliku muutmiseks auruks, võetuna keemistemperatuuris, nimetatakse keemissoojuseks.

139. Auru kondenseerumine. Kui suunata auru juga vastu külma eset (joon. 203), siis muutub aur veeks. Auru muutumist veeks nimetatakse auru kondenseerumiseks.

Asetades keeva vee kolvist auru ärajuhtiva toru katseklaasi, mis on paigutatud külma vee klaasi, märkame, et aur sattudes katseklaasi kondenseerub, kuid vesi klaasis soojeneb. Auru kondenseerumisel eraldub soojus.

Auru kondenseerumisel vabanevat soojust võib kasutada mitmesuguste kehade soojendamiseks, näiteks auruküttes (joon. 204), kus vee asemel lastakse torudesse aur.

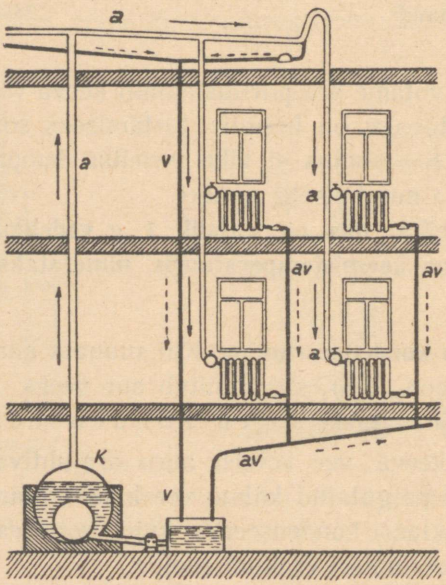
Küsimusi.

1. Mida nimetatakse auru kondenseerumiseks?
2. Kuidas on auruküttes ära kasutatud auru kondenseerumisel eraldunud soojus?

Mitmesuguste vedelikkude keemissoojused normaal-õhurõhu juures.

Vesi	539	Eeter	90
Ammoniaak, vedel	330	Elavhõbe	68
Piiritus (viina)	202	Hapnik, vedel	51
Vesinik, vedel	110	Õhk, vedel	45

Vaadeldes seda tabelit, näeme, et suurimat keemissoojust evib vesi.



Joon. 204. Aurukütte skeem.

Auru kondenseerumisel eraldub soojus, mis kulus vedeliku muundamisele auruks.

1 g veeauru kondenseerumisel veeks 100° C temperatuuri juures eraldub 539 cal.

Iga kilogramm veeauru viib enesega kaasa määratu suure

hulga soojust. Auru kondenseerumisel vabanevat soojust võib ära kasutada mitmesuguseks otstarbeks.

Valame neljakandilisse plekknõusse veidi vett ja ajame selle keema piirituslambil. Kui nõu kaelast tuleb tugeva joana auru, kustutame piirituslambi ja korgime plekknõu hästivalitud korgiga otsekohe kinni.

Saamata juurde soojust jahtub vesi plekknõus ja aur, ajanud nõust välja sealoleva õhu ja võtnud selle koha endale, hakkab muutuma veeks. Selle auru kondenseerumisel tekkinud vesi võtab väga vähe ruumi. Plekknõus tekib tugevasti hõrendatud ruum. Väline õhurõhk muudab plekknõu vormituks plekitükiks.

See katse näitab, et aur võtab enda alla määratu suure ruumala, võrreldes selle ruumalaga, mille võttis enda alla auruks muutunud vedelik, ja et suletud ruumis oleva auru tihenemisel tekib tähelepandav hõrenemine.

Küsimusi.

1. Kui suur on vee keemissoojus 100° C juures?
2. Mis annab ära rohkem soojust — kas 1 kg vett, jahtudes 100° C juurest kuni 0°-ni, või sama suur hulk auru kondenseerudes 100° C juures?

140. Laboratoorne töö nr. 6. Vee keemissoojuse määramine. Töö eesmärk — selgitada, kui palju on vaja kaloreid, et muuta 100° C juures 1 g vett auruks.

Valage keeduklaasi või plekknõusse teatud hulk vett. Kaaluge see vesi ära, määrake kindlaks ta temperatuur ja saadud andmed kirjutage tabelisse. Asetanud veega täidetud plekknõu alla põleva piirituslambi, kirjutage iga minuti järel üles vee temperatuur, segades enne vett tulelt ära võtmata. Kui vesi hakkab keema, siis laske tal keeda 5—10 minutit ja lõpetage seejärel kuumutamine. Arvestage, mitu kalorit sai vesi iga minuti jooksul piirituslambilt ja arvutage välja, kui palju kaloreid annab piirituslamp keskmiselt minutis. Teades seda arvu, oskate teie arvutada, kui palju kaloreid sai vesi keemise aja (5—10 min.) jooksul. Kaalunud vee, leiate, et osa vett

on aurunud. Teades, kui palju vett on aurunud ja kui palju kulus selleks kaloreid, saate teie teada, kui palju kaloreid kulus 1 g vee aurumiseks.

141. Aurumine. Vedelikud muutuvad auruks mitte üksnes soojendamise tõttu. Märja lapiga puhastatud klassitahvel kuivab väga kiiresti: vesi muutub auruks. Samuti kuivavad põrandad peale pesemist, märg pesu, mis riputatud välja kuivamiseks, juhuslikult põrandale valatud vesi, tint, millega äsja kirjutati paberile.

Auruks muutub mitte üksnes vesi, vaid ka muud vedelikud. Kui riideid puhastatakse bensiiniga, on toas igal pool tunda bensiini lõhna. See tuleb sellest, et bensiin aurus ja tema aurud segunesid toa õhuga. Samuti auruvad piiritus, petrooleum, eeter ja kõik muud vedelikud.

Auruvad mitte üksnes vedelikud, vaid ka tahked kehad.

Mõnede kehade aurumine on väga kergesti täheldatav, kuna nad on lõhnavad. Auruvad naftaliin ja kamper. Aurub ka jää, mistõttu pakase käes võib kuivatada pesu, mis teatud aja jooksul muutub jäätunud olekust kuivaks.

Igapäevased vaatlused näitavad, et erinevais tingimusis on ka erinev aurumine. Märg käterätik kuivab kiiremini palava pliidi kohal kui jahedas toas. Hommikul päikese tõusmisel soojeneb maa ja kaste aurub kiiresti. Veeklaas võib kaua seista toas ja pole märgata, kuidas vesi sellest aurub. Sama veehulk valatuna põrandale kuivab ära seda kiiremini, mida suurema pindala võtab enda alla mahavalatud vesi.

Pesu kuivab kiiremini tuule käes kui vaikse ilmaga. Vedeliku aurumine toimub iga temperatuuri juures, kuid seda kiiremini, mida kõrgem on temperatuur.

Mida suurem on auruva vedeliku pind, seda kiiremini ta aurub.

Aurumine suureneb õhu liikumisega auruva vedeliku pinna läheduses.

Mähime kahel termomeetril kuulikesed vatiga ja niisutame seejuures ühe termomeetri vatitüki toa temperatuuri soojuse veega. Näeme, et märja vatiga termomeeter näitab madalamat temperatuuri kui kuiv.

Mähime termomeetri kuulikese vatiga ja asetanud termomeetri eetrisse, mõõdame eetri temperatuuri. Ilmneb, et selle temperatuur erineb veidi toa temperatuurist. Võtame termomeetri eetrist välja ja lehvitades seda, laseme eetril auruda. Termomeetri temperatuur langeb järsult ja laskub alla 0°. Need nähtused tõendavad, et ka aurumiseks on soojus vajalik. Auruv vedelik, saamata juurde soojust, jahtub.

142. Keemispunkti olenevus rõhust. Pumbates õhku välja klaaskolvist, milles on palav vesi, võib panna vee keema, kusjuures keeva vee temperatuur on tunduvalt madalam 100° C. Õhu väljapumpamisel kolvist alaneb kolvis rõhk ja me näeme, et keemispunkt langeb. Võib panna keema külma vee, kui alandada küllaldaselt rõhku. Kui korkida kinni ümmarguse põhjaga kolb, kui selles keeb vesi, ja kustutada viivitamata piirituslamp, siis jätkub keemine, kuigi vesi jahtub.

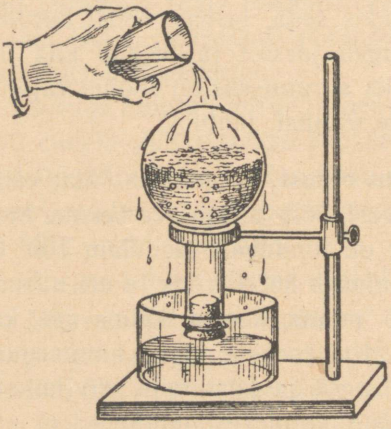
Niipea kui keemine kolvis lõpeb, võib seda uuesti esile kutsuda. Selleks on vaja kolb pöörata põhjaga ülespoole, valada kolb üle külma veega (joon. 205) või veel parem, panna kolvi põhjale tükk jääd.

Aurud, mis on kolvis, kondenseeruvad, jahtudes jää mõjul, rõhk kolvis väheneb ja vesi hakkab keema. Järelikult, kui vähendada rõhku vedelikule, siis langeb ta keemistemperatuur. Vastupidi, on kerge järeldada, et rõhu suurenemisel keemistemperatuur tõuseb.

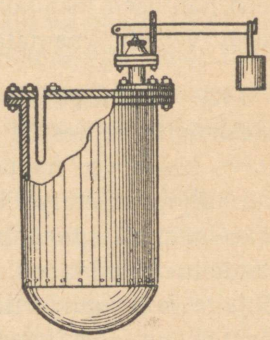
Vee keemistemperatuuri tunduvaks tõstmiseks kasutatakse tihedasti sulguvate kaantega katlaid. Kaanesse on tehtud klapp, mis on suletav metallkorgiga (joon. 206). Korgile rõhub metallkang, mille külge on riputatud viht ja mis ei lase korki kaane avast välja tulla. Kui auru rõhumine on väga

suur ja ületab jõu, millega rõhub korgile kang, siis avaneb kork ja osa auru tuleb välja. Muutes kangi õlga, võib reguleerida auru rõhku, mille juures avaneb klapp.

Rõhu kõrgendamisel tõuseb keemispunkt ja erinevate rõhkude juures on selles katlas auru temperatuur erinev. Kõrge rõhuga katlaid kasutatakse tehnikas mitmesugusteks eesmär-



Joon. 205. Vee keemine vähendatud rõhu all.



Joon. 206.

kideks. Eelkõige rakendatakse kõrge temperatuuri ja rõhuga auru aurumasinates ja auruturbiinides. Seepärast on nende masinate juures erilised katelseadmed. Arstid-kirurgid desinfitseerivad sellistes kateldes oma instrumente, kuna on selgunud, et mitte kõik mikroorganismid ei sure 100° C juures, vaid mõnede jaoks on vajalik kõrgem temperatuur. Haiglates desinfitseeritakse riideid, pesu, sidematerjale.

Tehastes kasutatakse selliseid katlaid rasvade ja õlide utmiseks, samuti ka želatiini ja mitmesuguste liimisortide saamiseks kontidest.

Katlasoleva auru temperatuuri olenevus rõhust on uurimise tulemusena antud järgnevas tabelis.

Rõhk atmosfäärides.	Auru temperatuur °C	Rõhk atmosfäärides.	Auru temperatuur °C
0,02	17,19	5	151,1
0,1	45,44	6	158,07
0,2	59,66	7	164,16
0,3	68,68	8	169,59
0,4	75,42	9	174,52
0,5	80,87	10	181,16
0,6	85,45	15	197,37
0,7	89,45	20	212,39
0,8	92,94	25	222,9
0,9	96,17	30	232,7
1	99,08	40	249,3
1,6	112,72	60	274,5
2	119,61	100	309,7
3	132,87	150	340,7
4	142,91	200	364,4
		224,2	374,0

Rõhud eelolevas tabelis on antud tehnilistes atmosfäärides.

Küsimusi.

1. Kuidas muutub keemispunkt olenevalt rõhust?
2. Väga kõrgete mägede tipus ei saa keevas vees muna keeta. Mispärast?
3. Kas saab milgi viisil soojendada vett üle 100° C?
4. Miks keeb vesi rõhu vähendamisel temperatuuri juures alla 100° C?
5. Mispärast kuiva küllastunud veeauru tabelis on näidatud, et 1 at rõhu juures on auru temperatuur 99,08° C?
6. Mida nimetatakse keemissoojuseks?
7. Kui palju soojust on vaja, et muuta auruks 1 kg vett, mille temperatuur on 0° 10 at rõhu juures? Missugune on selle auru temperatuur?
8. Mitme kraadi võrra on vaja soojendada auru 20 at rõhul, et suurendada rõhku 60 at-ni?

