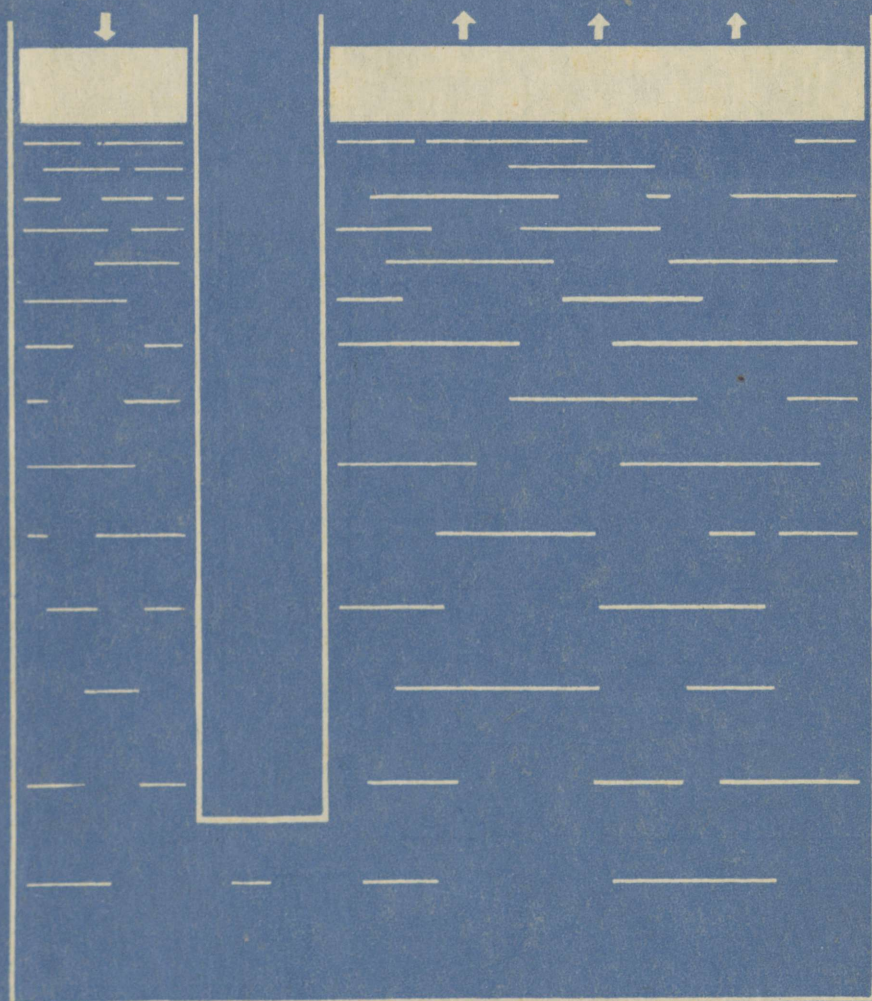
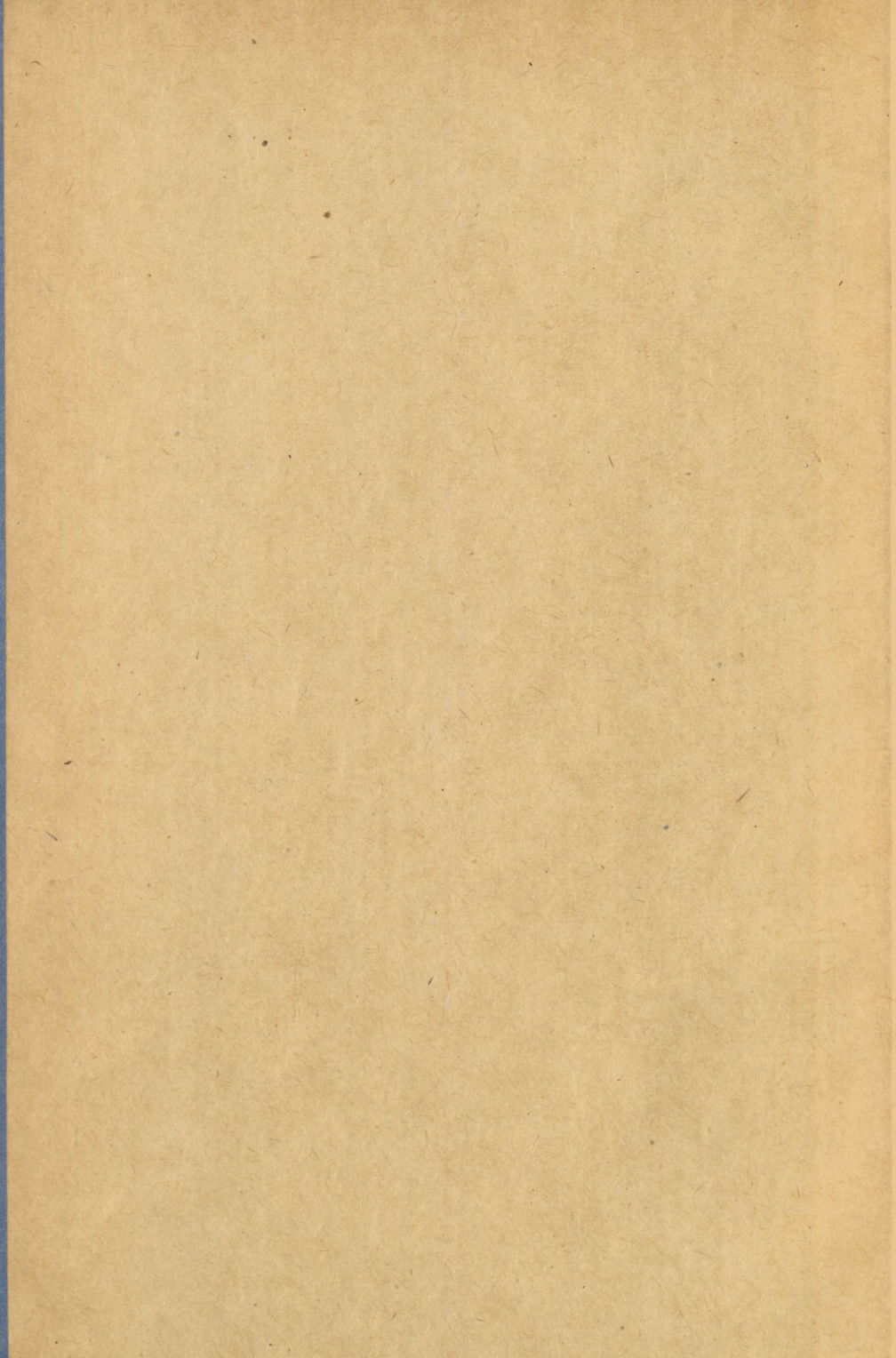


A.EMMO, A.KÕOVERJALG, V.PAJU, R.SIIRAK

FÜÜSIKA

VI KLASSILE





A-23347 II

A. EMMO, A. KÕVERJALG, V. PAJU, R. SIIRAK

FÜÜSIKA

VI KLASSILE

*Kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt
katseõpikuks üldhariduslikele koolidele*

87912

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1961

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
51973

FÜÜSIKA AINE

Me elame kommunismi ehitamise helgel ajastul. Iga päevaga ehitatakse üha rohkem uusi tehaseid ja maju, luuakse uusi masinaid, kootakse ikka rohkem kangaid, õmmeldakse ikka rohkem rõivaid ja saadakse paremaid viljasaake. Iga päevaga väheneb raske, käsitsi tehtav töö. Seda tööd teevad nüüd inimeste asemel masinad. Töölised ainult juhivad ja kontrollivad neid masinaid.

Masinate loomiseks, nende töö juhtimiseks ja kontrollimiseks tuleb aga tundma õppida kõiki neid põhilisi seaduspärasusi, mille alusel on loodud tänapäeva tööstuses, põllumajanduses, transpordis ja koduses majapidamises kasutatavad masinad.

Kõike seda hakkame õppima füüsika tundides. Mis on siis füüsika? Mida ta käsitleb?

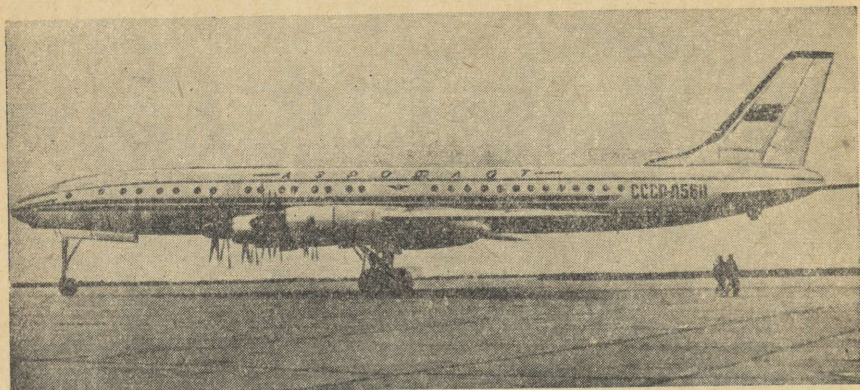
Füüsika on teadus, mis uurib meid ümbritsevaid kehi ja nendega toimuvaid nähtusi.

Me tunneme palju meid ümbritsevaid kehi. Toas on laud, laual raamat, laua ääres tool. Kõiki neid kehi nimetatakse füüsilisteks kehadeks. Füüsilised kehad võivad olla kas looduslikud või inimeste poolt valmistatud. Kuid ka inimeste poolt valmistatud kehad on tehtud mõnest looduslikust kehast või looduslikest ainetest. Nii näiteks on laud ja tool valmistatud puust, tellis aga savist ja liivast.

Vaadeldes mitmesuguseid füüsilisi kehi võime tähele panna, et osa neist on tahked, osa vedelad. Peale nende esineb aga looduses veel gaase.

Tuntumaks vedelikuks on vesi. Vedelik on ka bensiin, nafta. Kindlat kuju vedelikel pole, nad võtavad selle nõu kuju, milles nad asuvad.

Kõige tuttavamaks gaasiks on õhk. Õhk on tegelikult mitme gaasi segu. Põhiliselt koosneb ta kahest gaasist — lämmastikust ja hapnikust. Laialt kasutatakse gaase tööstuses, näiteks limonaadi valmistamisel, keevitamisel jne. Kergete gaasidega täidetakse õhupalle jne.



Joon. 1. Reaktiivreisilennuk Tu-114.

Meid ümbritsevad füüsilised kehad ei püsi muutusteta. Talvel tuppaa toodud jäätükk muutub veeks. Kivi kuumeneb päikese käes jne. Muutumise all me mõistame füüsikas aga ka keha asukoha muutumist. Lõpetanud õppimise, tõuseme laua tagant. Selleks me liigutame oma tooli. Tooli asend selle tagajärjel muutub. Keha asukoha muutumist nimetataksegi liikumiseks. Igapäevases elus kohtume liikumisnähtustega sageli. Nii näiteks liiguvad autod, rongid, lennukid jne. Vaadeldes nende kehade liikumist näeme, et nende liikumises on erinevusi. Erinevused seisnevad kõigepealt selles, et mõned neist liiguvad kiiremini, mõned aeglasemalt. Reaktiivreisilennuk Tu-114 lendab näiteks Moskvast Vladivostokki umbes 8 tunniga, rongil kulub selleks aga 8 ööpäeva. Kuid ka selle lennuki kiirus osutub väikeseks, kui tahetakse lennata Maalt Kuule. Siin tuleb kasutusele võtta rakett. Meie maalt väljalastud teine kosmoserakett jõudis Maalt Kuule kahe päevaga. Kui lennuk lendaks igas tunnis 1000 km, siis kuluks tal Maalt Kuule jõudmiseks 15 päeva!

Nagu nägime, võivad kehade muutused olla väga mitmesugused. Kui teeme ahju tule, siis läheb ahi soojaks ja sellega koos ka tuba. Millest see tuli? Suvel esineb sageli äikest. Näeme värku ja kuuleme müristamist. Alati kuuleme müristamist pärast värku. Müristamine on kord lühike, kord pikk ja mitmeastmeline. Miks ei ole müristamine alati ühesugune? Kuidas müristamine üldse toimub? Miks esineb äikest tavaliselt suvel ja ainult harukordselt talvel? Küsimusi on palju. Vastuse nendele küsimustele saame füüsika õppimise käigus.

Eespool kirjeldasime mõnda muutust, mis esinevad füüsiliste kehadega. Muutused on omased kõikidele kehadele ja nad on sageli väga keerulised.

Füüsilliste kehadega toimuvaid muutusi nimetatakse nähtusteks.

Vee voolamine, vee auramine, auto sõitmine, linnu lendamine jne. on füüsikalised nähtused. Mõned füüsikalised nähtused toimuvad ilma inimese osavõtuta. Sellisteks nähtusteks on päikesetõus, vihma sadu, virmalised jne. Mõned nähtused tekitab aga inimene ise. Näitena märgime toa soojendamise ja kosmose-raketi väljalaskmise.

Mitte kõik meid ümbritsevad nähtused pole füüsikalised. Taimede kasvamine on näiteks bioloogiline nähtus, raua roostetamine aga keemiline nähtus. Rõõmustamine hea hinde üle on psüühiline nähtus jne.

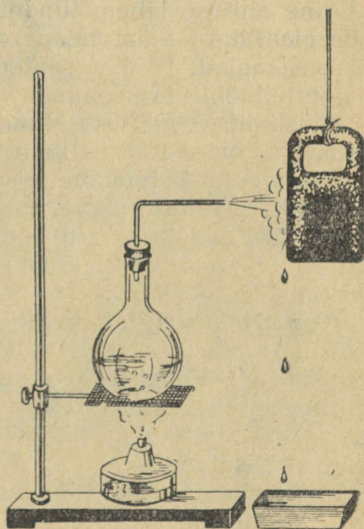
Füüsika uurib füüsikalisi nähtusi.