Ülesandeid IV peatüki juurde.

1. Sulav jää toodi ruumi, mille temperatuur on 0°. Kas jää sulab selles ruumis?

2. Millega tuleb seletada, et kevadel jäämineku ajal on jõe läheduses külmem kui jõest kaugemal?

3. Kui suur hulk soojust vabaneb 125 kg vee muutumisel jääks 0° juures?

4. 5 liitrisse vette, mille temperatuur oli 40° C, asetati 3 kg jääd 0° juures. Kui palju jääd sulas ära?

5. Kui palju männipuid on lumesulatis vaja ära põletada, et muuta veeks lumi, mis asub õues, mille pind on 500 m², kui lumekihi paksus on 40 cm, lume erikaal on 0,1? Lumesulati soojusekasutus on 40%.

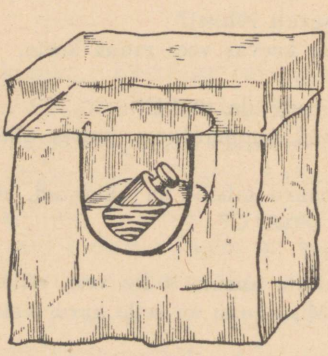
6. Mitu korda rohkem soojust läheb 1 g malmi sulatamiseks kui 1 g malmi soojendamiseks 1° C võrra?

7. Kui palju soojust on tarvis selleks, et sulatada 1 t rauda, mille temperatuur on 10° C?

8. Pliidile asetati kaks plekknõu. Ühesse valati 200 g vett, mille temperatuur oli 0°; teise pandi 200 g lund temperatuuriga 0°. Kas tõuseb ühteviisi temperatuur ühes ja teises nõus?

9. Mispärast plekknõu ei sula jootest lahti, kui temas keeb vesi, aga sulab lahti, kui nõu panna tühjalt tulele?

10. Valgevasest 1 kg-ne kaaluviht, mis on kuumutatud 100 kraadini, on pandud jää kalorimeetrisse (joon. 207) (jäätükisse on õõnestatud lohk ja kaetud teise jäätükiga). Mitu grammi jääd 0° juures sulab selles kalorimeetris, kui vihi temperatuur langeb kuni 0°?



Joon. 207.

11. Koduseks jääkapiks on kahekordsete seintega tsinkkast, mille seinte vahe on täidetud jääga. Mispärast sellises jääkapis isegi suvel ei tõuse temperatuur üle 0°?

12. Priimusel olevas teekannus keeb vesi. Missugune on vee temperatuur ja millist temperatuuri näitab keeva vee aurusse asetatud termomeeter?

13. Mispärast keev teekann lakkab kohe keemast, kui kõrvaldate ta tulelt. Missugune on sel ajal vee temperatuur?

14. Kui palju on vaja kaloreid, et aurustada 1 g vett keemistemperatuuri juures? et aurustada 1 g eetrit?

15. Mispärast on käel külm, kui seda niisutada eetriga?

16. Mispärast jahtub teevesi kiiremini, kui selle peale puhuda?

17. Kui palju on vaja soojust 150 g vee aurumiseks, kui vee temperatuur on 100° C?

18. Kui palju on vaja soojust, et soojendada 5 kg vett 0°-st keemiseni ja siis auruks muuta?

19. Kui palju soojust eraldab 1 kg auru, mille temperatuur on 100° C, kui see aur muuta veeks ja saadud vesi jahutada 0°-ni?

20. Kui palju auru temperatuuriga 100° C on vaja muuta veeks, et soojendada raudradiaatorit, mille kaal on 10 kg, 10°-st kuni 90° C?

21. Vee keemissoojuse määramisel toimiti järgmiselt. Võeti teatud hulk 0° vett ja soojendati see kuni keemiseni. Edasi soojendati vett nii kaua, kuni kogu vesi muutus auruks. Seejuures pandi tähele, et kogu vee auruks muutmiseks oli vaja 5,33 korda rohkem aega, kui selleks, et soojendada vett 0° kuni 100° C. Millega võrduks nende katsete põhjal keemissoojus?

22. Katseklaas on paigutatud ühes selles oleva eetriga veeklaasi, mille vesi on 0°. Puhudes läbi eetri õhku, aurustatakse eeter, mille tagajärjel tekib katseklaasis jääkork. Teha kindlaks, kui palju tekkis jääd 125 g eetri aurumisel (eetri keemissoojus on 90 cal).

23. Kui palju võib sulatada jääd, kui lasta läbi spiraaltoru, mis on ümbritsetud jääga, 2 kg auru, kusjuures spiraaltorust väljatulev vesi on 0° C?

V peatükk.

Molekulaar-kineetilise teooria põhialused.

143. Molekulid. Tahkete kehade tundmaõppimisel nägime, et iga keha võib jaotada väikesteks osadeks. Suurt suhkrutükki võib saagida üksikuteks tükkideks; iga suhkrutükk lõhutakse tangidega veel väiksemateks tükkideks. Uhmris võib jahvatamise teel suhkrutükikesi muuta suhkrupuudriks — tolmsuhkruks, kusjuures iga tolmukübeke on väga väike aineosake, mis säilitab kõik suhkru omadused. Tolmsuhkrut võib lahustada vees, kusjuures igas veetilgas leiduvad mõned suhkruosakesed. Iga tahket keha võib peenendada väikesteks osadeks ühel või teisel viisil. Viilides viiliga rauatükki, saame väikesed rauaviilmed. Mida peenem on viili hammastik, seda peenemad on saadavad viilmed. Iga viilmekübemeke on väike rauatükike. Terasetükist võib valtsida terasplaadikesi ja isegi väga õhukesi lehekesi, mille paksus on 0,003 mm. Sellist lehte võib hoida käes ja tal on täheldatav tugevus. Kullatükikese võib valtsida leheks, mille paksuseks on 0,0001 mm. Seesugune kullaleht on rohekalt läbipaistev. Seda lehte ei saa enam kätte võtta, ilma et ta ei puruneks.

Vedelatest kehadest võib saada veelgi õhemaid kihte. Rasvatilk võib veepinnal levida kihina, mille paksus on 0,000001 mm. Need nähtused osutavad, et ainet võib jaotada üksikuteks väga väikesteks osakesteks.

Aine mitmesuguste omaduste hoolikas tundmaõppimine viis teadlasi selle fakti konstateerimisele, et kõik kehad koosnevad väikseimaist, üheski mikroskoobis seni veel nähtamatuist osakestest. Neid osakesi nimetatakse *molekulideks*.

Molekulid on väga väikesed: nende diameetrid on kümnemiljondikke millimeetrist. Võib asetada üksteise kõrvale 10 000 000 molekuli ja selle rea pikkuseks on 1—10 mm.

Õhu või muu gaasi 1 kuupsentimeetris on 0° ja 760 mm rõhu juures 27 000 000 000 000 000 000 molekuli.

Rida vaatlusi tõendavad, et igas kehas on molekulid üksteisest eraldatud vahedega.

Valame pikka ühest otsast kinnijoodetud torusse poolest saadik vett, aga peale valame ettevaatlikult, et vedelikud ei seguneks, kuni ääreni piiritust. Vedelikud, olles segunemata, täidavad kogu toru. Kui segada piiritus ja vesi, kummutades toru mitu korda, siis ilmneb, et segu võtab vähema ruumala kui vee ja piirituse ruumalade summa.

See katse tõestab, et ühe vedeliku molekulid asetusid teise vedeliku molekulide vahedesse, mille tagajärjel mõlema vedeliku ühine ruumala vähenes.

Löönud haamriga seatinatükile, märkame, et tina on antud kohas kokku surutud, on muutunud tihedamaks. Kuna tükk on muljutud, siis peame järeldama, et molekulid läksid löögikohas üksteisele lähemale, vahed molekulide vahel muutusid antud kohas väiksemaks.

Silindris on kolvi all õhk. Surudes kolvile, surume kokku õhu. Kui õhk laseb end kokku suruda, siis on selge, et õhu molekulide vahel on vabad vahemikud. Surudes õhku kokku, vähendame neid vahemikke.

Õhku võib väga tugevasti kokku suruda; järelikult, õhu molekulide vahemikud on võrreldes molekulide suurusega väga suured.

Küsimusi.

1. Mis on molekul?
2. Kui suur on molekul?
3. Milliste katsete abil võib veenduda, et molekulid on üksteisest eraldatud vahemikkudega?

144. Molekulide-vaheline külgetõmme. Kui kehad koosnevad molekulidest, mis on üksteisest eraldatud vahemikkudega, siis mis sunnib molekule kokku hoiduma? Miks tahke keha, mis koosneb üksikutest molekulidest, mitte üksnes ei pudene, vaid vastupidi, tuleb rakendada suurt jõupingutust, et eraldada ühte keha osa teisest?

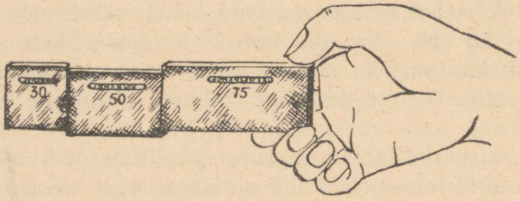
See on seletatav sellega, et molekulide vahel on vastastikune külgetõmme.

Iga molekul tõmbab külge naaber-molekule ja need tõmbavad külge teda ennast. Et tõmmata katki traaditükki, killustada klaasi, murda teraspuuri, selleks on vaja eraldada üksteisest molekule, on vaja ületada nende külgetõmmet.

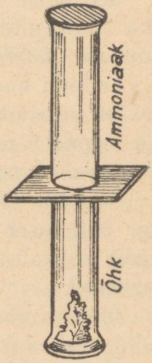
Molekulidevaheline külgetõmme on ainult siis olemas, kui molekulid on üksteisele väga lähedal.

Kaks elavhõbeda-kuulikest või kaks veetilka liituvad ühiseks tilgaks, kui kuulikesed või tilgad teineteisega kokku puutuvad.

Kaks seatinatükki liituvad ühte, kui ühendatud osi lõigati äsja ja siledasti, mida nägime eespool (joon. 36). Kaks lamedat väga hästi poleeritud terasplaati, mis on tihedasti surutud teineteise vastu, hoiduvad kokku (joon. 208).



Joon. 208.



Joon. 209.

Küsimusi.

1. Mispärast ei lagune üksikutest molekulidest koosnev tahke keha?

2. Missuguste katsete abil võib veenduda, et molekulide vahel on vastastikune külgetõmme.

145. Molekulide liikumine. Kui tuppa tuuakse mingi lõhnav keha, siis levib lõhn toas väga kiiresti. See tähendab, et lõhnava keha poolt eraldatud molekulid ei jää paigale, vaid liiguvad igas suunas, levides kogu toas.

On täidetud kaks anumat: ülemine — ammoniaagiga, aga alumine — õhuga (joon. 209). Ja vaatamata sellele, et õhk on ammoniaagist tunduvalt raskem, leitakse mõlemas anumas mõne aja jooksul pärast gaase lahutava vaheseina äravõtmist nii õhku kui ammoniaaki. Ühe gaasi osakesed tungisid teise gaasi osakeste vahele.

Valame kitsa klaasi põhja sinise silmakivi lahust, aga peale ettevaatlikult, et mitte segada — veekihi. Puhas vesi on sinise silmakivi lahusest kergem ja asetseb selle peal. Jätnud klaasi mitmeks päevaks rahulikult seisma, märkame, et sinise silmakivi osakesed tungivad veekihisse ja värvivad aegamisi kogu vee silmakivitaoliselt siniseks.

Ühe keha osakeste tungimist teise keha osakeste vahele nimetatakse d i f u s i o o n i k s.

Difusiooni täheldatakse mitte üksnes vedelikkudes ja gaasides, vaid ka tahketes kehades.

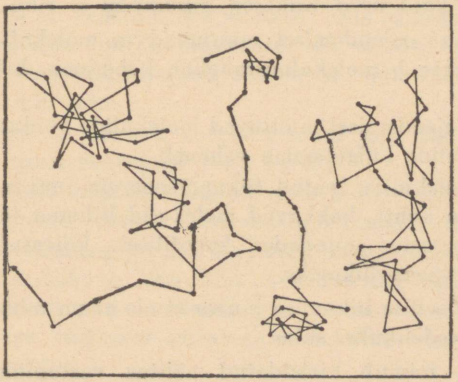
Tehti seesugune katse. Hästi puhastatud seatinaplaat suruti tugevasti vastu kuldplaati. Mõne nädala pärast liitusid plaadid tugevasti ühte. Kui plaadid lõigati põigiti katki, siis ilmnes, et seatina osakesed olid tunginud enam kui 1 mm sügavuselt kullasse ja vastupidi. Järelikult olid kulla ja seatina osakesed liikumises.