Füüsikaliste nähtuste uurimine võib toimuda mitmel viisil. Mõnikord aitab juba nähtuse vaatlemisest. Tavaliselt tuleb aga koos vaatlemisega ka mõõta. Näiteks ei ole alati võimalik ainult vaatlemise teel teha kindlaks, kumb kahest liikuvast kehast liigub kiiremini. Siin tuleb mõõta nii aega kui tee pikkust.

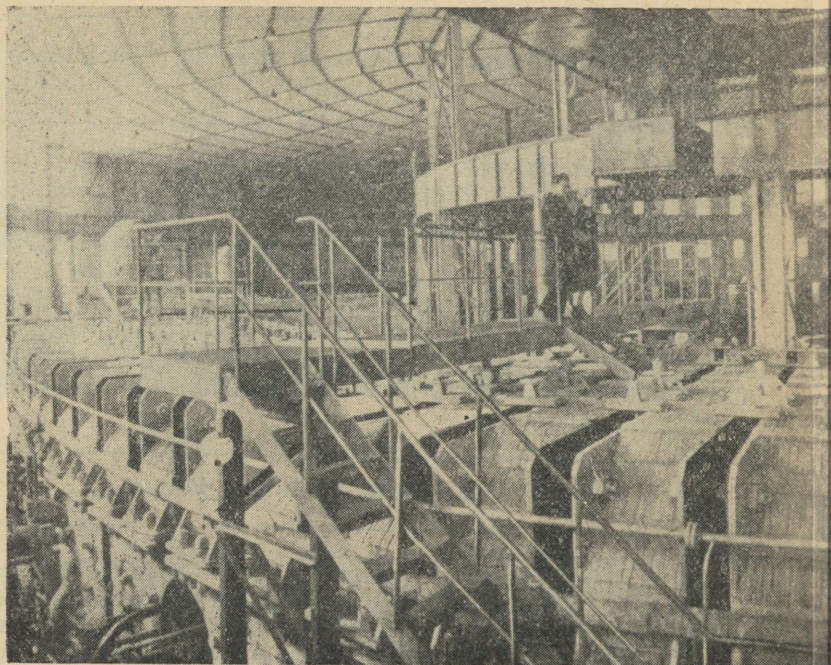
Sageli ei esine nähtus aga meile vajalikul ajal või on nii keeruline, et vaatlusest üksi ei piisa tema uurimiseks. Siis tekitame ise selle nähtuse — teeme katsed.

Katseid tehakse katseriistade abil. Mõnikord on katsed nii lihtsad, et neid võib edukalt teha kodus. On aga katseid, mille tegemiseks läheb tarvis keerukaid laboratooriume. Ka katsete juures tuleb paljusid suursi mõõta.

Füüsilliste kehadega toimuvaid nähtusi uuritakse selleks, et neid kasutada igapäevases elus. Näiteks vee auruks muutumine ning auru omaduste uurimine võimaldas ehitada aurumasina ning kasutada seda energia allikana tööstuses ja transpordis.



Joon. 2. Lihtne katse, millega me kutsume esile vee kiire aurustumise ja samuti selle auru veeldumise.



Joon. 3. Keeruline aparatuur aine ehituse uurimiseks

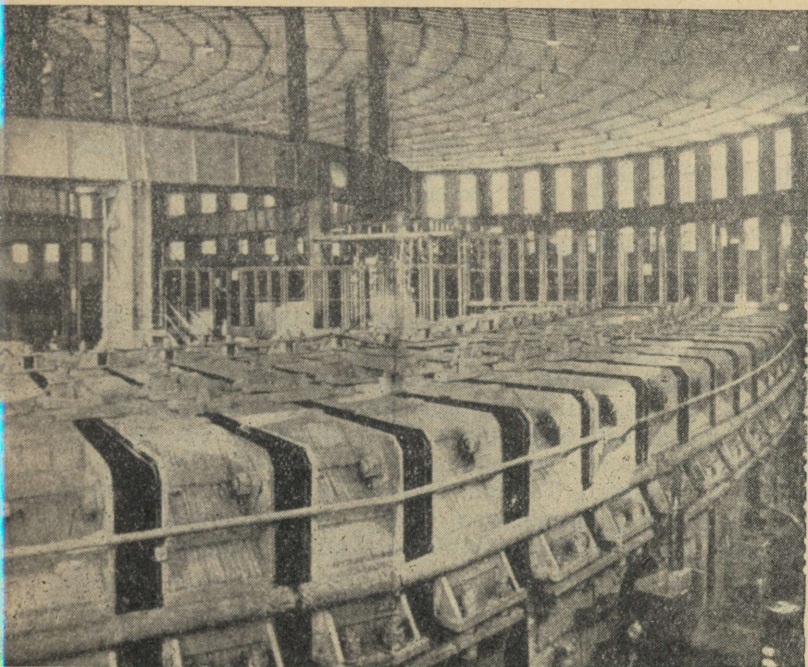
Aine ehituse lähem tundmaõppimine aga andis maailmale uue energiaallika — aatomienergia. Juba töötavad esimesed aatomi-elektrijaamad. 1959. a. septembris läks oma esimesele reisile meie aatomijäälõhkuja «Lenin».

Füüsikaliste nähtuste tundmaõppimine ja nende rakendamine praktikas on seotud paljude teadlaste aastatepikkuse tööga.

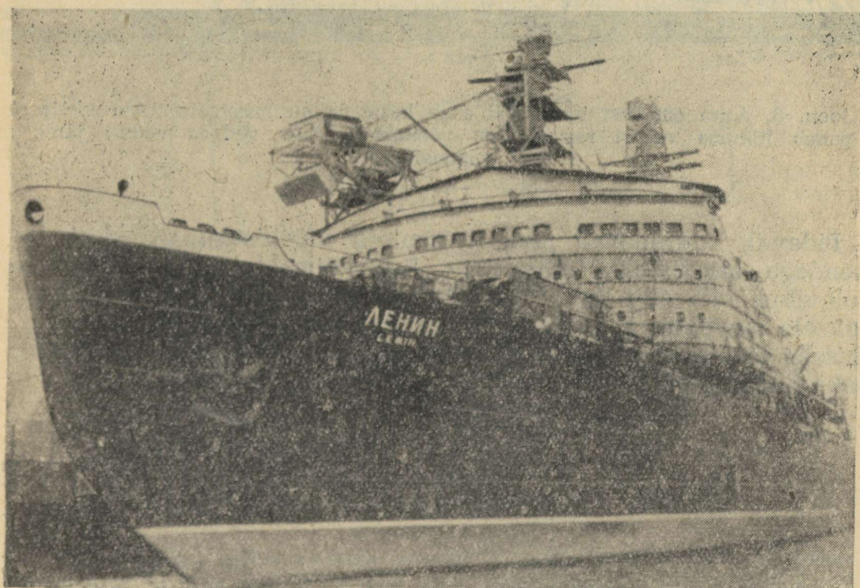
Nii näiteks kulutas vene soojustehnik Ivan Polzunov kogu oma elu tööstuses kasutatava aurumasina ehitamiseks. Ta ise ei jõudnudki ära oodata oma masina käikulaskmist, sest raske töö hävitas ta tervise ning leidur suri mõni päev enne masina käikulaskmist.

Aurumasina ehitamisega tegeldi aga ka juba enne Polzunovi. Polzunov kasutas oma masina loomisel ära eelmiste teadlaste kogemused. Eelmiste kogemusi kasutasid ka need, kes tegelesid aurumasinaga hiljem. Nii jõutigi järk-järgult paljude teadlaste ühise töö tulemusena lõpuks sellise aurumasinani, mida me tänapäeval kasutame.

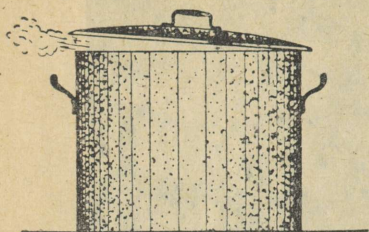
Mitte ainult aurumasinaga seotud küsimused pole paljude teadlaste ühine töö. Võib öelda, et kõik see, mida me füüsika tundi-



aparatuur võtab enda alla terve hoone.



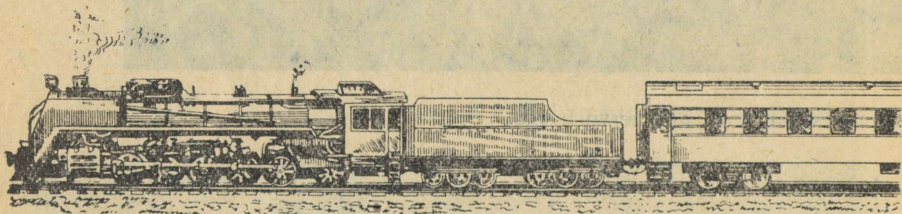
Жоон. 4. Аатомияälöhкуја «Lenin».



Joon. 5. Aur võib teha tööd. Vesi, mis muutub keedupotis auruks, koguneb kaane alla ning tõstab lõpuks kaane üles. Aur tuleb kaane alt välja ning kaas langeb uuesti tagasi.

des õppima hakkame, on kindlaks tehtud järk-järgult mitte ühe, vaid paljude eri maade teadlaste poolt.

Tähelepanuväärse osa teaduse varasalve on andnud nõukogude teadlased. Ei ole sellist küsimust, mille uurimise ja lahendamisega meie teadlased ei tegeleks. Eriti silmapaistvat edu on meie teadlased saavutanud aatomienergia uurimisel. Meie teadlaste Kurtšatovi, Ivanenko, Tamme, Skobeltsõni, Veksleri ja teiste töö tulemusena ehitatigi meie maal esimesena maailmas aatomi-elektrijaam, lasti vette aatomijäälohkuja «Lenin» jne.



Joon. 6. Auru omadust teha tööd saab kasutada aurumasinates. Aurumasin paneb liikuma veduri rattad ning võimaldab seega vedada veduri järel vaguneid.

Pidevalt suurenevad meie teadmised füüsilistest kehadest ja nendega toimuvatest nähtustest. See võimaldab juba lähemas tulevikus viia ellu ka kõige julgemad unistused — sõita Maalt teistele taevakehadele. Selle ja paljude teiste küsimuste lahendamiseks on aga vaja suurte teadmistega inimesi. Teadmiste saamiseks tuleb aga õppida ja õppida.

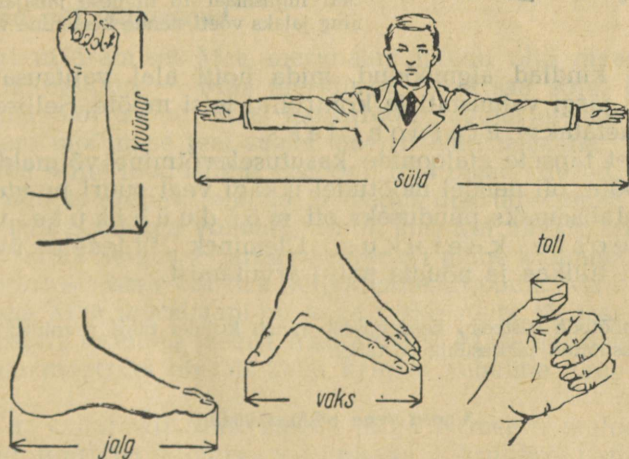
I PEATÜKK

LIHTSAMAD MÕÕTMISED

1. Andmeid mõõtmise ajaloost. Mõõtmist kasutasid meie esivanemad juba kauges minevikus. Ehitades endale elamut, varudes toiduaineid, valmistades tööriistu ja rõivaid, tuli nendel kokku puutuda mitmesuguste mõõtmistega.

Esimesteks pikkusmõõdu ühikuteks olid kas inimese kehaosade (käte, jalgade, sõrmede) mõõtmised või mitmesuguste liigutuste ulatus.

Nii näiteks mõõdeti põllutüki pikkust sammudega, kanga või nõõri pikkust küünardega (sõrmenükkide ja küünarnuki vaheline kaugus), elamu või aia pikkust süldadega (käte siru-ulatus). Paljud rahvad kasutasid pikkusühikuna inimese labajala keskmist pikkust. Seda ühikut nimetati jalaks. Väiksemate pikkuste mõõtmiseks kasutati vaksu (pöidla ja keskmise sõrme otsa vaheline kaugus). Veel väiksemaks pikkusühikuks olid toll¹ (inimese pöidla esimese lüli pikkus).



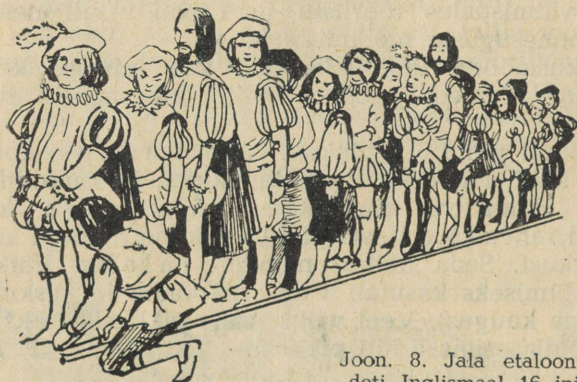
Joon. 7. Vanad pikkusmõõdud.

¹ 1324. a. määras inglise kuningas Edward III tolliks kolme üksteise otsa asetatud odratera pikkuse, kusjuures need terad pidid olema võetud odrapea keskosast.

Selliste mõõduühikute kasutamine oli mugav, sest inimene kandis neid alati endaga kaasas.

Ka vanad pindala, ruumala, kaalu ja teiste suuruste mõõduühikud olid võetud kas loodusest või oli nende aluseks inimese töö. Nii näiteks mõõdeti põllu pindala selle järgi, kui palju aega kulus selle kündmiseks või kui palju tuli sellele külvata vilja. Põllutüki pindala, mille seemendamiseks kulus 1 vakk vilja, nimetati näiteks vakamaaks.

Selliste mõõduühikute abil sai muidugi ainult väga jämedalt mõõta, sest ühikud ise ei olnud kuigi täpselt määratud, kuna erinevate inimeste sammu pikkus, käte siru-ulatus või labajala pikkus ei ole ühesugused. Seepärast püüti mõõduühikuid täpsustada.