Iga keha molekulid on alalises liikumises.

Küsimus.

Missugused katsed on selle tõenduseks, et iga keha molekulid on liikumises?

146. Browni liikumine. XIX sajandi algul inglise botaanik Brown pani tähele ühte väga huvitavat nähtust, mis nimetati tema auks B r o w n i l i i k u m i s e k s.



Joon. 210. Browni liikumine. (Joonisel on kujutatud kolme aineosakese keerukad trajektoorid.)

Kui vaadelda läbi mikroskoobi vette riputatud gummikuti (kummivaigu) või karmiini osakesi, siis märkame, et värvi osakesed on alalises liikumises. Sellel liikumisel on väga korratu iseloom. Ja mida väiksemad on osakesed, seda kiiremini nad liiguvad (joon. 210).

Millega on see liikumine seletatav?

Meie ei näe mikroskoobis üksikuid molekule, sest nad on nii väikesed, et neid üheski mikroskoobis pole võimalik näha. Kuid vee molekulid liiguvad vahetpidamatult mitmesugustes suundades ja põrkavad seejuures kokku vette puistatud värviosakestega. Kuna vee molekulide liikumine on täiesti korrapäratu, siis osutub üksikutel momentidel veemolekulide löökide arv värvi osakeste pihta mõnest küljest suuremaks kui teistest ja värvi osake hakkab liikuma. Teisel momendil osutub löökide arv suuremaks teisest küljest ja värvi osake muudab oma liikumise suunda.

Browni liikumine osutab sellele, et molekulid liiguvad korratult — kaootiliselt.

147. **Aine kolm olekut.** Nägime, et tahkes kehas on külgetõmme (kohesioon) molekulide vahel väga suur. Tahke keha ühe osa eraldamiseks teisest on vaja tunduvat jõupingutust. Tahke keha säilitab oma kuju. See on võimalik üksnes sel juhul, kui molekulid tahkes kehas ei liigu korratult naaber-molekulide vahel, vaid sooritavad kui pendlid võnkumisi mõningate keskpunktide läheduses. Ka inimesed ei jää rivis täiesti liikumatuiks. Iga inimene, jäädes rivis kindlale kohale, liigub kergelt, kuid need väikesed liikumised ei riku rivistuse kuju.

Tahke keha soojendamisel muutuvad ta molekulide võnkumised kiiremaks. Nõrgeneb molekulidevaheline kohesioon, keha paisub soojenemisel.

Edasisel soojendamisel muutuvad molekulide võnkumised üha suuremaks, molekulide külgetõmme väheneb.

Lõpuks, molekulide teatud liikumis-energia juures, mis on täiesti kindel iga keha kohta, hakkavad molekulid liikuma teiste molekulide keskel mitmesugustes suundades, kaootiliselt, korratult. Külgetõmme on muutunud väga väikeseks.

Molekulide sellise liikumise juures ei ole enam tahket keha. Tahke keha muutus vedelikuks, sulas.

Jahtumisel toimub kirjeldatud nähtus vastupidises järjekorras. Molekulide kiired liikumised vedeliku jahtumisel aeglustuvad. Teatud kiiruse juures hakkavad nad üsna tugevasti üksteise ligi tõmbuma: molekul molekuli järel võtab kindla koha. Esimesele kohaleasunud

molekulile liitub teine, selle järel kolmas jne. Väheneb kaootiliselt liikuvate molekulide arv, suureneb kindlat keha moodustavate molekulide arv. Toimub tahkumine, mille juures võnkuvad molekulid asetuvad üksteise lähedale kindlas korras, eriti mitmesugustes kristallilistes kehades.

Kristallilist ehitust mitteomavate kehade jahtumise juures aeglustub sulatatud keha osakeste kiire kaootiline liikumine. Koos selle aeglustumisega muutub ka vedelik üha sitkemaks. Teatud temperatuuri juures muutub sitkus niivõrd suureks, et vedelikul on tahke keha väljanägemine. Pigitükk lendab löögi juures tükkideks, kuid need tükid, kui neid panna nõusse, valguvad aegamisi laiali nagu vedel keha. Keha jahtus, kuid ta molekulid jätkavad veel aeglast kaootilist liikumist.

Vedeliku molekulid liiguvad mitmesugustes suundades kaootiliselt. Korratus liikumises põrkavad nad üksteisega kokku, misjuures muutuvad nii nende liikumise suunad kui ka kiirused. Ühe ja sama vedeliku mitmesugused molekulid liiguvad erisuguste kiirustega. Mõningad molekulid omavad suuremat kiirust, kui see on enamikul molekulidel, ja teised molekulid liiguvad aeglasemalt kui enamik molekule.

Molekule, mis on vedeliku pinnal, hoiab kinni vedelikus olevate molekulide külgetõmme. Kuid mõned molekulid lendavad vedeliku pinnale säärase kiirusega, et nad ei jää pidama vedeliku pinnal; ületanud külgetõmbe, lendavad need molekulid vedelikust õhku.

Need on auru molekulid.

Mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda suurem on molekulide keskmine kiirus, seda suurem molekulide arv omab kiirust, mille juures nad võivad veest välja lennata. Seepärast toimub vedeliku soojenemisel aurumine kiiremini.

Mida suurem on auruva vedeliku pind, seda suurem arv molekule võib üheaegselt vedelikust välja lennata.

Auru molekulid, mis on õhus, põrgates kokku õhu või auru teiste molekulidega võivad uuesti tulla vedeliku pinnale niivõrd lähedale, et pöörduvad vedelikusse tagasi. Kui need auru molekulid eemaldada vedeliku pinnalt liikuva õhu abil, siis kiireneb aurumine. Kuna vedelikust lendavad välja molekulid, mis omavad suuremat kiirust, järele jäävad aga väiksema kiirusega molekulid, siis langeb auruva vedeliku temperatuur.

Sedamööda, kuidas soojeneb vedelik, kasvab molekulide kiirus ja läheb lõpuks nii suureks, et auru tekkimine ei toimu üksnes pinnal vaid ka vedeliku sees.

Auru molekulid eralduvad väikestesse õhumullikestesse, mis on vees; aur suurendab oma elastsusega nende mullikeste ruumala ja viimased tõusevad üles. Vedelik keeb. Keeva vedeliku temperatuur ei tõuse, kuni pole aurunud kogu vedelik.

Külgetõmme auru molekulide vahel puudub peaaegu täiesti.

Kuna auru ruumala on tunduvalt suurem samasuguse massiga vedeliku ruumalast, siis auru molekulid, põrgates üksteisega kokku, liiguvad vee molekulidest tunduvalt vabamalt.

Aine olek sõltub tema molekulide liikumise kiirusest, molekulide keskmine kiirus aga määrab keha temperatuuri. Vesi alla 0° on tahke keha. Temperatuuri juures 0° kuni 100° C on vesi normaal-õhurõhu puhul vedelik; temperatuuri juures üle 100° C läheb vesi üle gaasilisse olekusse — muutub auruks. Temperatuuri juures —220° C on õhk tahke keha, —220° ja —192° vahel on õhk vedelas olekus. —192° C ja kõrgema temperatuuri juures on õhk gaas, millisena me teda harilikult tunneme.

Kõrgahjude kuumuses muutub raud vedelaks. Kõrgemate temperatuuride juures sula raud keeb. Raua keemistemperatuur on ligikaudu 2500° C.

Õpetus, mis selgitab kehade omadusi ja eelkõige nende agregaatolekut, s. o. gaasilist, vedelat ja tahket olekut, mille aluseks on kujutlus molekulidest ja nende liikumistest, määrati teaduses kindlaks suure vene õpetlase M. V. Lomonossovi poolt. See õpetus kannab käesoleval ajal molekulaar-kineetilise teooria nimetust.

Küsimusi.

1. Mis toimub keha molekulidega soojenemisel?
2. Mispärast paisuvad kehad soojenedes?
3. Mispärast erinevad kehad omavad erinevat sulamispunkti?
4. Missugune sarnasus on aurul vedelate kehadega?
5. Kuidas seletatakse molekulide liikumisega aurumist ja keemist?
6. Kuidas seletatakse auru kondenseerumist?
7. Mispärast vedelik aurumise juures jahtub?

VI peatükk.

Mehaanilise energia muundumine soojuseks ja soojuse muundumine tööks.

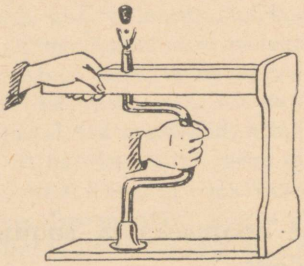
148. Töö ja soojus. Juba ürgajast on teada, et hõõrumise tagajärjel keha soojeneb: nimelt hõõrumise abil said muistsed rahvad tuld. See tulesaamise viis on mõnede rahvaste juures säilinud tänapäevani; eskimod näiteks hangivad tuld kahe lauakese vahele pigistatud kepikese hööritamisega.

Ka meie nüüdisaegne kogemus näitab, et hõõrumise juures sooritatud töö arvel tekib soojus: töö juures soojeneb saag, eriti siis, kui ta hambad on halvasti murtud, soojenevad halvasti määritud rattateljed, käiaga noateritamisel soojeneb nuga, soojeneb viil mingi toote viilimisel jne. Igaüks meist võib tuua palju mitmesuguseid näiteid, mis kinnitavad seda nähtust. Kõigil neil juhtudel tekib soojus sooritatud töö tagajärjel, kulutatud mehaanilise energia tagajärjel.

Valame katseklaasi pisut vett ja suleme ta korgiga. Kui soojendada katseklaasis olevat vett, siis lükkavad seejuures tekkivad aurud korgi eest ära. Selles katses sooritati töö soojuse arvel, mis kulutati vee soojendamiseks, mille tagajärjel kork sai kineetilise energia.

Samuti ka soojus, mis tekib püssis püssirohu põlemisel, tekitab gaaside kõrgendatud rõhumise, mis paiskavad kuuli püssist välja. Soojuse arvel, mis tekib kütuse põlemisel, sooritab aur veduri aurumasinas tööd ja paneb liikuma rongi.

Valame vett või eetrit peenikesse valgevasest torusse (joon. 211) ja suleme ta tihedasti korgiga.



Joon. 211.

Pigistanud toru puuklambrite vahele, paneme ta kiiresti pöörlema. Hõõrdumisest soojeneb toru, vedelik hakkab keema ja aur viskab korgi üles.

Aruteldud näited tõendavad, et **mehaaniline energia võib muutuda soojuseks, soojus aga mehaaniliseks energiaks.**

Küsimusi.

1. Missuguste katsetega võib näidata mehaanilise energia muundumist soojuseks ja soojuse muundumist mehaaniliseks energiaks?
2. Mispärast kastetakse tööpingil töötamisel metalli puurimise või treimise juures metalli ja puuri või treitera kokkupuutekohti seebiveega?

149. Soojuse olemus. Nägime, et töö juures hõõrdumisjõu ületamisel mehaaniline energia muutub soojuseks. Teame samuti, et mehaaniline energia on seotud kehade liikumisega. Oletame, et hõõrdumine võitis ja liikuv keha jääb seisma. Mehaaniline liikumine kaob, tekib soojus. Kas võib öelda, et liikumine üldse selle juures kadus?

Teame juba, et mida tugevamini keha on soojendatud, seda kiiremini liiguvad tema osakesed. Siit me võime järeldada, et soojus on keha molekulide korrapäratu liikumise energia. Just niisuguseid vaateid soojuse olemuse kohta arendaski teaduses esimesena M. V. Lomonossov, seletades soojust molekulide tiirleva (või nagu ta ise nimetas, keerleva) liikumisena. Põhiliselt vastavad need vaated õpetusele soojuse olemusest ka nüüdisaegses teaduses. Vastavalt neile kujutlustele kõigi nähtuste juures, kus võib tähele panna

mehaanilise energia muundumist soojuseks, muundub mehaaniline energia, mida omas keha, korrapäratult liikuvate molekulide energiaks, soojuse energiaks.

150. Soojuse mehaaniline ekvivalent. Nägime juba, et töö juures mehaaniline energia võib üle minna soojuseks. Valgevasest torukese hõõrdumisel teda hoidvate puust näpitsate vastu tekkis meil nii palju soojust, et vedelik torukeses hakkas keema ja osa temast muutus auruks. On kerge tähele panna, et soojust eraldub seda enam, mida enam tehakse tööd.

Kui teeme kindlaks selle töö, mis läks keha soojendamiseks, ja määrame sealjuures saadud soojuse hulga, siis võib arvutada, kui suur hulk mehaanilist energiat on vaja kulutada, et saada 1 kcal soojust.

Mehaanilise energia hulka, mis muundudes soojuseks annab ühe kilokalori, nimetatakse soojuse mehaaniliseks ekvivalendiks [1].

Õpetlaste poolt teostatud arvukad ja hoolikad katsed soojuse mehaanilise ekvivalendi määramisel tõestasid, et mehaanilise energia soojuseks ülemineku tulemus on alati üks ja sama, ükskõik mil viisil see on saadud.

Et saada 1 kcal, on vaja kulutada 427 kgm tööd.

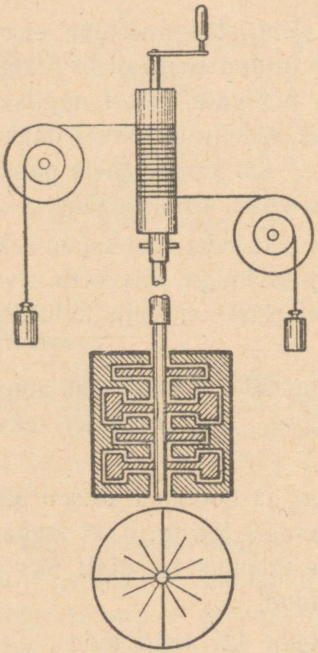
Järelikult: **soojuse mehaaniline ekvivalent on võrdne** $427\ \frac{\text{kgm}}{\text{kcal}}$.

Küsimusi.

1. Mis tähendab sõna „ekvivalent"?
2. Mida nimetatakse soojuse mehaaniliseks ekvivalendiks?
3. Millega võrdub soojuse mehaaniline ekvivalent?
4. Missugune nimetus tuleb kirjutada arvu 427 järele?

[1] Sõna ekvivalentne võib tõlkida — samaväärne. Ekvivalent tähendab suurust, mis on samaväärne teise suurusega.

151. Joule'i (džauli) katse. Üks Joule'i katsetest oli järgmine. Erilist kalorimeetrit läbistab telg, mis on varustatud ribade ja labidakujuliste külgtiivakestega (joon. 212). Kalorimeetri külgseinale on kinnitatud väljalõigetega vaheseinad. Nende kuju ei takista tiivakeste liikumist, kuid ei lase vett, mis on valatud kalorimeetrisse, liikuda ühtse massina. Tiivakeste pöörlemisel tekitatakse hõõrdumine vastu vett, mille tagajärjel vesi soojeneb. Selleks, et telg võiks pöörelda, on tema ülemisele otsale asetatud puust silinder, mille ümber on keritud kaks nööri, mis on visatud üle liikumatute plokkide. Nööride külge seotud koormuste laskudes hakkab silinder pöörlema. Teades kõrgust, millelt koormus langeb, ja selle koormuse suurust, võib kindlaks määrata töö, mis on kulutatud telje pöörlemapanemiseks.



Joon. 212.

Teades kalorimeetrisse valatud vee kaalu ja tema temperatuuri tõusu, määratakse ära saadud soojus.

Saadud andmetest leitakse mehaaniline ekvivalent.

Et anda kujutlust sellest, kuidas tehakse arvutusi, oletame, et kalorimeetrisse oli valatud 2 kg vett. Temperatuuri tõus on 0,28° C. Kaks vihti, millest kumbki kaalus 10 kg, langesid 60-sentimeetriliselt kõrguselt 20 korda.

Sooritatud töö võrdub:

$2 \cdot 10 \text{ kg} \cdot 20 \cdot 0{,}6 \text{ m} = 240 \text{ kgm}.$



Joule (džaul).

Saadud soojus on:

$$2 \cdot 0{,}28 = 0{,}56 \text{ kcal.}$$

Arvutame, kui palju tööd on vaja 1 kcal saamiseks:

$$240 \text{ kgm} : 0{,}56 = 428 \text{ kgm.}$$

Järelikult mehaaniline ekvivalent moodustab 428 kgm 1 kcal kohta.

Joule ise sai 423 kuni 425 kgm. Parandused, mis tehti Joule'i arvestustes, andsid mehaanilise ekvivalendi jaoks arvu

$$427 \frac{\text{kgm}}{\text{kcal}}.$$

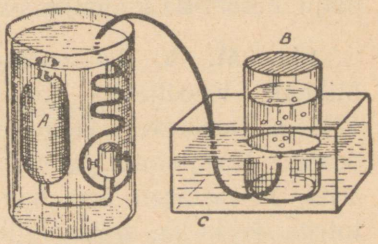
Küsimusi.

1. Milles seisis Joule'i katse soojuse mehaanilise ekvivalendi määramisel?
2. Mis otstarbel olid Joule'i kalorimeetri külgseintele kinnitatud väljalõigetega vaheseinad?
3. Kuidas tehakse arvutused mehaanilise ekvivalendi määramiseks Joule'i katse põhjal?

152. Töö termiline ekvivalent. Teame, et aurumasinais tekib kütuse põlemisel eraldunud soojuse arvel mehaaniline töö. Kui on teada, kui palju on kulutatud soojust ja kui palju on tehtud tööd, siis võib arvutada kalorite arvu, mis on ekvivalentne 1 kgm tööga. Seesugust arvu nimetatakse **töö termiliseks ekvivalendiks.**

Kujutluse seesugusest arvutusest annab järgmine katse.

Laseme silindris *A* (joon. 213) tugevasti kokkusurutud õhul paisuda ja tõrjuda välja vett anumast *B*, mis asetseb kummulipööratuna laias veega täidetud anumas. Katsed näitavad, et õhk seejuures silindris jaheneb. Kaotades soojust, teeb ta tööd. Surudes anumast *B* välja vett, ületab kokkusurutud õhk atmosfäärirõhumise. Teades anuma *B* lõike pindala võib arvutada välja õhurõhumise jõu veele. See jõud surub anumasoleva vee teatud kauguse võrra madalamale. Määranud töö



Joon. 213.

hulga ja arvestanud kulutatud soojuse, võime leida töö termilise ekvivalendi.

Mitmesugused ja hoolikalt korraldatud katsed näitavad, et alati, kui toimub soojuse muundumine tööks, annab iga tööks muutunud kilokalor tööd 427 kgm.

Seega siis töö termiline ekvivalent võrdub

$$\frac{1}{427}\ \frac{\text{kcal}}{\text{kgm}}.$$

153. Energia jäävuse ja muunduvuse seadus. Alati, kui 1 kcal soojust muundub mehaaniliseks energiaks, saame 427 kgm, kui aga 427 kgm muundatakse soojuseks, siis saame 1 kcal. Järelikult, soojusnähtuste juures ei täheldata mitte üksnes ühe energia liigi muundumist teiseks, vaid nende muunduste juures, samuti nagu seda nägime mehaaniliste nähtuste juures, jääb energia hulk muutumatuks. Teiste sõnadega, ka soojusnähtused kinnitavad energia jäävuse ja muunduvuse seadust.

Selle seaduse, samuti nagu aine jäävuse seaduse, määras teaduses kindlaks esimesena suur vene teadlane M. V. Lomonossov, kes seda formuleeris järgmiselt:

«Kõik muutused, mis esinevad looduses, toimuvad nii, et kui ühele kehale midagi juurde lisatakse, siis sama palju võetakse ära teiselt. Nii, kui mingile kehale lisatakse juurde mõnevõrra aineid, siis täpselt samapalju väheneb see teisel: keha, mis annab oma liikumise edasi teisele, kaotab sama palju liikumist, kuipalju annab edasi teisele.»

154. M. V. Lomonossov. Arhangelski randlase poeg Mihhail Vassiljevitš Lomonossov sündis 20. novembril 1711. a. Denissovka külas, mis asetses Holmogori linna läheduses. Kirjutamist ja lugemist õppis Lomonossov poisikesena, 16-aastaselt aga tutvus mõningate teaduslike raamatutega keele ja matemaatika alalt. Janu teadmiste järele viis ta 1730. a. Moskvasse õppima. Juba õpilasena ilmutas

Lomonossov erakordseid võimeid ja juurdlevat mõistust. Kui andekas üliõpilane lähetati ta 1736. a. välismaale teaduste alal täiendamiseks. 1741. a. pöördub ta tagasi Peterburisse ja saab Teaduste Akadeemia adjunktiks, 1745. a. aga keemia professoriks.

M. V. Lomonossov — geniaalne vene teadlane — jättis sügavad jäljed paljudesse teadusharudesse; ta on füüsik, keemik, insener, suurepärane vene keele tundja ja uuendaja, ajaloolane ja väga hea luuletaja.



Lomonossov.

Oma avastustega molekulaar-kineetilise teooria põhialuste, aine jäävuse seaduse ja energia jäävuse ning muunduvuse seaduse alal jõudis ta oma kaasaegseist kaugele ette. Kogu oma eluaja võitles M. V. Lomonossov isamaaliku vene teaduse arendamise eest, hariduse juurutamise eest vene rahva laiadesse kihtidesse. Tema visade palvete tulemusena avati 1755. a. Venemaal (Moskvas) esimene ülikool, mis tänapäeval kannab oma kuulsusrikka asutaja nime.

M. V. Lomonossov oli selles sügavasti veendunud,

«Et omi Platoneid
Ja ärksaid Newtoneid
Võib sünnitada Venemaa».

M. V. Lomonossov suri 1765. a.

Harjutusi.

1. Kui palju saab soojust, kui 854 kgm tööd muundatakse tervenisti soojuseks?

2. Kui palju võib saada mehaanilist energiat, kui 5 kcal muundatakse tervenisti mehaaniliseks tööks?

3. Kuivõrd soojeneks vesi, langedes Dnepri tammilt (kõrgus 37,5 m), kui selle vee kogu kineetiline energia muunduks soojuseks?

4. Kuivõrd soojeneb seatinatükk, langedes 50 m kõrguselt, tingimusel, et kogu kineetiline energia muundub langemise momendil soojuseks?

5. Mispärast sulavad vaguni laagrite pussid, kui neid küllaldaselt ei määrita?

Ülesandeid VI peatüki juurde.

1. Kui palju võib saada mehaanilist energiat, kui 10 kcal muuta tervenisti mehaaniliseks tööks?

2. Mispärast õhk paisudes jahtub?

3. Arvutada soojuse kulu 1 HJ peale tunnis, eeldades, et kogu soojus kulub kasulikuks tööks?

4. Täiuslikumad aurumasinad kulutavad 1 HJ kohta tunnis 3000 kcal. Arvutada antud masinate kasutegur.

5. Aurumasin kulutab 1 HJ kohta tunnis 5100 kcal. Arvutada selle masina kasutegur ja võrrelda seda eelmise ülesande masina kasuteguriga.

6. 200 HJ võimsusega diiselmootori kasutegur on 30%. Määrata, kui palju soojust nõuab antud jõumasin.

7. Newcomen'i parimad masinad tarvitasid tunnis ühe hobujõu kohta 16 kg sütt. Watt alandas selle arvu 4 kg peale. Parimad nüüdisaegsed masinad võtavad 1 HJ kohta veidi üle 0,5 kg. Kasutades toodud andmeid, arvutades Newcomen'i, Watt'i ja nüüdisaegsete masinate kasutegur.

8. Kui palju naftat kulub sõiduks üle Atlandi ookeani aurikul, mille masinate võimsus on 40 000 HJ, kui kasutegur on 25% ja reis kestab 5 ööpäeva?

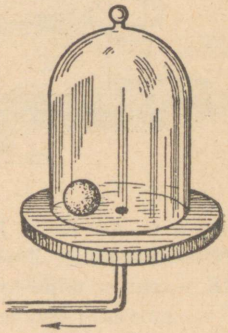
9. Mitmeks päevaks jätkub nafta tagavarast (60 t) kalapüügi traaleril, kui ta sõidab vahetpidamatult täiskäiguga? Tema diiselmootori võimsus on 500 HJ, kasutegur aga 30%.

VII peatükk.

Soojusjõumasinad.

155. Gaasi rõhumine. Asetame õhupumba kupli alla õhukeste seintega kummikotikese, milles on õhk (joon. 214).

Kotikeses olevad õhu molekulid, liikudes igas suunas, põrkuvad vastu kesta. Samuti põrkuvad vastu kotikese kummikesta väljaspool kotikest asuvad õhu molekulid, kuid nende põrgete suund on vastupidine kotikeses olevate molekulide põrgete suunale.



Joon. 214.

Sedamööda, kuidas pumba kupli alt õhku välja pumbatakse, paisub kummikotike, sest nüüd ei tasakaalustu kummikotikeses oleva õhu molekulide tegevus välimiste molekulide põrgete mõjuga.

Iga molekuli põrge on tühine, sest molekulid ise on väga väikesed, kuid neid põrkeid on tohutu hulk, mis kutsub esile põrgete näiva vahetpidamatuse, s. o. rõhumise.