Joon. 8. Jala etalooni valmistamiseks mõõdeti Inglismaal 16 inimese labajala pikkused ning jalaks võeti nende keskmine väärtus.

Valmistati kindlad algmõõdud, mida hoiti alal valitsusasutistes ning mille järgi valmistati ja kontrolliti teisi mõõte. Selliseid algmõõte nimetatakse **etaloonideks**.

Olgugi et täpsete etaloonide kasutuselevõtmine võimaldas täpseni mõõta, oli nendel mõõtudel ikkagi veel suuri puudusi.

Üheks olulisemaks puuduseks oli **mõõduühikute vaheliste seoste keerukus**. Üleminek ühtedelt ühikutelt teistele oli tülikas ja nõudis palju arutamist.

Vanade mõõtude süsteemi keerukusest annab kujuka pildi revolutsiooneelisel Venemaal kasutatud pikkusühikute tabel.

Vanad vene pikkusmõõdud

1 miil	= 7 versta	1 arssin	= 16 verssokit = 28 tolli
1 verst	= 500 sülda	1 jalg	= 12 tolli
1 süld	= 3 arssinat	1 toll	= 10 liini

Veelgi keerukam on Inglismaal kuni tänapäevani kasutatav mõõtude süsteem, mis sisaldab 17 mitmesugust pikkusmõõtu.

Vanadel mõttudel oli ka teine oluline puudus. Igas riigis, mõnikord aga ka ühe riigi erinevates piirkondades, kasutati erinevaid mõõte. Mõõduühiku nimi oli küll sageli sama, kuid nende suurus oli erinev.

Vanadest vene mõõtude käsiraamatutest võib näiteks leida 180 erineva pikkusega jalga, 46 erineva pikkusega miili ja 120 erineva kaaluga naela. Ka sellisel väikesel maa-alal, nagu seda on Eesti, kasutati ühe ja sama nimetuse all mitmesuguseid mõõte.¹

Mida enam arenes kaubavahetus rahvaste vahel, seda tülikamaks muutus selline mõõduühikute üliküllus. Tekkis vajadus ühtse rahvusvahelise mõõtude süsteemi järele.

18. sajandi lõpul, Prantsuse revolutsiooni ajal, võttis Prantsuse rahvuskogu vastu otsuse üleminekuks uuele mõõtude süsteemile. Prantsuse Teaduste Akadeemia komisjon, kellele usaldati uute mõõtude loomine, tegi ettepaneku võtta pikkusühikuks üks neljakümmemiljondik Pariisi läbiva Maa meridiaani pikkusest. Seda pikkusühikut otsustati nimetada meetriks.² Meetri etalooni valmistamiseks mõõdeti suure täpsusega meridiaani kaar, mille suurus oli ligikaudu $9^{\circ}40'$. Nende mõõtmiste tulemusena valmistati 1799. a. meetri esimene etaloon, mida praegu nimetatakse arhiivmeetriks.

Uute mõõtude loomise lõppeesmärgiks oli nende kehtestamine üle kogu maailma. Meetermõõdustiku loomine toimus loosungi all «Igaveseks ajaks kõikidele rahvastele».

Arvutuste hõlbustamiseks otsustati kõik teised pikkusühikud luua nii, et nad oleksid meetrist 10, 100, 1000, 10 000 jne. korda suuremad või väiksemad.

Meetri määramisel Maa meridiaani kaudu olid omad eelised. Looduslik etaloon — Maa meridiaan — ei saa sõja, tulekahju, maavärina või mõne muu katastroofi tagajärjel hävida. Maa meridiaani mõõtmise teel saaks meetrit alati taastada.

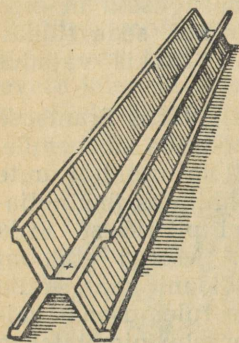
Kuid ka sellel looduslikul etaloonil olid omad suured puudused. Nimelt nõudis arenev tehnika ja teadus üha täpsemaid mõõtmisi. Täpselt mõõta on aga võimalik ainult siis, kui mõõduühik on täpselt määratud. Selgus, et arhiivmeeter oli mõne kümnendiku milli-meetri võrra lühem kui üks neljakümmemiljondik Maa meridiaanist. Kuna Maa meridiaani on väga raske suure täpsusega mõõta, siis otsustati loobuda meetri määramisest Maa meridiaani kaudu ja lugeda meetriks lihtsalt kahe kriipsu vaheline kaugus arhiiv-meetritel.

1889. a. valmistati arhiivmeetri järgi 34 meetri etalooni. Need etaloonid tehti paindumise vältimiseks X-kujulise ristlõikega ja valmistati väga kõvast ning ilmastikule vastupidavast materjalist

¹ Näiteks Lõuna-Eestis kasutati põllu pindala mõõtmiseks riia vakamaad (0,37 hektarit), Põhja-Eestis aga tallinna vakamaad (0,18 hektarit).

² Meeter tuleneb kreekaakeelsest sõnast *metron*, mis tähendab mõõt.

(plaatina ja iriidiumi sulamist). Meeter märgiti etaloonidel kahe peenikese kriipsuga. Üks etaloonidest, mille pikkus kõige paremini ühtis arhiivmeetri omaga, võeti arhiivmeetri asemel rahvusvaheliseks algmeetriks. Teised etaloonid loositi mitmesuguste maailma maade vahel välja. Algmeeter oli kõikide pikkusmõõtude kontrollimise aluseks.



Joon. 9. Algmeeter.

Seega

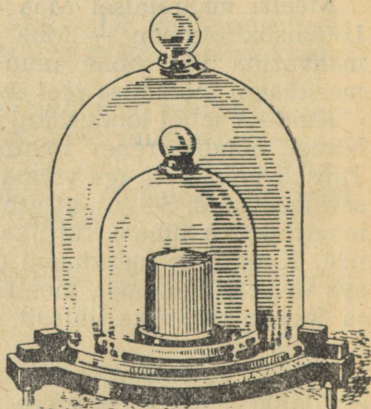
meeter on rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe paralleelse kriipsu vaheline kaugus.

Üheaegselt meetriga võeti kasutusele ka uus kaaluühik kilogramm.

Kilogramm on Rahvusvahelises Mõõtude ja Kaalude Büros alalhoitava vihi — algkilogrammi kaal.

Rahvusvahelise algkilogrammi suurus valiti selliselt, et 1 liiter ehk 1 dm³ puhast vett temperatuuril 4° C kaaluks 1 kg.¹

2. Pikkusühikud. Kõikide pikkuste väljendamine meetrites ei ole mugav. Väljendades näiteks Päikese ja Maa vahelise kauguse meetrites (149 500 000 000 m), saame liiga suure arvu, mida on tülikas lugeda ja kirjutada. Sellise suure kauguse väljendamiseks on meeter liiga väike mõõduühik. Traadi jämeduse või pleki paksuse mõõtmiseks on aga meeter liiga suur mõõduühik.



Joon. 10. Alkilogramm.

¹ 1 liiter ei võrdu päris täpselt 1 dm³ga, vaid on 1,000028 dm³. Kuna liitri ja kuupdetsimeetri vaheline erinevus on väga väike, siis praktiliselt võime neid siiski võrdseteks lugeda.

Sõltuvalt mõõdetava eseme suurusest kasutatakse mitmesuguseid pikkuse mõõduühikuid. Kõige enam kasutatavamad pikkusühikud on järgmised:

- 1 kilomeeter (km) = 1000 meetrit (m);
- 1 m = 10 detsimeetrit (dm);
- 1 dm = 10 sentimeetrit (cm);
- 1 cm = 10 millimeetrit (mm);
- 1 mm = 1000 mikromeetrit (μm);
- 1 μm = 1000 nanomeetrit (nm).

Kreekakeelne eesliide *kilo* tähendab *tuhat*. Eesliited *detsi*, *senti* ja *milli* tulenevad ladinakeelsetest sõnadest *decem* — k ü m m e, *centum* — sada ja *mille* — tuhat. Eesliide *mikro* tuleneb kreekakeelsest sõnast *mikros*, mis tähendab väike.

Harjutus 1. 1. Mitu mikromeetrit on üks meeter? Mitu detsimeetrit on üks kilomeeter? Mitu nanomeetrit on üks sentimeeter?

2. Vanas Roomas kasutati pikkusühikuna miili, mis võrdus 1000 kaksik-sammuga (s. o. 2000 sammuga). Kui pikk oli vana rooma miil meetrites, kui sammu pikkuseks lugeda 80 cm? Võrdle saadud tulemust tänapäeva inglise mõõdustikus kasutatava miiliga (1 inglise miil = 1609 m).

3. Inimese vere igas kuupsentimeetris on 5 miljardit punast vereliblet. Kui pika keti võiks moodustada nendest verelibledest, kui iga vereliblet läbimõõt on 8 μm ?

4. Kulda võib pressida õhukeseks leheks, mille paksus on 0,1 μm . Mitu sellist kullalehte tuleks panna üksteise peale, et saada füüsika õpiku paksune kullakiht?

3. Mõõtmise täpsus. Mitmesugused mõõtmised võivad olla erineva täpsusega, kuid ükski mõõtmine ei ole absoluutselt täpne. Nii näiteks ei saaks me valmistada algmeetri järgi etalooni, mille pikkus ühtiks täpselt algmeetri pikkusega, ükskõik kui täiuslikud mõõtmisvahendid ja tööriistad meil käepärast ka ei oleks. Me võiksime valmistada küll väga täpse etalooni, kuid tema pikkus erineks algmeetri pikkusest ikkagi mõne kümnendiku või sajandiku mikromeetri võrra. Isegi tänapäeva ülitäpsed kellad ei määra aega absoluutselt õigesti, vaid teevad aasta jooksul vea 0,001 sekundit.

Mõõtmisveaks nimetatakse arvu, mis näitab, kui palju erineb mõõtmistulemus mõõdetava suuruse tegelikust väärtusest.

Mõõtmisviga on igasuguste mõõtmiste korral paratamatu. Tema olemasolu ei näita aga sugugi seda, et mõõtmine oleks korraldatud halvasti või valesti.

Oletame, et me kaalusime mingi keha, kusjuures kõige väiksemateks vihtideks olid ühegrammised vihid. Kaalumise tulemusena saime keha kaaluks 12 grammi. Hiljem kaaluti keha väga täpsete kaalude abil uuesti ja leiti, et tema kaal on 11,75 grammi. Seega tegime esialgsel kaalumisel mõõtmisvea suurusega 0,25 grammi.

Vaatleme teist näidet. Oletame, et terasvõlli läbimõõdu mõõtmisel mõõdujoonlauaga saime mõõtmistulemuseks 45 millimeetrit. Täpsemate mõõduriistadega kontrollimisel selgus, et võlli läbimõõt oli 45,57 millimeetrit. Seega antud juhul on mõõtmisviga 0,57 millimeetrit.

Mõõtes mingit suurst, ei saa me enamasti kindlaks määrata mõõtmisviga, kuid võime sageli öelda mõõtmisvea ülemmäära, s. o. arvu, millest mõõtmisviga on kindlasti väiksem. Kui me näiteks teame, et toa pikkuse mõõtmisel ei ole me eksinud üle ühe detsimeetri, siis ütleme, et mõõtmisvea ülemmäär on 1 dm. Kui palju me aga tegelikult eksisime, s. o. kui suur oli tegelik viga, seda me ei tea. Kindel on ainult see, et viga ei ületa ühte detsimeetrit.

Kui mõõdame toa temperatuuri ja oleme kindlad, et me ei eksi mõõtmisel üle poole kraadi, siis ütleme, et mõõtmisvea ülemmäär on 0,5 kraadi.

Selle asemel et öelda «toa pikkus on mõõdetud vea ülemmääraga 1 dm», öeldakse sageli lihtsalt «toa pikkus on mõõdetud ühe detsimeetrise täpsusega».

Mõõtmise täpsus sõltub kasutatavast mõõduriistast. Sentimeeterjaotistega mõõdulindi abil võime pikkusi mõõta sentimeetrise täpsusega. Mõõdujoonlaua abil võime aga mõõta millimeetrise täpsusega. Suurema mõõtmistäpsuse saavutamiseks kasutatakse pikkuste mõõtmisel nihkkaliibrit (joon. 24) või kruvikaliibrit (joon. 29).

Mõõtmise täpsus sõltub aga ka mõõtjast endast. Kui me ei pea silmas õigeid mõõtmisvõtteid, siis võime ka väga täpsete mõõduriistade abil teha lubamatult suuri mõõtmisvigu. Valede mõõtmisvõtete kasutamisest tingitud mõõtmisvigu tuleb aga alati vältida.

Selleks et saada täpsemat mõõtmistulemust, korraldatakse sageli mitu mõõtmist ja leitakse nende mõõtmistulemuste keskmine väärtus. See keskmine väärtus loetaksegi mõõtmise tulemuseks.

Kui me näiteks mõõtsime toa pikkust 5 korda ja saime mõõtmistulemusteks 418 cm, 424 cm, 417 cm, 420 cm ja 421 cm, siis toa pikkuse keskmine väärtus on

$$\frac{418 + 424 + 417 + 420 + 421}{5} = 420 \text{ cm.}$$

Harjutus 2. 1. Miks valmistatakse tehastes masinate osad väga täpselt ettenähtud mõõtmete järgi?

2. Miks tehakse mõõdujoonlauale, mõõdulindile ja teistele mõõduriistadele võimalikult peened mõõdukriipsud?

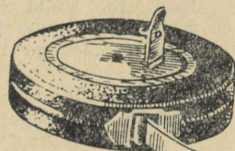
3. Taskukella vea ülemmäär on tehastest kaasaantud passi järgi 0,5 minutit ööpäeva kohta. Mitu minutit võib selline kell käia kuu aja jooksul ette või jääda maha?

4. Pikkuste ligikaudne määramine. Igapäevases elus on meil väga sageli vaja teada mingi eseme ligikaudset pikkust või mingit ligikaudset kaugust.

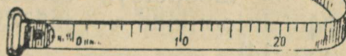
Kõige lihtsamaks pikkuste määramise viisiks on pikkuste hindamine silma järgi. Silma järgi tuleb kaugusi hinnata näiteks fotoaparaadiga pildistamisel, autojuhil värvavast läbisõitmisel või ümberpöörämiskoha valikul, lenduril maandumisel jne. Pikkuste hindamine silma järgi nõuab hoolikat harjutamist.

Mõnikord on eseme pikkust vaja teada täpsemalt, kui seda võimaldab silma järgi hindamine, kuid meil ei ole mõõdujoonlauda, mõõdusirkli või mõõdulinti käepärast. Neil juhtudel on kasulik teada oma kehaosade mõõtmeid või liigutuste ulatust (oma vaksa või sülla pikkust, sammu pikkust jne.).

5. Mõõdulint ja mõõdujoonlaud. Suuremate pikkuste täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse mõõdulinti. Mõõdulindid on valmistatud kas riidest või terasest. Selleks et neid oleks mugav endaga kaasas kanda, võib neid kerida väiksesse kaitsekarpi (joon. 11). Väiksemaid pikkusi mõõdetakse mõõdujoonlauaga.



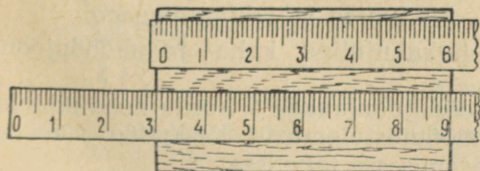
Joon. 11. Mõõdulint.



Täpsematel mõõdujoonlaudadel asub nullkriips mõõdujoonlaua otsast teatud kaugusel. Niisuguste mõõdujoonlaudadega mõõtmisel asetatakse mõõdujoonlaud mõõdetavale esemele nii, et nullkriips ühtib punktiga, kust algab mõõtmine (joon. 12).

Mõnedel mõõdujoonlaudadel ühtib nullkriips joonlaua otsaga. Kuna joonlaua ots võib olla rikutud, siis selliste joonlaudadega on parem mõõta nii, et mõõdetava eseme ots asuks ükskõik millise täissentimeetreid tähistava kriipsu kohal (joon. 12).

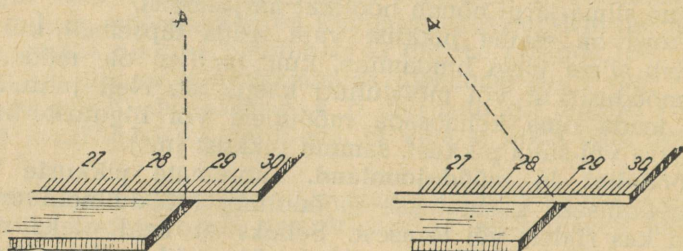
Mõõdujoonlual on tavaliselt kõige väiksemateks jaotusteks millimeetrid. Silma järgi on aga kerge lugeda ka pooli millimeet-



Joon. 12. Mõõtmine mõõdujoonlauaga.

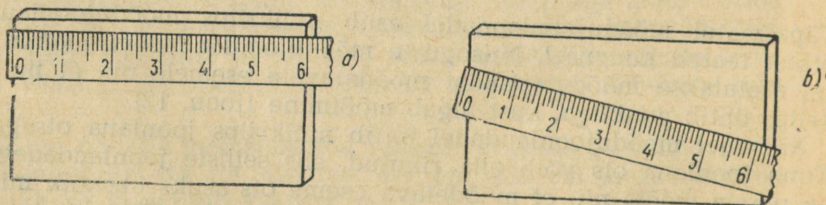
reid. Kui mõõdujoonlaua kriipsud on küllalt peened, siis võib vähese harjutamise järel hinnata silma järgi ka millimeetri küm-
 nendikke. Seejuures ei eksi me harilikult üle ühe või kahe küm-
 nendiku millimeetri.

Mõõdujoonlauaga mõõtmisel peab mõõdujoonlaud olema tihe-
 dalt vastu mõõdetavat eset ja vaatesuund peab olema mõõdu-
 joonlauaga risti (joon. 13).



Joon. 13. Silma õige ja ebaõige asend mõõdujoonlauaga mõõtmisel. Eseme pikkus on 29 cm. Kui vaatesuund ei ole mõõdujoonlauaga risti, siis saame vale mõõtmistulemuse — 28,9 cm.

Sageli on mõõdetava eseme äärjooneks kaks paralleelset joont. Mõõdujoonlaud või mõõdulint peab olema nende joontega risti (joon. 14).



Joon. 14. Mõõdujoonlaua õige (a) ja ebaõige (b) asend mõõtmisel.

6. Laboratoorne töö nr. 1. Mõõtmine mõõdujoonlauaga.

Töövahendid. Risttahukakujuline keha ja mõõdujoon-
 laud.

Töö käik. 1. Mõõda mõõdujoonlauaga 5 korda keha pikkus,
 laius ja kõrgus. Arvuta mõõtmistulemuste keskmine väärtus.
 Mõõtmistulemused kannu järgmisesse tabelisse.

Mõõtmistulemuste tabel

Mõõtmine	1	2	3	4	5	Keskmine väärtus
Risttahuka mõõtmised						
Pikkus						
Laius						
Kõrgus						

Harjutus 3. 1. Selleks et harjutada väiksemate pikkuste hindamist silma järgi, võta mõõdujoonlaud kätte nii, et joonlaua skaalaga külg ei oleks nähtav (joon. 15). Hinda silma järgi kaugus joonlaua otsast kuni pöidlani ja loe pärast seda joonlaua skaalalt selle kauguse tegelik väärtus. Arvuta mõõtmisviga. Korda mõõtmist 6 kuni 7 korda, valides iga kord mõõdujoonlaual erineva pikkusega lõigud. Mõõtmistulemused kannu järgmisesse tabelisse.

Tabel pikkuste hindamiseks silma järgi

Jrk. nr.	Pikkus hinnatuna silma järgi	Tegelik pikkus	Mõõtmisviga

2. Hinda silma järgi mitmesuguseid pikkusi toas (toa pikkus, laua pikkus, kaugus lauast seinani) ja mõõda need seejärel mõõdulindiga. Arvuta iga kord mõõtmisviga. Mõõtmistulemused kannu tabelisse.

3. Mõõdulindi asemel võib mõõtmisel kasutada ka nõõri, mille täismeetreid tähistavad sõlmed. Mõõtmisel sellise nõõriga hinnatakse meetri osad silma järgi. Valmista selline mõõdunõõr. Mõõda sellega koolimaja pikkus ja laius.

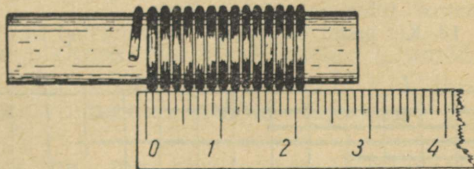
4. Määra oma sammu keskmine pikkus. Selleks aseta kinganina ette mingi märk (puuoks, kivi), käi rahuliku ühtlase käiguga 20–30 sammu ning märgi mingi esemega viimase sammu lõpp. Mõõda mõõdulindiga märkidevaheline kaugus ja arvuta oma sammu keskmine pikkus.

5. Mõõda sammudes mingi kaugus (koolimaja pikkus, telefonipostidevaheline kaugus, aia pikkus) ja väljenda mõõtmistulemus meetrites.

6. Mõõda kõigepealt oma vaksa pikkus ning leia siis koolipingi pikkus vaksades. Mõõtmistulemus väljenda detsimeetrites.

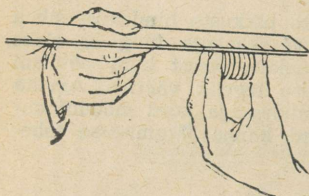


Joon. 15. Joonlaua hoidmine pikkuste hindamisel silma järgi.

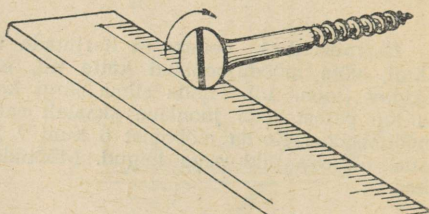


Joon. 16. Traadi jämeduse mõõtmine. Pliiatsile on mähitud 14 keerdu traati, mis võtavad enda alla 21 mm. Seega traadi jämedus on $21 : 14 = 1,5$ mm.

7. Kuna peenikese traadi jämedust on otseselt väga raske mõõta mõõdujoonlaua abil, siis kasutatakse selleks järgmist teed. Pliiatsi või mõne peene pulga ümber mähitakse mõnikümmend keerdu traati nii, et keerud oleksid tihedalt üksteise vastu (joon. 16). Mähitud pliiatsiosa pikkus mõõdetakse mõõdujoonlaua abil ja keerud loendatakse. Jagades mähitud pliiatsiosa pikkuse keerude arvuga, saamegi traadi jämeduse. Mõõda kirjeldatud viisil mõne traadi jämedus.



Joon. 17. Metallraha paksuse mõõtmine.



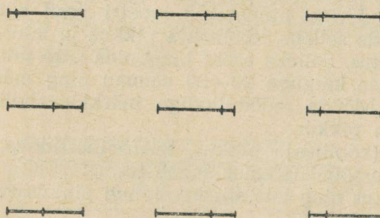
Joon. 18. Kruvipea ümbermõõdu mõõtmine.

8. Mõõda kümne- ja viiekopikase metallraha paksus. Selleks et saada täpsemat mõõtmistulemust, kasuta joonisel 17 kujutatud võtet.

9. Kuidas on võimalik mõõta õpiku lehe paksust? Mõõda see.

10. Mõõda kilukarbi ümbermõõt. Selleks pane ümber kilukarbi pabeririba ja mõõda siis selle pabeririba pikkus.

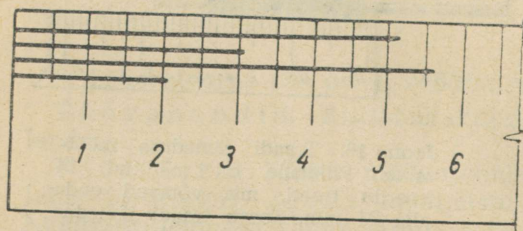
11. Mõõda kruvipea ümbermõõt nii, nagu see on näidatud joonisel 18.



Joon. 19. Ülesande nr. 12 juurde.

12. Joonisel 19 on kujutatud rida sentimeetripikkusi lõike, mis on jaotatud kaheks osaks. Hinda silma järgi, kui pikad on vasakul asuvad osad. Kontrolli tulemust mõõtmise teel.

13. Kui pikad on joonisel 20 kujutatud traadid?

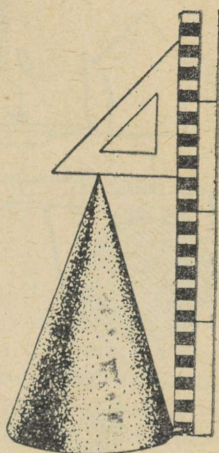
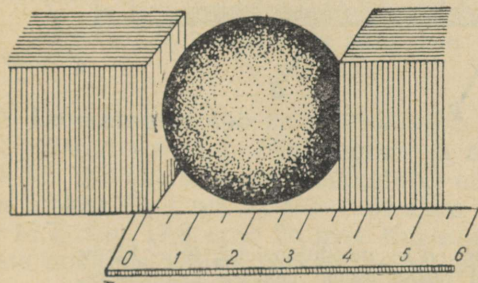


Joon. 20. Ülesande nr. 13 juurde.

14. Mõõda täpse mõõdujoonlaua abil ruudulise vihiku lehe ühe ruudu külje pikkus, hinnates kümnendimillimeetreid silma järgi. Korda mõõtmist 4—5 korda ja arvuta mõõtmistulemuste keskmine väärtus.

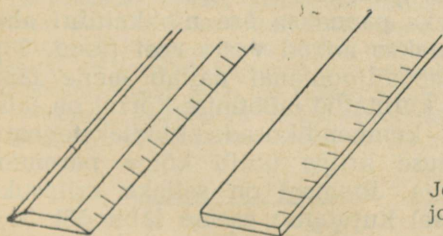
15. Mõõda joonisel 21 kujutatud viisil õuna või mõne teise ümmarguse keha läbimõõd, kasutades mõõdujoonlauda ja kahte risttahukakujulist keha (pappkarpi, puuklotsi).

Joon. 21. Mitmesuguseid mõõtmisvõtteid.



16. Mõõda joonisel 21 kujutatud viisil kirjapressi käepideme kõrgus laua pinnast.

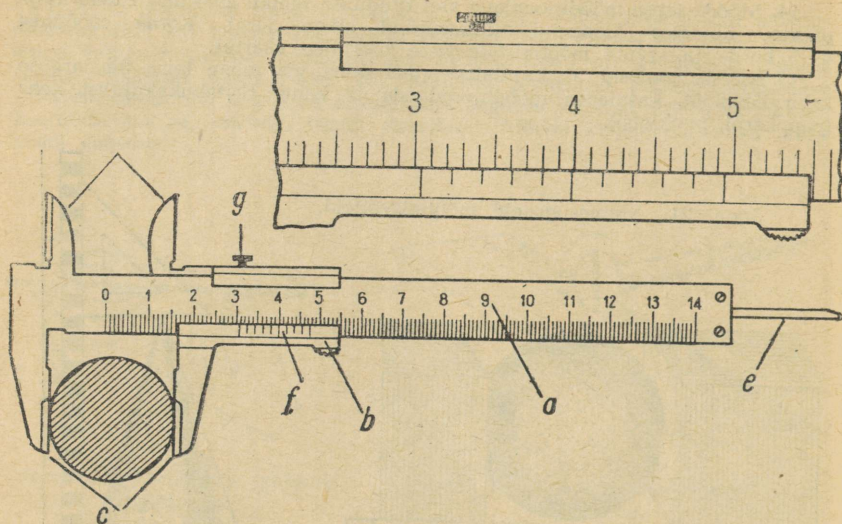
17. Kumba joonisel 22 kujutatud mõõdujoonlauaga võime kergemini teha suurema mõõtmisvea?