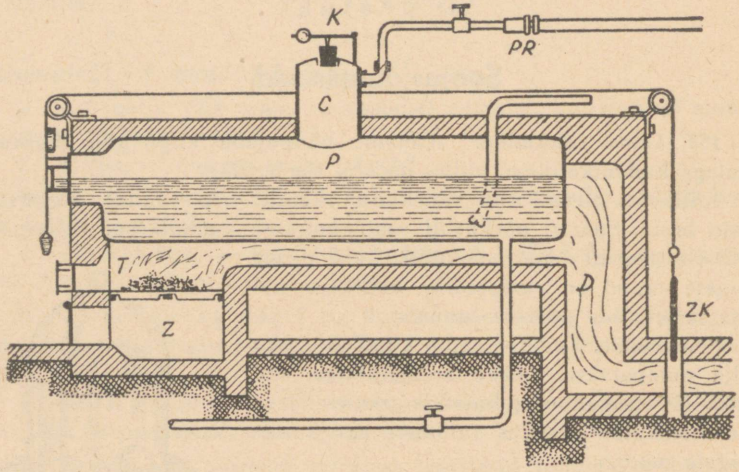
Gaasi molekulid, liikudes kõigis suundades, põrkavad vastu anuma seinu. Liikuvate molekulide põrgete tulemuseks on gaasi rõhumine anuma seintele.

Kui gaas on suletud anumasse liikuva seina abil, mis leiab aset näiteks soojusjõumasinate silindrites, kuhu on paigutatud kolb, siis hakkab kolb gaasi küllaldase surve juures liikuma. Kuid selleks on vaja, et kolvile mõjuks erinevatest külgedest erinev surve.

156. Katlad. Aurumasinates leiab kasutamist veeauru energia. Auru saamiseks kasutatakse aurukatlaid. Katla lihtsaim süsteem on kujutatud joonisel 215.

See katel kujutab enesest pikka anumat, mis on kokku needitud raudplaatidest, mille all on küttekolle *T* ja osa lõõrist *D*. Katla osa, mis kütmise ajal on kokkupuutes tulega, nimetatakse küttepinnaks. Mida suurem on küttepind, seda kiiremini soojeneb vesi, seda rohkem auru saadakse teatud ajaühiku jooksul.

Katelt ei täideta veega tervenisti. Tema ülemisse ossa jääb veepinna kohale ruum, kuhu koguneb aur. Seda ruumi nimetatakse aururuumiks. Katla töö juures tuleb tähelepanelikult jälgida, et kogu



Joon. 215. Lihtne silinderkatel.
T — küttekolle; *Z* — tuharuum, kust koldesse tuleb õhk; *D* — lõõr; *ZK* — siiber, mille avamisega reguleeritakse tõmbust; *P* — aururuum; *C* — kuivaaururuum; *K* — kaitseventiil; *PR* — aurujuhe. Tähtedega märkimata torudest ülemine on katlasse vee andmiseks ja alumine — katlast vee väljalaskmiseks.

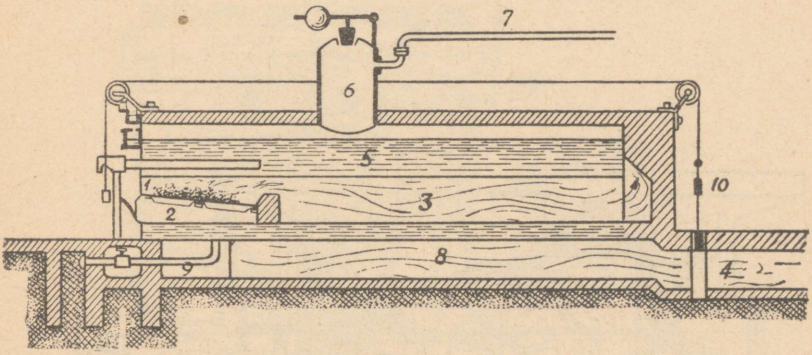
küttepind oleks kaetud veega, sest vastasel korral kuumendub koht, mis pole veega kaetud, hõõguv-punaseks ja aurusurve katlas võib ta purustada.

Aurukatla plahvatus pole vähem kardetav kui püssirohulao plahvatus. Seepärast lubatakse katlaid kütta erilise tehnilise ettevalmistuse saanud töölisil-katlakütjail.

Joonisest 215 on näha, et katel on ümbritsetud telliskividega, katla müüritisega, mis isoleerib katelt liigse soojusekaotuse eest. All on tellis-

kivi vooderdisse tehtud küttekolle *T*. Kolderestile pannakse tahke kütus; põlemiseks vajalik õhk tuleb läbi tuharuumi Z. Põlemissaadused lähevad läbi lõõride, mis ümbritsevad katelt, annavad katlale suurema osa oma soojusest ja lähevad korstnasse võrdlemisi jahtununa. Seda tüüpi katlaid ehitatakse 6—8 at rõhuga.

On palju katlatüüpe, mille ehitus on mõnikord väga keerukas. Joonisel 216 on kujutatud leektoru-katel. Kogu katla pikkuses, veidi allpool keskkohta kulgeb lai leektoru, mille ühes otsas on küttekolle. Seega siis põleb kütteaine katla sisemuses, põlevad gaasid aga kulgevad nii sees- kui väljaspool katelt ja suubuvad siis korstnasse. See-



Joon. 216. Leektorukatel.

1 — küttekolle; 2 — tuharuum; 3 — leektoru; 4 — lõõr; 5 — aurutekkeruum; 6 — kuivaaururuum; 7 — aurujuhe; 8 — suitsulõõr; 9 — katlast veeväljalaske toru; 10 — siiber.

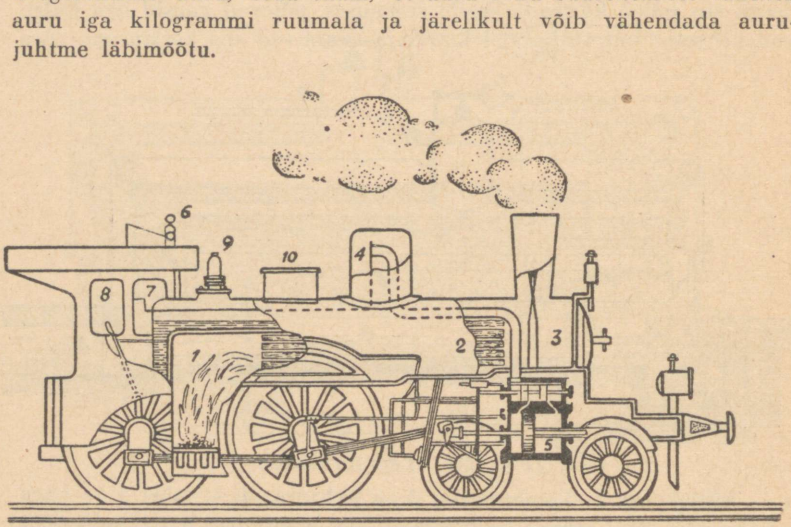
sugune katlasüsteem annab suure küttepinna ja küttegaaside soojuse parima ärakasutamise. Rõhumine leektoru-katlas ulatub kuni 12 atmosfäärini.

Joonisel 217 on esitatud veduri katel, kus katla sees on ühe leektoru asemel rida torusid. Põlemissaadused lähevad neid suitsutorusid mööda suitsukarpi, kust satuvad korstnasse. Arvukad suitsutorud annavad väga suure küttepinna, mistõttu neis väga hästi ära kasutatakse kütteaine põlemissoojus. Seda tüüpi katlaid ehitatakse kuni 16 at rõhuga. Vesi asetseb neis kateldes leektorude vahel, millest läheb läbi tuli. Katlaid võib teha ka teisiti: lasta torudesse vesi, torude vahele aga tuli. Seesuguseid katlaid nimetatakse veetorukat-

laiks (joon. 218). Nende katelde väärtuseks on suurem küttepind ja suurem ohutus, sest torudes on vett vähe.

Küllastunud auru tabeli andmete järgi võisime märgata, et auru temperatuuri tõusmisega suureneb auru rõhk ja et mitmesuguse rõhuga 1 kg auru tekkimiseks on vaja peaaegu üht ja sama soojushulka.

Mida suurem on auru rõhumine, seda rohkem tööd sooritab aur. Tähendab, auru kasutamiseks tehnikas on väga tähtis rakendada kõrge rõhulist auru, seda enam, et auru rõhu suurenemisel väheneb auru iga kilogrammi ruumala ja järelikult võib vähendada aurujuhtme läbimõõtu.



Joon. 217. Veduri skemaatiline joonis.

1 — tulekarp; 2 — leektorud; 3 — suitsukarp; 4 — kuivaaururuum; on näha toru, mille kaudu aur läheb aurumasinasse; 5 — silinder; 6 — vile; 7 — käepide aurujuhtme avamiseks; 8 — hoob käigu muutmiseks; 9 — kaitseventiil; 10 — liivakast kuiva liivaga rööbastele puistamiseks, kui rattad pöörlevad paigalt liikumata.

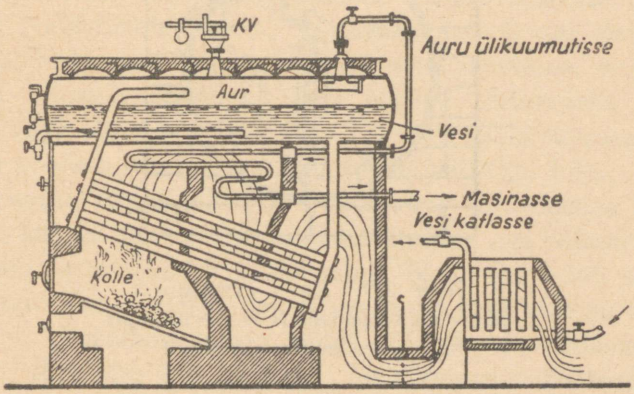
Suurim rõhumine kateldes, milliseid ehitati veel alles hiljuti, oli 20 at. Ehitamiseks kasutatav materjal ja ehitusviis ei võimaldanud katelde varustamist suurema rõhuga.

Materjalide omaduste parendamisega ja katelde uusimate ehitusviiside rakendamisega osutus võimalikuks kõrge rõhuga katelde ehi-

tamine. 1920. a. ehitati esmakordselt katlaid kuni 60 at rõhuga. Nüüdsel ajal on katlaid 80 ja 100 at rõhuga ja ehitati isegi katel rõhuga 224,2 at.

Küsimusi.

1. Mis vahe on veetorukatla ja leektorukatla vahel?
2. Mispärast on tulusam kasutada kõrgrõhuga auru?



Joon. 218. Veetorukatel.

157. Katla armatuur. Et võiks reguleerida katla tööd ja otsustada auru olukorra üle katlas, on viimasele monteeritud mitmesugused riistad, mis moodustavad aurukatla armatuuri (armatuur tuleneb sõnast arma — relv; armatuur — varustus). Sellisteks riistadeks on meile juba tuntud riistad:

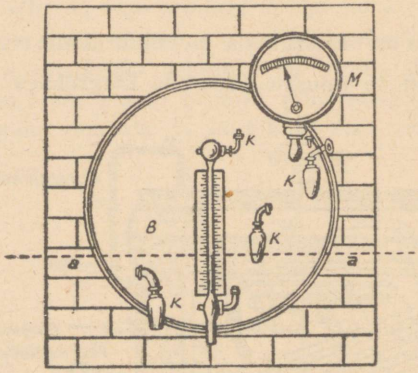
1. Kaitseventiil, mis avaneb automaatselt ja laseb välja liigse auru, kui rõhumine katlas tõuseb üle lubatud määra.

2. Manomeeter — riist, mille abil masinist võib jälgida aururõhumist katlas.

3. Veenäitajad veehulga jälgimiseks katlas.

Peale veenäitaja kinnitatakse mitmesuguscle kõrgusele rida kraane. Avades neid kraane juhul, kui veenäitaja on purunenud, saab masinist teada, kui palju tal katlas vett on. Kui masinist kraani

avades näeb, et ühest kraanist tuleb auru, siis tähendab see, et kraani kõrgusel pole vett. Neid kraane nimetatakse vee kontrollkraanideks (joon. 219).



Joon. 219. Katla armatuur.
M — manomeeter; *B* — veenäitaja;
K — vee kontrollkraanid.

Küsimusi.