Joon. 22. Kiilukujulise servaga mõõdujoonlaud ja risttahukakujuline mõõdujoonlaud.

7. Nihkkaliiber. Esemete pikkuse, jämeduse, avade läbimõõdu ja sügavuse mõõtmiseks kasutatakse nihkkaliibrit (joon. 23). Tavaline nihkkaliiber võimaldab mõõta täpsusega kuni 0,1 mm.

Nihkkaliibri põhiosadeks on millimeeterjaotusega mõõdujoonlaud ja liikuv raam. Mõõdujoonlaud ja raam lõpevad väljaulatuvate harude ehk nokkadega. Raami alumisel serval on väike abiskaala, mida nimetatakse nooniuseks ja mille jaotused on lühemad mõõduskaala jaotustest.



Joon. 23. Nihkkaliiber. *a* — mõõdujoonlaud, *b* — liikuv raam, *c* — alumised nokad eseme paksuse mõõtmiseks, *d* — ülemised nokad ava läbimõõdu mõõtmiseks, *e* — sügavusemõõtja, *f* — noonius ja *g* — kruvi raami kinnitamiseks.

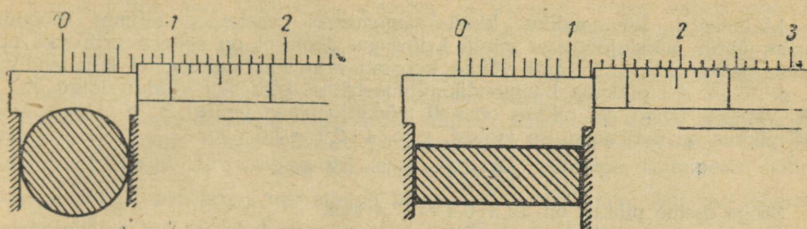
Kui nihkkaliibri nokad on kokku lükatud, siis mõõdujoonlaua nullkriips ühtib nooniusse nullkriipsuga.

Eseme mõõtmete määramiseks pannakse ese nihkkaliibri alumiste nokkade vahele ja lükatakse nokad vastu eset (joon. 23). Nooniusse nullkriipsu asend mõõdujoonlaual näitab meile täismillimeetrite arvu. Joonisel 23 kujutatud mõõtmise korral on täismillimeetreid 30. Millimeetri kümnendikosade kindlakstegemiseks vaatame, mitmes nooniusse kriips ühtib kõige paremini mõõdujoonlaua mingi kriipsuga. Joonisel on selleks kriipsuks neljas kriips. Seega on joonisel kujutatud eseme läbimõõt 30,4 millimeetrit.

Avade läbimõõdu mõõtmiseks on nihkkaliibril veel ülemised nokad, mis pistetakse avasse, ja nihutatakse nihkkaliibri raami seni, kuni nokad puutuvad tihedalt vastu ava seinu.

Aukude sügavuse mõõtmiseks on nihkkaliibri raamiga ühendatud kitsas õhuke terasliist, mis asub mõõdujoonlaua tagaküljel oleva soone sees. Seda liistu nimetatakse sügavusemõõtjaks. Augu sügavuse mõõtmiseks toetatakse nihkkaliibri ots augu servale ja nihutatakse raami allapoole seni, kuni sügavusemõõtja ots ulatub augu põhja.

Mõõtmistulemused ava läbimõõdu ja augu sügavuse mõõtmisel loetakse samal viisil nagu eseme jämeduse mõõtmiselgi.



Joon. 24. Ülesande nr. 1 juurde.

Harjutus 4. 1. Kui suur on nihkkaliibri näit joonisel 24 näidatud juhtudel?

8. Laboratoorne töö nr. 2. Mõõtmise nihkkaliibriga.

Töövahendid. Nihkkaliiber ja mõõdetavad esemed.

Töö käik. 1. Tutvu nihkkaliibri ehitusega ja tema skaalaga. Sea nihkkaliiber nii, et tema alumiste nokkade vaheline kaugus on 16,7 mm; 17,8 mm; 24 mm. Kui suur on nendel juhtudel ülemiste nokkade väliste servade vaheline kaugus? Sea nihkkaliiber nii, et sügavusmõõtja ulatuks nihkkaliibri otsast välja 42,7 mm võrra.

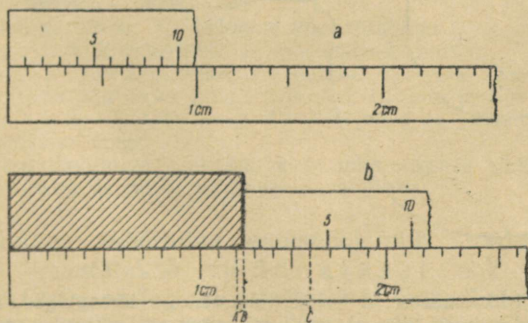
2. Mõõda ümmarguse silindri läbimõõtu viiest erinevast kohast. Arvuta mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine.

3. Mõõda õõnsa toru sisemine läbimõõtu ja sügavus.

9. Noonius ehituse põhimõte. Vaatleme, miks mõõdujoonlaua mingi jaotusega ühtiv noonius kriips näitab meile kümnendikmillimeetrite arvu.

Joonisel 25, a on kujutatud millimeeterjaotustega mõõdujoonlaud (millimeetrid on joonisel kujutatud suurendatult) ja noonius. Nooniusiks on väike abimõõdujoonlaud, mille iga jaotuse pikkus on 0,9 mm.

Määrame joonisel 25, b kujutatud eseme pikkuse. Mõõdujoonlaualt võime lugeda, et eseme pikkus on veidi üle 12 millimeetri.



Joon. 25. Noonius ja sellega mõõtmine.

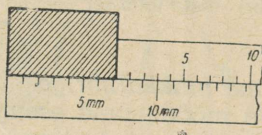
Millimeetri kümnendike kindlakstegemiseks vaatame, mitmes nooniuse kriips ühtib mõdujoonlaua mingi kriipsuga. Joonisel on selleks kriipsuks nooniuse neljas kriips. Seejärel võime kergesti arvutada millimeetri kümnendikud, s. o. lõigu AB pikkuse kümnendikmillimeetrites. Lõik AB võrdub lõigu AC ja BC vahega. Lõigu AC pikkus on neli mõdujoonlaua jaotust, s. o. 4 mm. Lõigu BC pikkus on neli nooniuse jaotust, s. o. $4 \cdot 0,9 = 3,6$ mm.

$$AB = 4 - 3,6 = 0,4 \text{ mm.}$$

Seega eseme pikkus on $12 + 0,4 = 12,4$ mm.

Samasuguste arvutuste teel võime kergesti veenduda, et kui mõdujoonlaua mingi kriipsuga ühtib nooniuse seitsmes kriips, siis on millimeetri kümnendik- osade arv 7; kui aga nooniuse üheksas kriips, siis on millimeetri kümnendik- osade arv 9.

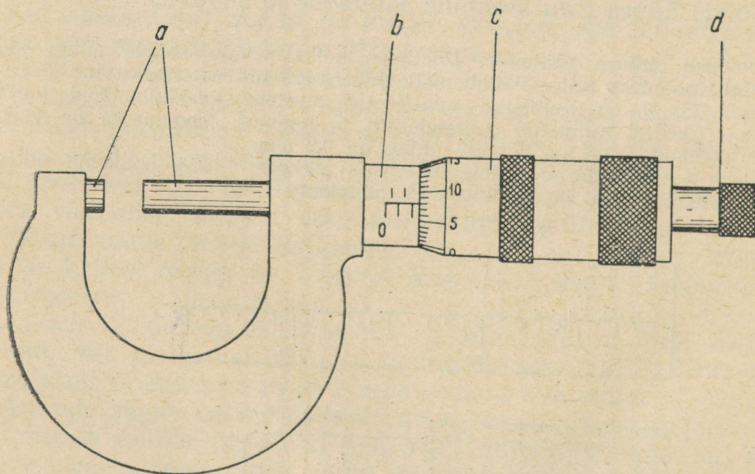
Harjutus 5. 1. Kui pikk on joonisel 26 kujutatud viirutatud ristkülik?



Joon. 26. Ulesande nr. 1 juurde.

2. Valmista paberiribast sentimeeterjaotusega mõdujoonlaud (pikkusega 25 cm) ja nooniuse, millel 9 cm pikkune lõik on jaotatud 10-neks võrdseks osaks. Joonesta vihikusse viis erineva pikkusega lõiku ja mõõda nende pikkused mõdujoonlaua ja nooniuse abil millimeetrilise täpsusega.

10. Kruvikaliiber. Väiksemate pikkuste täpseks mõõtmiseks kasutatakse kruvikaliibrit.



Joon. 27. Mikromeeter. a — lihvitud otstega teraspulgad, b — liikumatu silinder koos täis- ja pooli millimeetreid näitava skaalaga, c — pööratav trummel koos millimeetri sajandikke näitava skaalaga, d — liikuv pea kruvi pööramiseks.

Kruvikaliibriks on U-kujuline klamber ja klambri suhtes vabalt pööratav kruvi (joon. 27). Kruvi esiosa — siledaks lihvitud otsaga teraspulk — ulatub klambri sisse. Selle pulga vastas, klambri küljes, asub teine teraspulk, mille ots on samuti siledaks lihvitud. Pulkade otste vahele pannakse mõõdetav ese ja pööratakse kruvi seni, kuni pulgad toetuvad vastu eset.

Pöörates kruvipead ühe täispöörde, nihkub kruvi ots edasi mingi kindla lõigu võrra. Selle lõigu pikkust nimetatakse kruvisammuks. Tavaliselt on kruvikaliibrите kruvisamm 0,5 mm. Kui me pöörame kruvipead näiteks pool täisingi, siis kruvi ots nihkub edasi $\frac{0,5}{2} = 0,25$ mm; kui me pöörame

kruvipead $\frac{1}{10}$ täispöördest, siis kruvi ots nihkub edasi $\frac{0,5}{10} = 0,05$ mm.

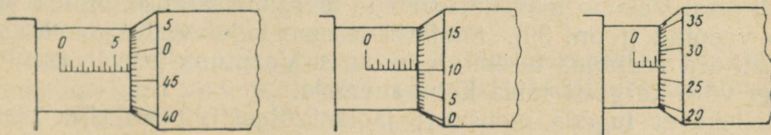
Kruvi asendi kindlakstegemiseks on kruvikaliiber varustatud trumliga, mis pöörduv ja nihkub edasi koos kruviga. Trumli sisse ulatub liikumatu silinder, millele on kantud mõõduskaala. See mõõduskaala võimaldab lugeda täis- ja pooli millimeetreid. Täis- ja poolte millimeetrite arvu näitab trumli serva asend sellel mõõduskaalal. Näiteks joonisel 27 näitab see skaala 2,5 mm.

Millimeetri sajandike hindamiseks on kruvikaliiber varustatud trumli serva ümbritseva ringskaalaga, mis on jaotatud 50-ks võrdseks osaks. Kui mikromeetri kruvi käik on 0,5 mm, siis iga sellele skaala jaotusele vastab $\frac{0,5}{50} = 0,01$ mm. Joonisel näitab see skaala 8 (sajandikku millimeetrit). See

tähendab, et trumli serv on esimese skaala viimasest nähtavast kriipsust 0,08 mm kaugusel. Seega joonisel on kruvikaliibri näit $2,5 + 0,08 = 2,58$ mm.

Kruvikaliibriga mõõtmisel ei tohi kruvi liiga tugevasti ega ka mitte liiga lõdvalt kinni keerata. Selleks et kruvi ots suruks paraja tugevusega vastu eset, tuleb kruvi pöörata tema teises otsas asuvast liikuvast peast seni, kuni see pea vabalt pöörduv.

Harjutus 6. 1. Kui palju näitab kruvikaliiber joonisel 28 kujutatud juh-
tudel?



Joon. 28. Ülesande nr. 1 juurde.

11. Laboratoorne töö nr. 3. Mõõtmine kruvikaliibriga.

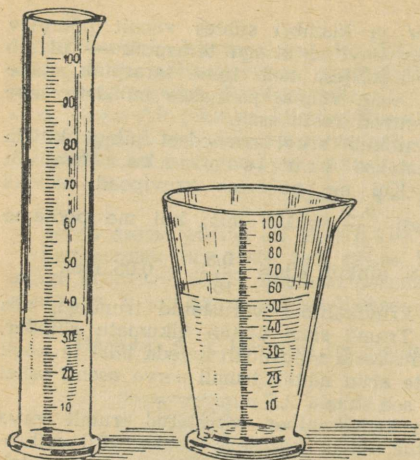
Töövahendid. Kruvikaliiber ja mõõdetavad esemed.

Töö käik. 1. Tutvu kruvikaliibri ehituse ja tema skaalaga. Sea kruvikaliiber nii, et tema näit oleks 2 mm, 2,34 mm, 4,5 mm ja 5,99 mm.

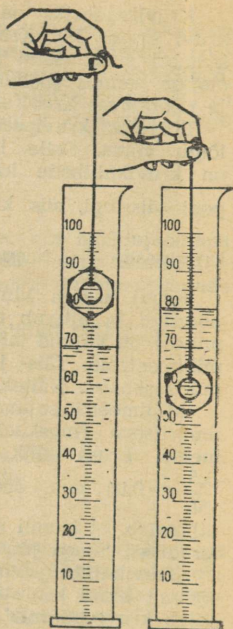
2. Kontrolli, kas kruvikaliibri lihvitud mõõtepinna on puhtad. Vajaduse korral pühi need üle riidest lapiga.

3. Mõõda kruvikaliibriga juuksekarva ja mitmesuguste traatide läbimõõdud; raamatulehe, raamatu kaane ja mõõdujoonlaua paksus.