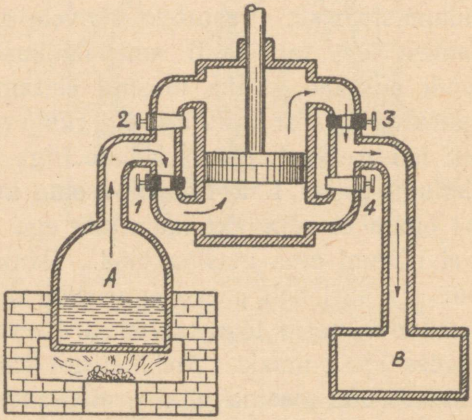
1. Kuidas on ehitatud katla kaitseventiil (joon. 137)?
2. Kuidas on ehitatud manomeeter?
3. Missugustes ühikutes mõõdetakse rõhku manomeetriga?
4. Milleks on veenäitajad, kuidas on nad ehitatud ja kuidas neid tuleb kasutada?

158. I. I. Polzunovi masin. 1763. a. esitas Venemaal meister Ivan Ivanovitš Polzunov palvekirja anda temale luba ehitada tema poolt leiutatud «tulemasin» ja assigneerida selleks ehituseks raha. I. I. Polzunov sündis 1728. a., lõpetas «aritmeetikakooli», mis valmistas mäetehastele alamtehnikuid. Pärast kooli lõpetamist töötas ta algul Uuralis «mehaanika õpilasena», 17-aastaselt aga Altais «särdamispanuse meistrina» — meistrina, kelle ülesandeks oli valvata «särdamispanuse» järele, s. o. kõrgahjudesse pandavate materjalide kogusliku koostise järele.

Töötades tehases leidis Polzunov aega teadustega tegelemiseks. Teda huvitas mitte üksnes see, mis puutus vahetult ta enda töösse, vaid ta tegeles ka mehaanikaga ja toimetas süstemaatilisi ilmavaatlusi. Polzunov luges palju ja arvatavasti puutus ta näppu raamat, milles kirjeldati väga lühidalt Newcomeni masinat. Saanud teada masinast, mis pumpab kaevandusest vett välja, seab Polzunov enesele eesmärgiks ehitada masin, mis paneks liikuma metallivalamise juures olevad õhupuhumislõõtsad. Vastuseks palvele sai Polzunov masina ehitamise loa, talle anti «mehaanikuse» kutse ja insener-leitnandi aukraad. Raha masina ehitamiseks assigneeriti väga piiratud määral ja autasu 400 rubla suuruses, mis temale saadeti leiutise eest, jõudis kohale liiga hilja. Määratu energiakuluga ehitas I. I. Polzunov oma masina Siberi kolkas, kus ei olnud ei vajalikke materjale ega vilunud töölisi, kuid ta ei näinud oma masina tööd. Ränk töö murdis Polzunovi jõu. Ta suri neli päeva enne oma masina käikulaskmist. Polzunovi masin töötas 1766. a. kaevandustes ligi 2 kuud, sulatades 170 t maaki. Mehhanismi väikesi rikkeid, mis on loomulikud uue masina juures, ei osanud parandada pärast Polzunovi surma keegi. Masin heideti kõrvale ja unustati. Unustati ka I. I. Polzunov — maailma esimese aurumasina looja.

159. Watt'i masin. Ligi kakskümmend aastat pärast Polzunovi surma ehitas 1784. a. inglise mehaanik James Watt aurumasina, mis sai tööstuses laialdase rakenduse osaliseks. Glasgow (glaasgou) ülikooli töökoja mehaanik James Watt õppis ametit algul oma isa tisleri-töökojas ja töötas seejärel õpilasena Glasgow mehaanikatöökojas, kust lahkus hea mehaanikuna. Töötades mehaanikuna ülikoolis leidis Watt aega, et saada soliidseid teadmisi matemaatika ja füüsika alal, mis aitasid temal mitte üksnes leida ja kõrvaldada puudusi masinais, mis olid leiutatud enne teda, vaid ka auru-

masinat nii täiustada, et tema olulisemad osad pole peaaegu muutunud tänini. 1784. a. sai Watt tema poolt leiutatud masinale patendi. Watt andis masina, milles aur rõhub kolvile vaheldumisi kord ühelt, kord teiselt poolt. Arutleme aurumasina ehitusskeemi. Joonisel 220 on näha silinder, milles liigub kolb. See silinder on kraanidega torukeste süsteemi abil ühendatud ühelt poolt katlaga, teiselt poolt jahutajaga.

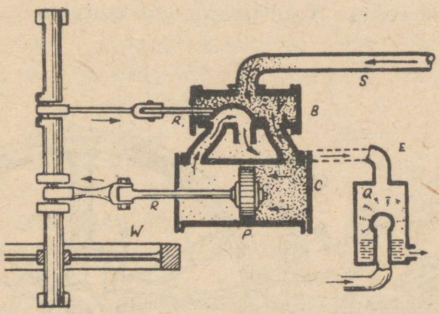


Joon. 220. Kahe poolega töötav masin.

Olgu antud momendil avatud kraanid 1 ja 3, suletud aga kraanid 2 ja 4. Aur läheb katlast *A* läbi kraani 1 silindrisse ja tõstab kolvi üles. Tarvitatud aur, mis on silindri ülemises osas, läheb läbi kraani 3 jahutajasse *B*, kus kondenseerub. Kui kolb jõuab silindri ülemise otsani, tuleb avada kraanid 2 ja 4, sulgeda aga kraanid 1 ja 3. Siis tungib aur läbi kraani 2 silindri ülemisse ossa ja surudes ülalt kolvile, tõukab kolvi alla. Tarvitatud aur läheb läbi kraani 4 jahutajasse.

Masinaid, kus aur lastakse vaheldumisi silindri mõlemale poolele, nimetatakse kahe poolega töötavaiks masinaiks.

160. Automaatne aurujagamine. Käsiaurujagaja asemel esitas Watt automaatse aurujagaja, mis kannab aurusiibri nimetust. Silindri *A* pinnale tehakse niinimetatud aurusiibrikarp *B*, milles on liikuv, erikujuline keha *V* — aurusiiber (aurusiibri karbi sees — joon. 221). Aurusiibri liikumatusse karpi tuleb neli kanalit: kaks silindrist, üks katlast ja üks jahutajast *E*. Aur satub katlast kanali *S* kaudu aurusiibrikarpi, kust läbi parempoolse avatud kanali läheb silindrisse *C*



Joon. 221. Aurujagamine jaotussiibri abil.

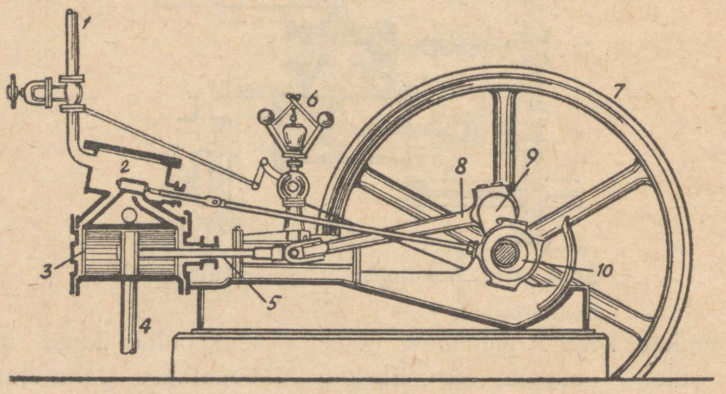
ja tõukab kolvi *P* pahemale poole. Vasakpoolne kanal, mis on suletud aurule aurusiibriga, ühendatakse jahutajaga kanali *E* kaudu, mille tagajärjel tarvitatud aur läheb silindri vasakust poolest jahutajasse. Kolvi liikumine paneb liikuma ka aurusiibri. Kui kolb jõuab silindri vasakule poolele, asetub aurusiiber paremale, suleb aurule parempoolse kanali ja avab vasakpoolse. Aur rõhub nüüd kolvile vasakult, kolb läheb paremale, tarvitatud aur aga läheb parempoolse kanali ja temaga ühenduses oleva jahutaja kanali *E* kaudu jahutajasse.

Küsimusi.

1. Mis otstarve on aurusiibril?
2. Kuidas on korraldatud aurujagamine aurusiibri abil?

161. Sirgjoonelise liikumise muundamine pöörlevaks liikumiseks. Niikaua kui aurumasinat kasutati kaevandustest vee väljapumpamiseks, vastas masina kolvi liikumine pumba kolvi liikumisele alla ja üles. Et aurumasinat oleks olnud võimalik kasutada muudeks eesmärkideks, oli vaja leiutada mehhanism, mis oleks muutnud kolvi liikumise pöörlevaks liikumiseks.

Joonisel 222 näeme, kuidas kolvi sirgjooneline liikumine muundatakse võlli ja tema külge kinnitatud hooratta pöörlevaks liikumiseks. Silindri kolvile on kinnitatud kolvivars (5). Kolvivars ühendatakse liuguriga, niinimetatud r i s t p e a g a, mis liigub edasi ja tagasi kahe juhtiva tasapinna vahel. Need tasapinnad, mida nimetatakse p a r a l-



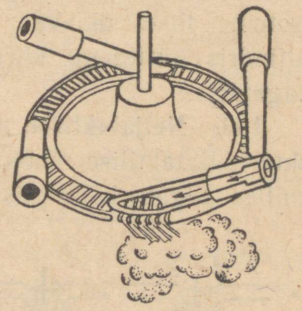
Joon. 222. 1 — aurujuhe; 2 — aurusiibri karp; 3 — silinder; 4 — auru ärajuhtiv toru; 5 — kolvivars; 6 — regulaator; 7 — hooratas; 8 — keps; 9 — vänt; 10 — ekstsentrik, mis paneb liikuma aurusiibri.

l e e l i d e k s, suunavad kolvivart, andmata tal võimalust kalduda kõrvale. Ristpea külge kinnitatakse liigendiliselt keps (8), mis on ühendatud vändaga (9). Kepsu liikumine paneb liikuma võlli. Kolvi äärmistes asendites on kolvivars, keps ja vänt ühel sirgel, misjuures kolb ei saa selles asendis anda vändale pöörlevat liikumist. Seesuguseid asendeid nimetatakse s u r n u d p u n k t i d e k s. Et neis surnudpunktides poleks liikumise takistust, asetatakse võllile raske hooratas. Liikumapandud hooratas viib oma inertsiga kolvi välja surnudpunktide asendist, mistõttu masin töötab pidevalt ja sujuvalt.

162. Auruturbiinid. Aurumasinais teeb kolb sirgjoonelisi edasitagasi liikumisi, mis väntmehhanismi abil muundatakse võlli pöörlevaks liikumiseks. Kuid auru abil võib saada pöörlevat liikumist ka vahetult ilma kolvi ja vända osavõtuta. Masinaid, kus auruenergia paneb võlli pöörlevasse liikumisse ilma kolvi ja vändata, nimetatakse auruturbiinideks (sõnast *turbo*, mis tähendab ladina keeles „tuulekeeris, keerleja").

Nüüdsel ajal on auruturbiine väga mitmesuguste konstruktsioonidega, milledest vaatleme ainult Laval'i turbiini.

163. Laval'i turbiin. Laval'i turbiini peamiseks osaks on keskkoha poole tublisti paksenev terasketas, mille piirdel asetseb palju väikesi labidakesi. Joonisel 223 on kujutatud sellise võllil asetseva ketta üldvaade. Turbiini labidakestele lastakse auru läbi mitmete aurujuga suunavate torukeste. Neid torukesi nimetatakse düüsideks. Düüsi ava ahendus laieneb järk-järgult, aur voolab düüsi suudmest tohutu kiirusega, mis ulatub kuni 1300 m sekundis.



Joon. 223.

Minnes läbi labidakeste vahelt, annab aur kettale tunduva osa oma energiast, sundides turbiini ketast tegema tuhandeid pöördeid minutis. Väikesel Laval'i turbiinil, võimsusega kuni 10 HJ, on ketas 10—15 cm läbimõõduga. See ketas teeb 30 000 pööret minutis. Suurtes turbiinides, võimsusega 300 HJ, teeb 30-sentimeetrilise läbimõõduga ketas 10 000 pööret minutis.

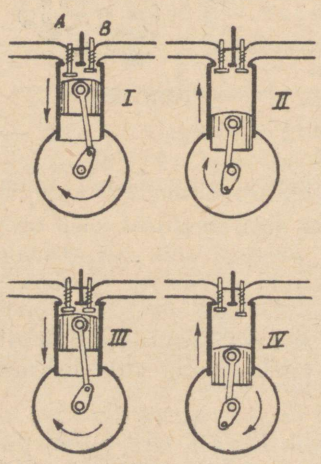
Seesugust kiirust pole tegelikus elus vaja, seepärast tuleb turbiin ühendada töömasinaga hammasrataste süsteemi abil, mis võimaldab töömasinal töötada tunduvalt vähendatud kiirusega. Turbiin ise võtab väga vähe ruumi. Hammasratas-ülekanne võtab märksa rohkem ruumi kui turbiin ise. Kuid isegi koguka hammasratas-ülekande puhul nõuab Laval'i turbiin märksa vähem ruumi kui samasuguse võimsusega aurumasin.