12. Ruumalade mõõtmine mensuuri abil. Vedelike ruumala mõõtmiseks kasutatakse mõõduklaasi ehk mensuuri. Mensuur kujutab endast silindrilist või koonilist (pealt laiemat) klaasanumat, millele on märgitud jaotused (joon. 29). Need jaotused näitavad vedeliku hulka kuupsentimeetrites.



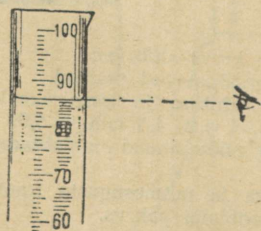
Joon. 29. Silindrikujuline ja kooniline mensuur.



Joon. 30. Keha ruumala mõõtmine mensuuriga.

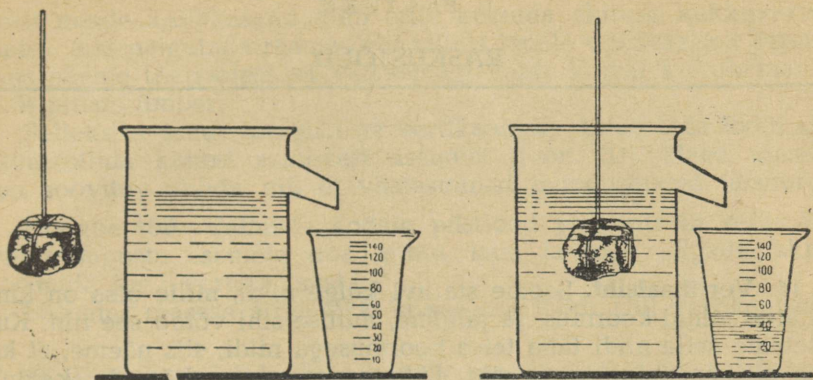
Mensuuri võib kasutada aga ka tahkete kehade ruumala mõõtmiseks. Selleks seome keha, mille ruumala me soovime mõõta, niidi otsa. Valame mensuuri vett ja märgime jaotuse, milleni ulatub veepind (joon. 30). Seejärel laseme keha vette ja märgime uuesti ära veepinna taseme mensuuris. Veepinna taseme muutuse järgi võib kergesti leida keha ruumala.

Selleks et lugeda mensuuri jaotusi õigesti, peab silm olema veepinna kõrgusel (joon. 31).



Joon. 31. Silma õige asend mensuuriga mõõtmisel.

- Harjutus 7. 1.** Kui suur on joonisel 30 kujutatud keha ruumala?
 2. Milline erinevus on koonilise ja silindrilise mensuuri jaotuste vahel (joon. 29)? Miks?
 3. Mensuuri mittemahtuvate kehade ruumala mõõtmiseks kasutatakse ülevooluanumat. Ülevooluanumaks võib olla ükskõik milline anum,



Joon. 32. Keha ruumala mõõtmine ülevooluauuma ja mensuuri abil.

mille ülaosas on toru vee väljavoolamiseks. Selgita ülevooluauuma kasutamist joonise 32 järgi. Kui suur on joonisel kujutatud keha ruumala?

4. Kuidas on mensuuri abil võimalik määrata haavli ja veetilga ruumala?

13. Laboratoorne töö nr. 4. Keha ruumala mõõtmine mensuuri abil.

Töövahendid. Mensuur, klaas veega ja mingi keha.

Töö käik. 1. Tutvu mensuuri jaotustega ja tee kindlaks, mitu kuupsentimeetrit vastab ühele jaotusele.

2. Mõõda klaasis oleva vee ruumala.

3. Mõõda tahke keha ruumala. Korda mõõtmist 5—6 korda, muutes iga kord vedeliku hulka mensuuris. Mõõtmise tulemustest arvuta aritmeetiline keskmine.

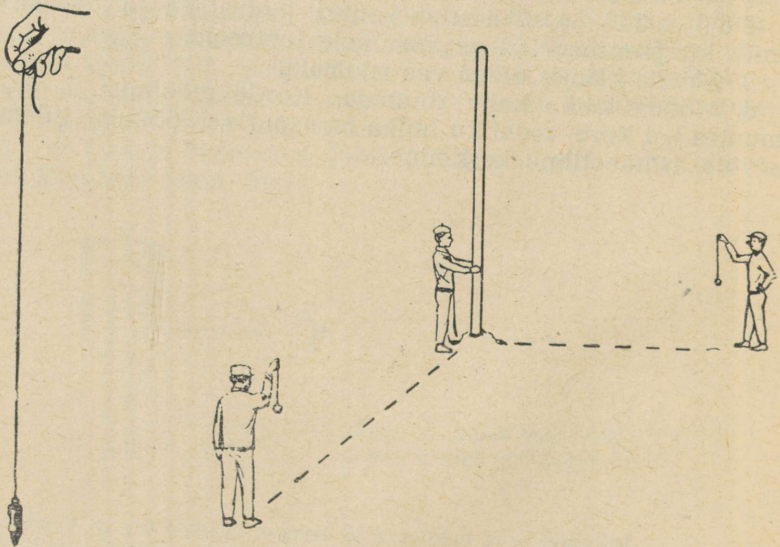
14. Vertikaalsiht. Seome statiivi külge niidi, mille otsa on kinnitatud mingi koormus, ja jälgime, millise sihi võtab see niit. Kui asetame selle niidi taha teise koormusega niidi, siis näeme, et ka see niit omandab sama sihi. Lükates koormuse kõrvale, kaldub ka niit kõrvale, kuid tuleb pärast mõningat võnkumist esialgsesse asendisse tagasi.

Seega niit, mille otsa on riputatud koormus, võtab alati teatud kindla sihi. Seda sihti nimetatakse püst- ehk vertikaalsihiks.

Rippuvat niiti koos koormusega nimetatakse püstloodiks (joon. 33).

Püstloodi kasutatakse mitmesuguste esemete vertikaalseks seadmiseks või nende vertikaalsuse kontrollimiseks.

Eriti tähtis on vertikaalsuse kontrollimine ehitustehnikas, näiteks tornide, sildade tugisammaste, majade seinte jne. juures,



Joon. 33. Püstlood.

Joon. 34. Selleks et seada posti vertikaalseks, tuleb teda püstloodi abil kontrollida kahest erinevast asendist.

sest nende kallakasend võib esile kutsuda ehituse kokkuvarisemise. Kui paigutada raamat või pliiaats lauale vertikaalselt seisma, siis näeme tõepoolest, et väiksemagi kalde korral kukub raamat või pliiaats ümber.

Selleks et seada mingit eset vertikaalseks, tuleb teda loodi abil kontrollida kahest erinevast asendist (joon. 34). Need asendid on soovitatav valida nii, et vaatesuunad moodustaksid täisnurga.

Kodune töö. Valmista endale püstlood ja kontrolli selle abil mitmesuguste esemete (toa seinte, laua ja tooli jalgade, akna-raamide jne.) vertikaalsust.

Löö aias maasse sirge tikk ja sea see loodi abil vertikaalseks.

15. Horisontaalsiht. Tehnikas ja igapäevases elus tuleb meil sageli kokku puutuda rõhtsate sihtide ja pindadega.

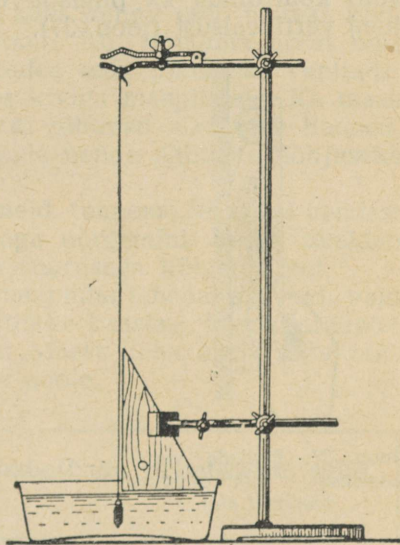
Mingit pinda või sihti nimetatakse rõhtsaks ehk horisontaalseks, kui see pind või siht on risti vertikaalsihiga.

Horisontaalne on näiteks vee-pind seisvas veekogus või küllalt laias anumast (joon. 35).

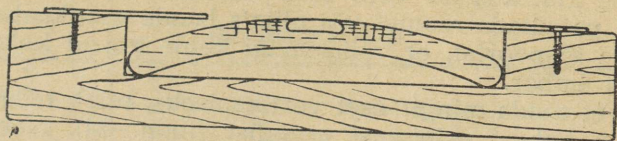
Ehitustehnikas on nõutav paljude pindade horisontaalsus. Horisontaalsed peavad olema ehitatavate majade vundamendid, põrandad, laed, mitmesuguste masinate alused jne. Samuti tuleb mitmesuguste täpsete mõõduriistadega mõõtmisel kontrollida, et need mõõduriistad asuksid horisontaalsetel alustel.

Sileda tasapinna horisontaalsust on kõige kergem kontrollida metallkuulikese abil. Kui mingile tasapinnale pandud kuulike jääb sinna püsima, siis on pind horisontaalne. Kui ta aga veereb sellelt minema, siis on pind veeremise suunas kaldu.

Ehitustöölised kasutavad pindade horisontaalsuse kontrollimiseks vaaderpassi ehk vesiloodi (joon. 36). Vesiloodi põhiosaks on veidi kõver klaastoru, mis on peaaegu täielikult täidetud mingi vedelikuga. Torusse on jäetud ainult väike õhumull. Ükskõik millises asendis toru ka ei oleks, õhumull on ikka toru kõige kõrgemas kohas. See toru kinnitatakse puust alusele. Vesilood on ehitatud nii, et aluse horisontaalse asendi



Joon. 35. Vee-pind on risti vertikaalsihiga.

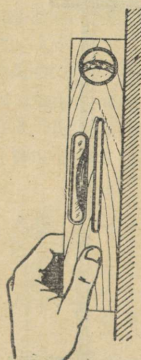


Joon. 36. Vesiloodi läbilõige.

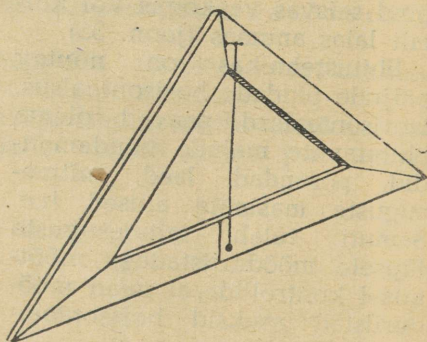
korral mullike asub toru keskel. Toru keskkohk on ära märgitud kriipsukesega. Kui alus ei ole horisontaalne, siis mullike kaldub keskkohast kõrvale.

Pinna horisontaalsust tuleb vesiloodiga kontrollida vähemalt kaks korda, muutes tema asendit nii, et vesiloodi asend moodustaks esialgse asendiga ligikaudu täisnurga.

Mõned vesiloodid on varustatud veel teise toruga, mille abil võib kontrollida ka pindade (näiteks maja seinte, aknaraamide jne.) vertikaalsust (joon. 37).



Joon. 37. Pindade vertikaalsuse kontrollimine vesiloodi abil.



Joon. 38. Abinõu pindade horisontaalsuse kontrollimiseks.

Kodune töö. Valmista endale lihtne abinõu pindade horisontaalsuse kontrollimiseks. Selleks löö koolikolmnurga täisnurga tipu juurde väike nael ja riputa selle külge lood (niidi otsa kinnitatud tinatükike) (joon. 38). Pane kolmnurk veepange nii, et kolmnurga alus ühtiks veepinnaga. Kolmnurga alus on sel korral horisontaalne. Hoides kolmnurka selles asendis, tee täpselt loodi niidi taha kolmnurga hüpotenuusile püstkriipsuke, mis näitab loodi asendit kolmnurga aluse horisontaalsuse korral.

Kuidas on selle riistaga võimalik kontrollida pindade horisontaalsust? Kontrolli, kas aknalaud, põrand ja lauaplaat on horisontaalsed või mitte.

16. Laboratoorne töö nr. 5. Kehade seadmine vertikaalseks ja horisontaalseks.

Töövahendid. Mõõdujoonlaud või puuliist, statiiv, püstlood, klaasplaat, kolm puust kiilu, metallkuul ja vesilood.

Töö käik. 1. Kinnita mõõdujoonlaud statiivi külge ja sea see püstloodi abil vertikaalseks, kontrollides tema asendit kahest erinevast suunast.

2. Aseta klaasplaat kiiludele ja sea see kuulikese abil horisontaalseks.

3. Eemalda kiilud klaasplaadi alt ja sea see uuesti vesiloodi ja kiilude abil horisontaalseks.

4. Pane klaasplaat kiiludele nii, et see oleks veidi kaldu. Määra vesiloodi abil kindlaks, millises suunas on kalle kõige suurem. Selleks leia vesiloodile selline asend, kus õhumull on kõige enam kõrvale kaldunud.

17. Kaal ja kaaluühikud. Hoides käes mingit eset, näiteks kivi, tunneme, et see rõhub kätt allapoole. Kui riputame nõõri otsa kivi, siis pingutab kivi nõõri, püüdes seda pikemaks venitada. Lastes nõõri lahti, kukub see koos kiviga maapinnale. Ka maas asudes rõhub kivi maapinda. Samuti rõhuvad maapinda hooned, autod, puud ja teised kehad. Kõikide nende nähtuste põhjuseks on Maa külgetõmbjõud.

Võttes kätte mitmesuguseid esemeid, tunneme, et ühed nendest rõhuvad kätt tugevamini, teised aga nõrgemini. Seega avaldab Maa erinevatele kehadele erineva suurusega külgetõmme.

Maa tõmbab külge mitte ainult maapinna lähedal asuvaid, vaid ka kaugeid kehi: Kuud, Maa kunstlikke kaaslasi, kosmoserakette ja teisi taevakehi. Mida kaugemal Maast keha asub, seda nõrgema jõuga tõmbab Maa teda enda poole.

Kehale mõjuvat Maa külgetõmbjõudu nimetatakse selle keha kaaluks.

Füüsikas ja tehnikas kasutatakse järgmisi kaaluühikuid.