Nüüdisaegsed turbiinid omavad palju kettaid, mis asuvad ühisel võllil ja mis panevad võlli pöörlema Laval'i turbiinidest märksa aeglasemalt, nimelt 1000—3000 pööret minutis.

164. Sisepõlemismootorid. Sisepõlemismootoriks nimetatakse jõumasinat, milles kütus põleb silindris vahetult kolvi all. Põlemisel tekkivad gaasid teevad tööd, tõugates kolbi. Seega pole sisepõlemismootoreil vajadust katla ja erilise kütmise järele. Pole ka vajadust kütuse energiat muuta esialgu auruenergiaks.

Esimese õnnestunud sisepõlemismootori tegi prantslane Lenoir 1860. a., kuid sel mootoril ei olnud edu. Nüüdisaegsed mootorid on saanud oma alguse Otto mootorilt, mis ehitati 1878. a. ja Dieseli mootorilt, mis ehitati veidi hiljem. Nende mootorite mitmesugused tüübid, erinedes üksteisest mõningate ehitusdetailide poolest ja kasutades oma tööks mitmesuguseid kütuste liike, omavad kõigile ühist joont: liikumine tekib silindris küttesegu kiirel põlemisel tekkinud gaaside surve tagajärjel.

165. Neljataktilise mootori skeem. Joonisel 224 on toodud neljataktilise mootori skeem. Mootor koosneb silindrist, milles liigub kolb, mis kepsu ja vända abil on ühendatud töövõlliga. Võllile on kinnitatud raske hooratas. Silindri peal on kaks ventiili *A* ja *B*, mis kolvi liikumisel avanevad ja sulguvad automaatselt. Ventiili *A* kaudu tuleb silindrisse küttesegu ja ventiili *B* kaudu väljuvad töötanud gaasid.



Joon. 224. Neljataktilise plahvatusmootori skeem.

Kolvi iga käiku ühele poole nimetatakse taktiks. Neljataktiline mootor on seesugune mootor, milles tööprotsess koosneb kolvi neljast järjestikusest liikumisest. Nähtused, mis toimuvad silindri kolvi iga liikumise ajal, erinevad üksteisest järsult.

Pöörates käega või mõnel muul viisil hooratast, nihutatakse kolb alla (joon. 224 I). Selle tagajärjel tekib silindris hõrendatud ruum ja läbi ventiili *A* imendub silindrisse küttesegu. Hooratta edasisel liigutamisel sulgub sisselaskeventiil ja kolvi liikudes silindri sisemusse surutakse kokku silindrisse tulnud segu (joon. 224 II). Kui kolb jõuab üles, süüdatakse elektrisädemega silindris kokkusurutud küttesegu.

Plahvatuse juures tekkinud gaasid suruvad jõuga kolvile ja ajavad ta alla (joon. 224 III). Kolvi liikumine andub edasi kepsule ja selle kaudu võllile, mille küljes on hooratas, mis, saanud tugeva tõuke, hakkab liikuma ning jätkates liikumist tõstab üles kolvi (joon. 224 IV). Nüüd avaneb väljalaskeventiil, mille kaudu väljuvad töötanud gaasid. Hooratas jätkab üha liikumist ja lastes kolvi alla imeb sisse segu jne. Kõik kordub algusest peale.

Seega siis on mootoril neli takti:

I m e m i n e. Liikudes alla tekitab kolb silindris hõrenduse; ventiili *A* kaudu imendub sisse küttesegu.

K o k k u s u r u m i n e. Mõlemad ventiilid on suletud, kolb liikudes üles surub kokku küttesegu. Selle takti lõpul süüdatakse see elektrisädemega.

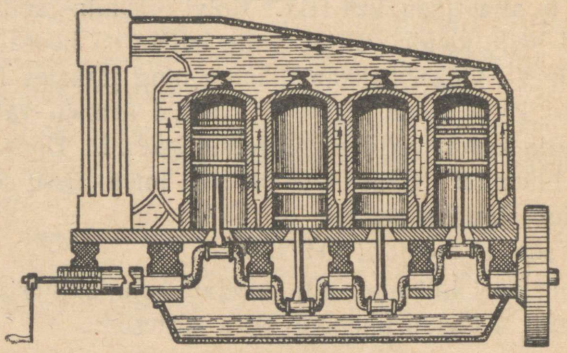
T ö ö k ä i k. Segu põlemisel tekkinud gaasid suruvad kolvile ja ajavad ta jõuga alla.

V ä l j a l a s k. Tõusev kolb tõukab avanenud väljalaskeventiili *B* kaudu kolvi alt välja töötanud gaasi.

Esimesed kaks käiku tuleb mootorile anda kõrvalise jõuga ja ainult alates kolmandast käigust hakkab mootor ise töötama. Mootori käivitamine toimub kas erilise vända abil, mida väntab mehaanik, või eriseadiste abil, milledes mootori esimesed käigud teostatakse elektrivoolu või suruõhu abil.

Olgu tähendatud, et kolvi neljast käigust ainult üks on töökäik.

Hoorattal on kõne all oleva mootori juures eriti suur tähtsus. Tema ülesandeks pole mitte üksnes ületada surnudpunkte, nagu see leiab aset aurumasina juures, vaid ka panna kolb ühe töökäigu jaoks tegema kolme ettevalmistavat käiku. Et mootor töötaks ühtlaselt, pannakse nüüdisaegseisse mootoreisse mitte üks silinder, vaid mitu (joon. 225), kusjuures kõikide silindrite kolvid annavad oma liikumise edasi ühisele võllile ja igal antud momendil sooritab üks neist kolbidest



Joon. 225.

töökäigu, iga teine kolb aga selleks töökäiguks erineva ettevalmistustakti. Kui näiteks esimeses silindris toimub imendumine, siis teises on kokkusurumine, kolmandas töökäik ja neljandas väljalask. Järgmisel momendil on esimeses kokkusurumine, teises töökäik, kolmandas väljalask, neljandas imendumine jne.

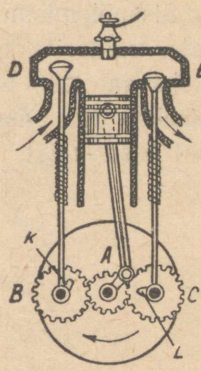
Meie võtsime ühe võimaliku taktide jaotuse silindrite vahel. Erinevates süsteemides võib taktide jaotus olla erinev.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse „mootori taktiks"?
2. Miks mootorit nimetatakse neljataktiliseks?
3. Mis on iga takti ülesanne?
4. Missugust osa etendab hooratas mootori töös?

166. Jaotusmehhanism. Sisse- ja väljalaskeventiilid avatakse vajalikul ajal ja tarvilikuks kestuseks erilise mehhanismi abil, mida nimetatakse jaotusmehhanismiks. Selle mehhanismi olemus selgub skemaatilisest joonisest nr. 226.

Mootori võlli otsa on pandud hammasratas *A*, mis on hambumises kahe teise hammasrattaga *B* ja *C*. Peavõlli hammasrattal *A* on kaks korda vähem hambaid kui hammasrattal *B* ja *C*. Seetõttu teevad hammasrattad *B* ja *C* ühe pöörde samal ajal, kui hammasratas *A* teeb kaks pööret. Hammasrataste *B* ja *C* võllide küljes on nokad *K* ja *L*, mis hammasrataste liikumisel lähenevad ventiilidega *D* ja *E* ühendatud varbadele ja tõstavad need üles. Mida laiem on nokk, seda kauem on ventiil avatud. Täpselt samuti paneb peavõlli hammasratas parajal momendil tegevusse sädemetekitamise seadise.



Joon. 226.

167. Diiselmootor. Diiselmootor erineb muudest sisepõlemismootoritest tulusalt seepoolest, et tal puudub eriline süüteseadis ja et ta on suuteline kasutama naftat ja muud vedelat põletusainet, mida pole nii kerge aurustada kui bensiini. Süütamise puudumine teeb mootori käsituskindlamaks, odava nafta kasutamine kalli bensiini asemel — ökonoomsemaks.

Diiselmootor võib olla ka neljataktiline. Kolvi esimese käigu juures imendub silindrisse õhk. See õhk surutakse kolvi teisel käigul nii tugevasti kokku, et ta temperatuur tõuseb kuni 500° C. Samal ajal, kui kolb alustab kolmandat käiku, pritsitakse silindrisse suruõhu abil naftat, mis sattudes kokkusurutud palava õhu atmosfääri, süttib põlema, ja tekkinud gaaside rõhumine tõukab kolbi. Neljandal käigul kolb tõu-

kab väljalaskeventiili kaudu välja tarvitatud gaasid. Mootor pannakse käima suruõhu abil. Suruõhk, mis on vajalik mootori käimapanemiseks ja nafta pritsimiseks, surutakse erilisse reservuaari kompressoriga, mille paneb käima mootor ise. Jahutamise otstarbel on silindrid tehtud kahekordsete seintega, mille vahel tsirkuleerib erilise pumbaga liikuma pandav külm vesi.

Sisepõlemismootoreid kasutatakse autode, soomusmasinate, traktorite, tankide, lennukite, dirižaablite, mitmesuguste ekskavaatorite, tõstekraanade, tuletõrjemasinate jne. käivitamiseks. Iga päevaga leiavad sisepõlemismootorid üha suuremat kasutamist.

Vastuseid harjutustele ja küsimustele.

Mehaanika elemendid.

§ 19. 1. 7,8 kg/cm³.
2. 2,6 g/cm³.
3. 0,8 g/cm³.
4. 13,6 korda.

§ 20. 1. 22,6 kg.
2. 936 g.
3. 17,155 kg.
4. 4 kg.

§ 21. 1. 30 cm³.
2. Ligikaudu 1,77 cm³.
3. „ 73,5 cm³.
4. 12 l.
5. 10 dm³.

§ 31. 5. 12 mm.
6. 150 mm.

§ 33. 4. 0,2 kg/cm².
5. Ligikaudu 0,43 kg/cm².

§ 54. 10. 103,36 kg.
12. Umbes 1450 kg.

§ 65. 3. 20 g.
4. 8 g.
5. 50 cm³.

§ 67. 3. 7000 t.
5. 61 kg.
6. 900 m³.

§ 69. 1. 1,29 kg.
2. 120 g võrra.
6. 4800 kg.

§ 74. 1. 330 m/sek.
2. 2 t. 40 min.
3. 7,5 km.

§ 83. 1. Esimene
2. 3 HJ.

§ 88. 1. 12 kg.
2. Umbes 417 kg.

§ 91. 3. 2,4 kg.

§ 102. 1. 510 m kaugusel, kui võtta hääle kiiruseks õhus 340 m/sek.
4. Umbes 1800 m.

Soojus.

§ 122. 1. 5,5 kcal.
2. 400 g.
3. kuni 22°.
4. 18°.

§ 134. 1. 320 kcal.
2. 295,3 cal.

§ 153. 1. 2 kcal.
2. 2135 kgm.
3. Ligikaudu 0,1°.
4. Ligikaudu 3,8°.

Vastuseid ülesandeile.

Mehaanika elemendid.

I peatükk.

1. 50 cm^3.
4. 2,9 korda.
7. Portselanist.
8. Klaassambake 4 cm; tsinksambake 1,4 cm.
9. Petrooleumi ei või, väävelhapet võib.
10. Kork kaalub 240 kg.
11. 1,6 kg.
12. Alumiiniumist = 2,7 g/cm^3.
13. 17,5 kg.
14. 8,9 g/cm^3.
15. 3,12 kg.
16. 152 t.
17. 10,92 kg.
18. 5 l.
19. 500 m^3.
20. Umbes 66.
21. Jää ruumala on 1 m^3, vee ruumala 0,9 m^3.
22. 112,4 cm^3.
23. Ei.
24. 250 cm^3.
25. 500 cm^3.
26. 4,3 korda.

II peatükk.

1. 1,75 cm.
2. 40 t (vagunil on kaks puhvrit).
9. 0,2 kg/cm^2.
10. 1,5 kg/cm^2.
11. 250 kg/cm^2.
12. 0,018 kg/cm^2.
13. 0,36 kg/cm^2.
14. 1,3 kg/cm^2.

III peatükk.

1. 15 g/cm^2.
2. 50 g/cm^2.
3. Ei; 1 kg/cm^2.
4. 136 g/cm^2.
5. Ligikaudu 0,61 kg/cm^2.
6. 1,033 kg/cm^2.
7. 2 cm.
8. 51,5 t.
9. 10,33 m.
10. Elavhõbedasamba kõrgus väheneb.
13. 6201,6 kg.
14. 15,5 t.
15. 1800 m.
16. 167 mm.
17. 952 g/cm^2.
18. 180 t.
20. Seestpoolt 1,033 kg/cm^2, väljastpoolt 0,068 kg/cm^2.
24. Õlis.
25. Seatina vajub alla.
27. Ujub peal.
29. 9,5 kg.
30. Vee sees on 0,9 osa, vee peal 0,1 osa.
31. 30 t.
33. 2 m^3.
34. 36 kg.
36. On tarvis umbes 16 ujukit; julgeolekuks võetakse kaasa 25.
37. 12,9 kg.
38. 120 g.
39. 1200 kg.
40. Suudab.
42. 2952 kg.
43. 8160 kg.

IV peatükk.

1. 20 m/sek.
2. 400 m/sek.
3. 200 sek.
4. 75 sek.
5. 5,5 tundi.
6. 300 km.
7. 6 sek. võrra.
8. 50 tunni jooksul.

V peatükk.

1. 1000 kgm.
2. 150 kgm.
3. 12 000 kgm.
4. 500 kgm.
5. 2,4 m.
6. 1 m/sek.
7. 5 m.
8. 66,7 HJ.
9. 100 HJ.
10. 3 600 000 kgm.
11. 900 kg.
12. 75,5 kgm/sek.
13. 750 kgm.
14. 5,6 tundi.
15. Ei.
16. 50 kg; 25 kg; 50 kg.
17. 10-kordne.
18. Ratta läbimõõt peab olema võlli läbimõõdust 10 korda suurem.
19. 60 kgm; 3 kg.
20. 40 kg.
21. Väiksemat.
23. 100 000 kgm.
24. 12,5 kg.
25. 67,5 cm.
26. 8-kilogrammisest jõust 20 cm kaugusel.
27. 15 g.

Soojus.

I peatükk.

3. Metall tõmbub jahtumisel kokku.
5. Vesi paisub rohkem kui teekannu materjal.
8. Ribad paisuvad ebavõrdselt.

III peatükk.

1. 5 kcal.
2. 10 kcal.
3. 50 cal.
4. 4 kcal.
5. 12,5 kcal.
6. 100 g.
7. 1 kcal.
8. 6 kcal.
9. 30°.
10. 10 m. cal.
11. $m(t_2-t_1)$ cal.
12. 10 kcal.
13. 15 cal.
14. 10 000 kcal.
15. 47,5 kcal.
16. 3 000 000 kcal.
17. 125 l.
18. 31°.
19. 3 l.
20. 27,5°.
21. 80 000 kcal.
22. 3 kg.
23. 31 500 kcal.
24. ~ 2,9 kcal.
25. Kuni 56°.
26. 40%.
27. ~ 77 g.
30. 90 t.
31. 4,95 kcal.
32. 112,8 kcal.
33. Petrooleum.

34. ~ 87,4 kcal.
36. 18 000 kcal.
37. 89,3 kcal.
38. ~ 409 kcal.
39. 5,64°.
40. 86,6°.
41. 741,15 kcal.
42. 283 kg.
43. ~ 38%.

IV peatükk.

3. 10 000 kcal.
4. 2,5 kg.
5. 1250 kg.
6. Umbes 227 korda.
7. Umbes 200 000 kcal.
10. 115 g.
17. 80,85 kcal.
18. 3195 kcal.
19. 639 kcal.
20. Umbes 160 g.
21. 533 cal.
22. 140,6 g.
23. 16 kg.

VI peatükk.

1. 4270 kgm.
3. ~ 632 kcal.
4. ~ 21%.
5. ~ 12%.
6. Umbes 372 000 kcal.
7. ~ 0,5%, ~ 2,25%, ~18%.
8. Umbes 1156 t.

Sisukord.

Lk.

Sissejuhatus 3

Mehaanika elemente.

I peatükk.

Lihtsaimad mõõtmised.

1. Vaatlus ja katse . . . 7
2. Mõõtmised 8
3. Mõõdupuu 9
4. Mõõtlint 10
5. Pikkuse mõõtmise vead 10
6. Laboratoorne töö nr. 1 11
7. Teatmeid mõõtude ajaloost 12
8. Ruumalade mõõtmine . 14
9. Laboratoorne töö nr. 2 15
10. Keha kaal 16
11. Kaalu meetermõõdustik 17
12. Kaalud 18
13. Väiksemad kaaluvihid 19
14. Kaalude liigid 20
15. Kaalumise reeglid . . 20
16. Laboratoorne töö nr. 3 21
17. Erikaal 21
18. Laboratoorne töö nr. 4 23
19. Erikaalude tabel . . . 23
20. Kuidas keha ruumala ja aine erikaalu järgi määrata keha kaalu . 24
21. Kuidas keha kaalu ja selle erikaalu järgi määrata ruumala . . 25
22. Milliseid mõõte kasutada ülesannete lahendamisel 27
23. Vertikaalsiht 27
24. Horisontaalsiht . . . 28
Ülesandeid 30

II peatükk.

Tahked kehad.

Lk.

25. Tahke keha põhiomadused 32
26. Tahke keha kuju muutumine 32
27. Elastsus 33
28. Jääv deformatsioon . 34
29. Jõud ja selle mõõtmine 34
30. Jõu mõõtmine dünamomeetriga 36
31. Vedru gradueerimine . 36
32. Jõu graafiline kujutamine 38
33. Rõhk 39
34. Linttraktor 41
35. Tank 43
36. Jagatavus 43
Ülesandeid 44

III peatükk.

Vedelikud ja gaasid.

37. Rõhu edasiandumine vedelikkudes ja gaasides 46
38. Ühendatud anumad . . 47
39. Veenäitajad 48
40. Lüüsid 49
41. Veevärgi ehitus . . . 52
42. Kanalisatsioon . . . 53
43. Vedeliku osakeste vaheline külgetõmme . . . 55
44. Märgavad ja mittemärgavad vedelikud . . . 55
45. Kapillaartorud . . . 56

Lk.

46. Vedeliku rõhumine anuma põhjale ja seintele 58
47. Manomeetrid 59
48. Rõhumine vedeliku sees 60
49. Vedeliku rõhu arvestamine 62
50. Tuukri ülikond . . . 63
51. Gaaside kaal 66
52. Atmosfääri rõhk . . . 66
53. Kuidas töötab veepump 68
54. Atmosfääri rõhumise suurus 69
55. Baromeeter 72
56. Aneroid 73
57. Atmosfäärirõhk mitmesugustel kõrgustel . . 75
58. Gaasi ruumala ja rõhumine 76
59. Õhutihenduspump . . 77
60. Õhuhõrenduspump . . 79
61. Pumba kasutamine tehnikas 79
62. Gaasi elastsus 80
63. Pidur 80
64. Vedeliku ja gaasi rõhumine neisse asetatud kehadele 82
65. Archimedese seadus . 83
66. Kehade ujumine . . . 85
67. Allveelaev 86
68. Uppunud laevade ülestõstmine 88
69. Õhuasjandus 90
70. Nõukogude stratostaadid 93
Ülesandeid 94

IV peatükk.

Liikumine ja jõud.

71. Mehaanilised liikumised 99
72. Sirg- ja kõverjooneline liikumine 100
73. Ühtlane liikumine . . 100
74. Ühtlase liikumise kiirus 100
75. Inerts 102
76. Jõu mõju kehale . . 104
77. Hõõrdumine 105
78. Hõõrdumisjõud . . . 106

Lk.

79. Laboratoorne töö nr. 5 106
80. Hõõrdumine tehnikas . 107
81. Kuullaager 108
Ülesandeid 109

V peatükk.

Töö ja energia.

82. Töö 111
83. Võimsus 113
84. Liikumatu plokk . . . 114
85. Liikuv plokk 115
86. Polüspast 117
87. Kang 119
88. Kangi tasakaalu tingimused 121
89. Kas kangi kasutamisel võidame töös 123
90. Kangide näiteid tehnikas ja igapäevases elus 124
91. Pöör 126
92. Mehaanika põhireegel 127
93. Kaldpind 128
94. Kasutegur 129
95. Energia 130
96. Energia jäävuse ja muundumise seadus . . 131
97. Igavene jõumasin . . 133
Ülesandeid 134

VI peatükk.

Algteadmisi häälest.

98. Hääle tekkimine . . . 137
99. Tooni kõrgus 138
100. Hääle levimine . . . 139
101. Hääle levimise kiirus . 140
102. Hääle peegeldumine. Kaja 142

Soojus.

I peatükk.

Kehade paisumisest soojenemisel.

103. Sissejuhatus 144
104. Õhu paisumine soojenemisel 145

Lk.

105. Vedeliku paisumine soojenemisel 146
106. Laboratoorne töö nr. 1 146
107. Tahkete kehade paisumine soojenemisel . . 147
108. Temperatuur 149
109. Termomeetri ehitus . 150
110. Meditsiiniline termomeeter 152
111. Kehade soojuspaisumise arvestamine tehnikas . 153
Ülesandeid 155

II peatükk.

Soojuse edasiandmine.

112. Konvektsioon 157
113. Millest tekib tõmbus . 158
114. Vesikeskküte 158
115. Kuidas tekib tuul . . 160
116. Vee soojuspaisumise iseärasus 161
117. Soojusejuhtivus . . . 161
118. Kaevanduselamp . . . 164
119. Soojuse isolatsiooni näiteid ehitiste juures . 165
120. Termospudel 167
121. Kiirgamine 168
Ülesandeid 170

III peatükk.

Soojuse mõõtmine.

122. Soojushulga ühikud . . 172
123. Kütuse küttevääртus . 173
124. Laboratoorne töö nr. 2 175
125. Soojusekasutus . . . 175
126. Soojusmahtuvus . . . 176
127. Tahkete kehade soojusmahtuvuse määramine 178
128. Laboratoorne töö nr. 3. 179
129. Kuidas arvestada soojushulka, mis on vajalik keha soojendamiseks 179
Ülesandeid 179

IV peatükk.

Aine oleku muutumine.

130. Aine üleminek ühest olekust teise 183

Lk.

131. Sulamine ja tahkumine 183
132. Laboratoorne töö nr. 4 185
133. Sulamid 186
134. Sulamissoojus 187
135. Laboratoorne töö nr. 5 188
136. Soojuse eraldumine tahkumisel 190
137. Ruumala muutumine sulamisel ja tahkumisel 190
138. Keemine 191
139. Auru kondenseerumine 193
140. Laboratoorne töö nr. 6 195
141. Aurumine 196
142. Keemispunkti olenevus rõhust 197
Ülesandeid 200

V peatükk.

Molekulaar-kineetilise teooria põhialused.

143. Molekulid 202
144. Molekulide-vaheline külgetõmme 203
145. Molekulide liikumine . 204
146. Brown'i liikumine . . 205
147. Aine kolm olekut . . . 206

VI peatükk.

Mehaanilise energia muundumine soojuseks ja soojuse muundumine tööks.

148. Töö ja soojus 209
149. Soojuse olemus . . . 210
150. Soojuse mehaaniline ekvivalent 211
151. Joule'i (džauli) katse 212
152. Töö termiline ekvivalent 213
153. Energia jäävuse ja muunduvuse seadus . . 214
154. M. V. Lomonossov . . 214
Ülesandeid 216

VII peatükk.

Soojusjõumasinad.

Lk.

155. Gaasi rõhumine . . . 217
156. Katlad 217
157. Katla armatuur . . . 221
158. I. I. Polzunovi masin . 222
159. Watt'i masin 223
160. Automaatne aurujagamine 225
161. Sirgjoonelise liikumise muundamine pöörlevaks liikumiseks . . . 226
162. Auruturbiinid 227
163. Laval'i turbiin 227
164. Sisepõlemismootorid . 228
165. Neljataktilise mootori skeem 228
166. Jaotusmehhanism . . 231
167. Diiselmootor 231

Vastuseid harjutustele ja küsimustele 233

Vastuseid ülesandeile . 234

Tõlkinud A. Ilves.

Vastutav toimetaja A. Emmo.

Keeleline toimetaja J. Pedari.

Ladumisele antud 13. XII 1948. Trükkimisele antud 3. II 1949. Trükiarv 17 000. Paber 56×79, 1/16. Trükipoognaid 15. Trükitähti trükipoognas 35 723. Arvutuspoognaid 13,4. MB-01076. Trükikoda „Noor-Eesti", Tartu, Kastani 38. Tellimise nr. 1444.

На эстонском языке.

Г. И. Фалеев и А. В. Перышкин. Физика. I часть. Для VI класса.

Õiendus.

	On trükitud	Peab olema
Lk. 84, rida 5 ül.	väljatõrejõud	väljatõrjejõud

Märkus. Viga esineb trükikoja süü tõttu.

Rbl. 5.70

A
17567
..3271535

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00327153 5