1 tonn (T) = 1000 kilogrammi (kG);

1 tsentner (Ts) = 100 kG;

1 kG = 1000 grammi (G);

1 G = 1000 milligrammi (mG).

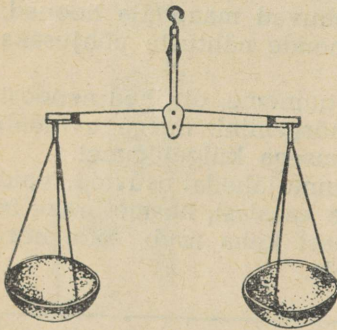
Kuna kaaluühikute kontrollimise aluseks on rahvusvaheline algakilogramm, mille kaal võrdub 1 dm³ puhta vee kaaluga 4° C juures, siis selle põhjal võime kergesti välja arvutada ka 1 mm³, 1 cm³ ja 1 m³ vee kaalu.

1 mm ³	vett kaalub	1 mG
1 cm ³	" "	1 G
1 dm ³	" "	1 kG
1 m ³	" "	1 T

Harjutus 8. 1. Kui vihma sajab, miks langevad siis vihmapiisad maapinnale?

2. Kui palju kaalub ämbritäis (12 liitrit) vett?
3. Kui palju kaalub 12 mm³ vett?
4. Mitu grammi vett on joonistel 29 ja 31 kujutatud mensuurides?
5. Basseini pikkus on 25 m, laius 8 m ja sügavus 2 m. Mitu tonni vett on selles basseinis?
6. Kuu peal on raskusjõud ligikaudu 6 korda väiksem kui Maal. Kui palju kaalub Kuu peal inimene, kelle kaal Maal on 60 kG?

18. Kaalud. Lihtsaimad kaalud väikeste raskuste kaalumiseks on apteegikaalud (joon. 39). Apteegikaalude põhiosaks on kaalukang, mille otste külge on niitide abil riputatud kaalukaasid. Kaalukang ise riputatakse aga statiivi külge.



Joon. 39. Apteegikaalud.

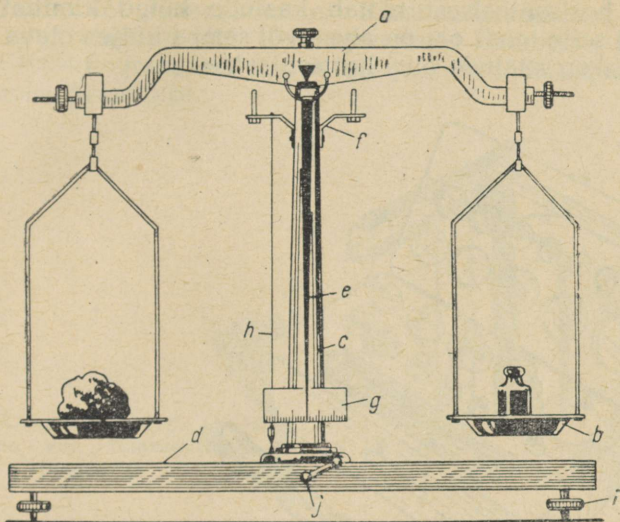
Kaugusi kaalukaasi niitide kinnituspunktidest kuni kaalukangi keskel asuva toetuspunktini nimetatakse kaalukangi õlgadeks. Kaalud on valmistatud nii, et kaalukangi õlad on ühepikkused ja kaalukaasid üheraskused, sest vastasel korral ei näitaks kaalud õigesti.

Kehade või ainete täpsemaks kaalumiseks kasutatakse laboratoorseid kaale (joon. 40). Sellise kaalu kangi keskele on kinnitatud

kolmetahuline terasprisma, mille terav serv on pööratud allapoole (joon. 41). Selle terava servaga toetub kaalukang sambale, mis on kinnitatud puust aluse külge. Kaalukangi otste küljes asuvad samuti terasprismad, kuid nende teravad servad on pööratud ülespoole. Nendele toetuvad kaalukaaside hoidjad. Selline teravarservalistele prismadele toetumine teeb kaalud väga tundlikuks.

Kaalukangi külge on kinnitatud pikk osuti, mille otsa juures asub skaala. Kui kaal on korras, siis peab ta tühjalt jääma tasakaalu nii, et osuti asub skaala keskel. Ka siis, kui kaalukaasidel on võrdsed koormused, jääb osuti seisma skaala keskele.

Väga tundlike kaalude kang koos osutiga ei jää aga kaalumisel kohe seisma, vaid võngub võrdlemisi kaua edasi-tagasi. Meil



Joon. 40. Laboratoorsed kaalud. *a* — kaalukang, *b* — kaalukausid, *c* — samm, *d* — aluslaud, *e* — osuti, *f* — kaalukangi toed, *g* — skaala, *h* — lood, *i* — tugikruvid, *j* — lukustaja nupp.



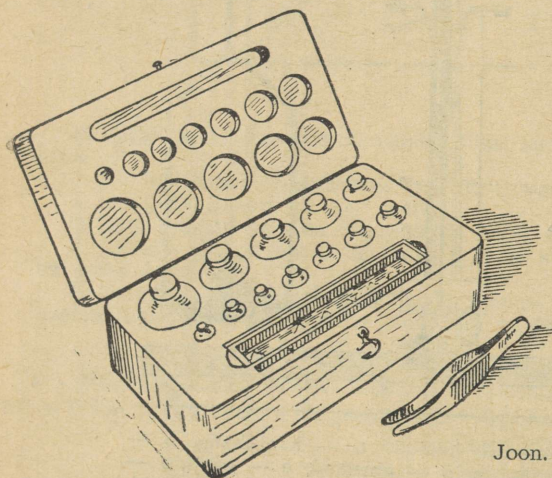
Joon. 41. Kaalukang. Kaugusi *AB* ja *BC* nimetatakse kaalukangi õlgadeks. Kaalukangi õlad on ühepikkused.

ei tarvitsegi aga oodata osuti seismajäämist, sest tasakaalu üle võime otsustada ka selle järgi, kas osuti ots, võnkudes vasakule ja paremale, eemaldub skaala keskkohast mõlemale poole ühe ja sama arvu jaotuste võrra. Kui see on nii, siis kaalud on tasakaalus.

Kaalu aluse keskel asub nupp kaalude lukustamiseks. Pöörates seda nuppu päripäeva, tõstab metallist hark kaalukangi üles ja kaalukangi prisma ei toetu enam sambale. Sel juhul on kaalud lukustatud.

Selleks et saada kaalumisel õigeid tulemusi, peab kaalu alus olema horisontaalne. Kaale seatakse horisontaalseks kolme kruvi abil, milledele kaalude alus toetub. Keerates neid kruvisid ühele või teisele poole, tõuseb aluse vastav koht kõrgemale või laskub madalamale.

Aluse horisontaalsust näitab kaalude külge kinnitatud püstlood. Kui selle loodi ots on aluse või samba küljes oleva teraviku kohal, siis on kaalude alus horisontaalne.



Joon. 42. Kaaluvihid koos karbi ja pintsettidega.

Kaaluvihid asuvad karbis (joon. 42), kus igal vihil on oma kindel koht. Tavaliselt on vihtide komplektis järgmised vihid:

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

Vihid kaaluga 1 kuni 100 G on silindrikujulised. Väiksemateks kaaluvihideks on õhukesed plekitükid (joon. 43). Selleks et neid võiks tunda kuju järgi, on 10- ja 100-milligrammised vihid kolmnurksed, 20- ja 200-milligrammised vihid nelinurksed ning 50- ja 500-milligrammised vihid kuusnurksed.

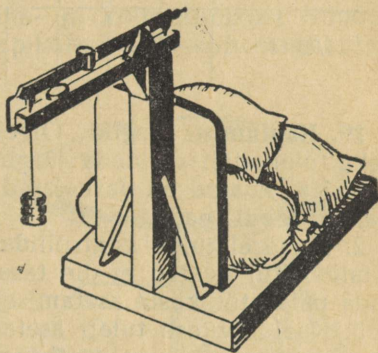


Joon. 43. Väikesed kaaluvihid.

Kastis, milles vihid asuvad, on harilikult ka väikesed näpitsad (pintsetid), mida kasutatakse vihtide väljavõtmiseks ja nende asetamiseks kaaluledele.

Väga suurte raskuste kaalumise oleks tülikas, kui vihtide kaal peaks võrduma kaalutava eseme kaaluga. Seetõttu kasutatakse suurte raskuste kaalumiseks kümnendikkaale (detsimaalkaale),

sajandikkaale või tuhandikkaale. Kümnendikkaaludel tasakaalustab 1-kilogrammiline viht 10-kilogrammise koormuse, sajandikkaaludel 100-kilogrammise koormuse ja tuhandikkaaludel 1000-kilogrammise koormuse.



Joon. 44. Kümnendikkaalud. Iga ühekilogrammiline viht tasakaalustab 10 kilogrammi.

Harjutus 9. 1. Millise kaaluga on kõige raskem keha, mida võib laboratoorsete kaalude vihtide komplekti abil kaaluda?

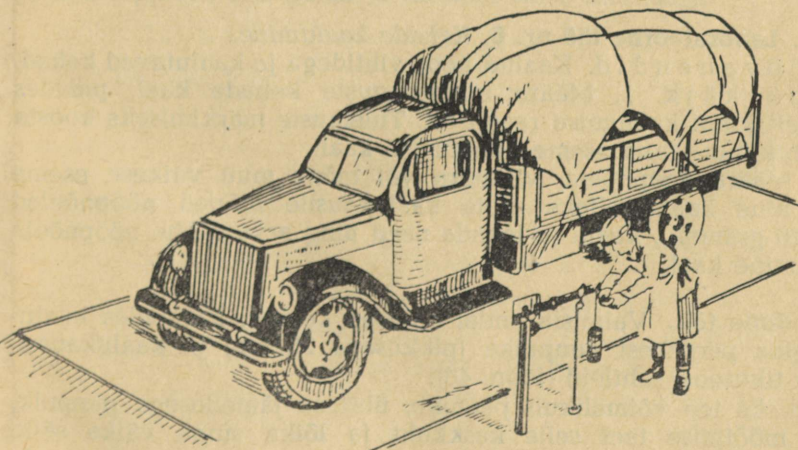
2. Kas 50-grammise ja 20-grammise vihi abil saab kaaluda 30-grammist keha?

3. Kui raskeid kehi võib kaaluda 10-grammise, 50-grammise ja 100-grammise vihiga?

4. Kehad kaaluvad 15,79 G, 120,12 G, 126,14 G, 75,96 G, 104,11 G, 59,55 G ja 169,72 G.

Milliste vihtide abil võib neid kehi kaaluda?

Ülesande vastused kirjuta järgmisesse tabelisse (lk. 34).



Joon. 45. Tuhandikkaalud. Iga 1-kilogrammiline viht tasakaalustab 1000 kilogrammi.

Keha kaal	Vihid												
	100 G	50 G	20 G	10 G	5 G	2 G	1 G	500 mG	200 mG	100 mG	50 mG	20 mG	10 mG
15,79 G	—	—	—	1	1	—	—	1	1	—	1	2	—

19. Kaalumise reeglid. Õigeaks kaalumiseks ja kaalude hoidmiseks tuleb silmas pidada järgmisi reegleid.

1. Kui kaalud on varustatud loodiga, siis enne kaalumist tuleb kaalud loodi seada.

2. Seejärel tuleb kontrollida, kas koormamata kaalud on tasa-kaalus. Kui kaalud ei ole tasakaalus, siis tuleb need tasakaalustada paberitükikeste asetamisega ühele kaalukaussidest.

3. Kaalutav ese tuleb asetada vasakule kaalukaussile ja vihid paremale, sest nii on mugavam vihte kaalukaussile panna.

4. Väiksemaid vihte ei võeta kunagi palja käega, vaid ainult pintsettidega.

5. Vihid võivad olla ainult kas kaalukaussil või vihtide karbis, teisi kohti nendel ei tohi olla.

6. Kui kaalud on varustatud lukustajaga, siis lukustajast vabastatakse kaalud ainult korrasoleku kontrollimiseks ja kaalumiseks, kõikidel teistel juhtudel (vihtide asetamisel kaalukaussile ja nende eemaldamisel, kaalude tõstmisel ühest kohast teise jne.) peavad kaalud olema lukustatud.

7. Kaalusid tuleb käsitseda väga ettevaatlikult ja vältida nende põrutamist.

20. Laboratoorne töö nr. 6. Kehade kaalumine.

Töövahendid. Kaalud koos vihtidega ja kaalutavad kehad.

Töö käik. 1. Määra mitmesuguste kehade kaal, pidades rangelt kinni kaalumise reeglitest. Tulemuste märkimiseks koosta tabel, kuhu kannad eseme nimetus ja kaal.

2. Määra nööpnõela, viljatera või mõne muu väikese eseme keskmine kaal. Selleks aseta kaalukaussile mõned nööpnõelad (5—10 grammi), kaalu ja loenda need ning arvuta ühe nööpnõela keskmine kaal.

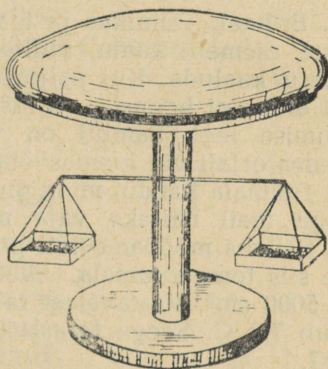
Kodune töö. Valmista endale lihtsad kaalud, kasutades kaalukangina peenikest puupulka (pikkusega 25 cm) ja kaalukaussidena tikutoosi sahtleid (joon. 46).

Selleks tee võimalikult peenike, ühtlase jämedusega puupulk, leia mõõtmise teel selle keskkohast ja lõika sinna väike sälk. Samuti lõika sälgud puupulga otstesse, keskkohast võrdsetele kaugustele. Kinnita niitidega pulga otste külge tikutoosi sahtlid

ja riputa kaalud laualambi või mõne teise eseme külge. Niidid seo sälkude kohale, sest siis ei libise niidid edasi.

Tühjade kaalude tasakaalustamiseks löika allapoole vajuva kaalukangi õla küljest väikesi laastukeksi seni, kuni kaalud jäävad tasakaalu.

Kaaluvihtidena kasuta ühe-, kahe- ja kolmekopikasi rahasid. Ühekopikaline kaalub 1 G, kahekopikaline 2 G, kolmekopikaline 3 G.



Joon. 46. Lihtsad omavalmistatud kaalud.

Kaalu nende kaalude abil teatud kogus (näiteks 5 G) kirjaklambreid (või teisi ühesuguse kaaluga esemeid: nõöpe, rõhknaelu, sulgi). Loenda need ja arvuta ühe kirjaklambri kaal. Märgi see oma töövihikusse. Edaspidistel kaalumistel kasuta kirjaklambreid väiksemate kaaluvihtidena.

Kaalu pliiaats, teelusikas ja tikutoos koos tikkudega.

ERIKAAL

21. Erikaal. Tehnikas ja igapäevases elus tuleb sageli määrata selliste esemete kaalu, milliseid on kas väga raske või hoopis võimatu kaaluda. Kui palju kaalub terastala, betoonsammas või kogu ehitatav hoone — sellistele küsimustele ei leia me vastust kaalumise teel. Samuti on väga raske kaaluda suurt kogust metsamaterjali või loomasööta. Neil juhtumel leitakse keha kaal keha ruumala kaudu, mida on tavaliselt lihtne määrata.

Olgu meil näiteks vaja määrata risttahukakujulise teraslati kaal. Selleks mõõdame lati pikkuse, laiuse ja kõrguse ning arvutame siis tema ruumala. Oletame, et me saime ruumala väärtuseks 5000 cm^3 . Vastavatest tabelitest võime leida, et 1 cm^3 terast kaalub 7,8 G. Seega teraslati kaal on $5000 \cdot 7,8 = 39000 \text{ G}$ ehk 39 kG.

Samal teel võime leida ükskõik millisest ainest keha kaalu, kui me aga saame määrata selle keha ruumala ja teame, kui palju kaalub 1 cm^3 (või mõni teine ruumalaühik) ainet, millest keha koosneb.

Kui kaaluda 1 cm^3 suuruse ruumalaga erinevast ainest kuupe, siis näeme, et nende kaalud on tunduvalt erinevad. Näiteks 1 cm^3 kulda kaalub 19,3 G, 1 cm^3 alumiiniumi 2,7 G, 1 cm^3 vett 1 G ja 1 cm^3 korki 0,24 G.

Ühe kuupsentimeetri aine kaalu grammides nimetatakse selle aine erikaaluks.

Seega terase erikaalu väljendab arv 7,8, kulla erikaalu arv 19,3, vee erikaalu arv 1 jne.

Erikaalu näitava arvu järele kirjutatakse mõõduühiku nimetusena « $\frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$ », mida loetakse «grammi kuupsentimeetri kohta». « cm^3 » näitab selles nimetuses seda, et meil on ainet võetud 1 cm^3 , mitte aga mõni teine ruumalaühik (näiteks 1 mm^3 või 1 dm^3). «G» näitab seda, et aine kaal on mõõdetud grammides. Seega võime öelda, et terase erikaal on $7,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, kulla erikaal on $19,3 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, vee erikaal $1 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$ jne.

Erikaalude tabel ($\frac{G}{cm^3}$).

Tahked kehad

Plaatina	21,4	Alumiinium	2,7
Kuld	19,3	Duralumiinium	2,7
Seatina	11,3	Klaas	2,4—2,6
Hõbe	10,5	Betoon	2,2
Vask	8,9	Tellis	1,8
Raud, teras	7,8	Jää (0° C juures)	0,9
Inglistina	7,3	Puu	0,5—0,7
Tsink	7,1	Kork	0,24
Graniit	2,7		

Vedelikud

Elavhõbe	13,6	Petrooleum	0,8
Väävelhape	1,8	Nafta	0,8
Piim	1,03	Piiritus	0,8
Vesi (4° C juures)	1,0	Eeter	0,7
Merevesi	1,03	Bensiin	0,7
Linaseemneõli	0,9		

Harjutus 10. 1. Kui palju kaalub 1 cm³ hõbedat? 1 cm³ jääd? 1 cm³ bensiini? 10 cm³ elavhõbedat? 20 cm³ vaske?

2. Hõbedast, terasest ja alumiiniumist on valmistatud kolm ühesugust lusikat. Milline nendest on kõige kergem, milline kõige raskem?

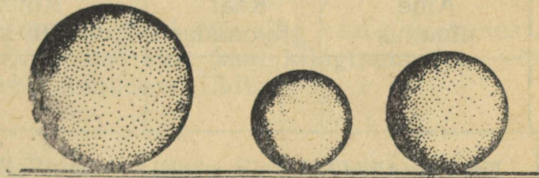
3. Kumb kaalub rohkem, kas ämbritäis piiritust või ämbritäis bensiini?

4. Miks tehakse lennukikered duralumiiniumist, mitte äga terasest, millel on umbes samasugune vastupidavus nagu duralumiiniumilgi?

5. Mitu korda on klaasitäis elavhõbedat raskem klaasitäiest veest?

6. Kui palju kaalub klaasitäis (200 cm³) petrooleumi?

Joon. 47. Kolm erinevast metallist ühesuguse kaaluga kuuli.



7. Joonisel 47 on kujutatud kolm erinevast metallist võrdse kaaluga kuuli. Milline nendest kuulidest on seatinast, milline tsingist ja milline alumiiniumist?

8. Vasest teekann kaalub 1,32 kg. Kui palju kaalub täpselt samasuguste mõõtmetega alumiiniumist kann?

22. Erikaalu arvutamine. Selleks et määrata aine erikaalu, ei ole meil tingimata vaja võtta 1 cm³ seda ainet ja see kaaluda. Me

võime võtta ka suurema tüki ainet, määrata selle kaalu ja ruumala ning saadud tulemuste põhjal arvutada erikaalu.

Kaalugu näiteks 20 cm³ mingit ainet 210 G. 1 cm³ seda ainet kaalub siis 20 korda vähem. Seega selle aine erikaal on

$$\frac{210 \text{ G}}{20 \text{ cm}^3} = 10,5 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

Erikaalu arvutamiseks tuleb keha kaal grammides jagada tema ruumalaga kuupsentimeetrites.

Selle reegli võime lühidalt üles kirjutada järgmiselt:

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

23. Laboratoorne töö nr. 7. Tahkete kehade ja vedelike erikaalu määramine.

Töö vahendid. Kaalud, vihid, menatuur, erinevatest ainetest esemed, klaas mingi vedelikuga, klaas veega.

Töö käik. 1. Määra uuritava keha kaal.

2. Vala menauuri vett ja mõõda keha ruumala.

3. Saadud tulemustest arvuta erikaal.

4. Määra samal teel kõigi teiste tahkete kehade erikaalud.

5. Määra uuritava vedeliku kaal. Selleks kaalu algul vedelik koos klaasiga, vala vedelik tühja menauuri ja seejärel kaalu tühi klaas. Saadud tulemustest arvuta vedeliku kaal.

6. Mõõda vedeliku ruumala.

7. Arvuta vedeliku erikaal.

Mõõtmise tulemused kannu järgmise kujuga tabelisse.

Aine nimetus	Kaal grammides	Ruumala kuupsentimeetrites	Erikaal

Kodune töö. Määra kartuli erikaal. Selleks lõika kartulist välja risttahukakujuline tükk (umbes tikutoosisuurune), mõõda selle pikkus, laius ja kõrgus ning arvuta ruumala.

Kaalu see risttahukas oma kaaludel ja saadud tulemuse põhjal arvuta kartuli erikaal.

Harjutus 11. 1. Joonisel 32 kujutatud keha kaalub 110 G. Kui suur on selle aine erikaal, millest keha koosneb?

2. 100-grammise kaaluvihhi ruumala on 12,8 cm³. Mis metallist on see kaaluvihht?

3. Kõige väiksema erikaaluga puuks on Lõuna-Ameerika troopikametsades kasvav balsapuu. 1 dm^3 balsapuud kaalub umbes 100 G. Mitu korda on balsapuu korgist kergem?

4. On olemas väga tihedast aineast koosnevaid tähti, mida nimetatakse valgeteks kääbusteks. Ühe sörmkübaratäie (3 cm^3) sellise aine kaal võrdub raudteeveduri kaaluga (150 T). Arvuta selle aine erikaal.

5. Vaskkera ruumala on 120 cm^3 ja kaal 840 G. Kas see kera on massiivne või on ta seest õõnes?

24. Erikaalu väljendamine kilogrammides kuupdetsimeetri kohta ja tonnides kuupmeetri kohta. Kui ütleme, et raua erikaal on $7,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, siis see tähendab seda, et 1 cm^3 rauda kaalub 7,8 G. Arvutame, kui palju kaalub 1 dm^3 ja 1 m^3 rauda. Kuna $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$, siis 1 dm^3 rauda kaalub

$$1000 \cdot 7,8 \text{ G} = 7800 \text{ G} = 7,8 \text{ kG}.$$

Saadud andmetest võime kergesti arvutada ka 1 m^3 raua kaalu. Et $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$, siis 1 m^3 raua kaal on

$$1000 \cdot 7,8 \text{ kG} = 7800 \text{ kG} = 7,8 \text{ T}.$$

Siit näeme, et 1 m^3 rauda kaalub niisama palju tonne, kui palju kilogramme kaalub 1 dm^3 rauda või kui palju gramme kaalub 1 cm^3 rauda. See reegel kehtib ka kõikide teiste ainete kohta.

Seega võime öelda, et

erikaalude tabelis toodud arvud näitavad mitte ainult 1 cm^3 aine kaalu grammides, vaid ka 1 dm^3 aine kaalu kilogrammides või 1 m^3 aine kaalu tonnides.

Erikaalude tabelist võime lugeda, et 1 dm^3 ehk 1 liiter bensiini kaalub 0,7 kG, kuupmeeter graniiti 2,7 T, kuupmeeter puud 0,5—0,7 T jne.

Selle asemel et öelda «erikaal on 1 cm^3 aine kaal grammides», võime öelda «erikaal on 1 dm^3 aine kaal kilogrammides» või «erikaal on 1 m^3 aine kaal tonnides». Üldiselt

ühe ruumiühiku aine kaalu nimetatakse selle aine erikaaluks.

Selles üldises definitsioonis ei ole öeldud, millise ruumiühikuga on meil tegemist, kas ühe kuupdetsimeetri, ühe kuupsentimeetri või ühe kuupmeetriga. Samuti ei ole siin öeldud, millistes ühikutes on mõõdetud kaal, kas grammides, kilogrammides või tonnides. Selleks et vahet teha, kas me mõtleme erikaalu all 1 cm^3

aine kaalu grammides, 1 dm^3 aine kaalu kilogrammides või 1 m^3 aine kaalu tonnides, kirjutatakse erikaalu ühiku nimetusena vastavalt¹

$$\frac{\text{G}}{\text{cm}^3}, \frac{\text{kG}}{\text{dm}^3} \text{ või } \frac{\text{T}}{\text{m}^3}.$$

Ülesannete lahendamisel tuleb silmas pidada järgmist:

- 1) kui erikaal väljendatakse $\frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, siis kaal väljendatakse grammides ja ruumala kuupsentimeetrites;
- 2) kui erikaal väljendatakse $\frac{\text{kG}}{\text{dm}^3}$, siis kaal väljendatakse kilogrammides ja ruumala kuupdetsimeetrites;
- 3) kui erikaal väljendatakse $\frac{\text{T}}{\text{m}^3}$, siis kaal väljendatakse tonnides ja ruumala kuupmeetrites.

Harjutus 12. 1. Mitu tonni kaalub 1 m^3 duralumiiniumi? 1 m^3 klaasi? 1 liiter petrooleumi? 10 m^3 graniiti?

2. Kas liitrisse pudelisse mahub 1 kG väävelhapet? 1 kG vett? 1 kG piiritust?

3. Kui palju kaalub liiter elavhõbedat? Miks inimest, kellel kunagi ei ole olnud kokkupuutumist elavhõbedaga, tuleb hoiatada, kui temale ulatada pudel elavhõbedaga?

4. Kõis talub kõige enam 500-kG -st koormust. Kas selle kõiega võib tõsta terastala, mille ruumala on $0,1 \text{ m}^3$?

5. Traktori «Universaal» kütusepaaki mahub 70 kG petrooleumi, mille erikaal on $0,85 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$. Kui suur on paagi maht liitrites?

25. Mahukaal. Mitmesuguste praktiliste ülesannete lahendamisel ei saa aga alati leida erikaalu abil keha kaalu või ruumala.

Teades näiteks kartuli erikaalu (ligikaudu $1 \frac{\text{kG}}{\text{dm}^3}$), ei saa me arvutada, kui palju kartuleid mahub keldrisse, sest kartulid ei paikne tihedalt, vaid nende vahel on tühimikud. Osutub, et 1 dm^3 kartulite kaal ei ole 1 kG , vaid kõigest $0,7 \text{ kG}$. Samuti ei saa raua erikaalu järgi leida kastis olevate raudnaelte kaalu ja kvartsi erikaalu järgi liivahunniku kaalu.

Ühe ruumiühiku sellise materjali kaalu, mis ei täida ruumi tihedalt, nimetatakse selle materjali mahukaaluks.

¹ Erikaalu võime väljendada aga ka veel teistes ühikutes, näiteks grammides kuupmillimeetri kohta, grammides kuupdetsimeetri kohta jne., kuid sel juhul ei jää enam erikaalu väljendav arv endiseks. Nii näiteks on raua erikaal $0,078 \frac{\text{G}}{\text{mm}^3}$ või $7800 \frac{\text{G}}{\text{dm}^3}$.

Kui 1 m^3 heinu kaalub $0,05 \text{ T}$, siis öeldakse, et heinte mahukaal on $0,05 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$; kui 1 dm^3 rukkiteri kaalub $0,7 \text{ kG}$, siis öeldakse, et rukki mahukaal on $0,7 \frac{\text{kG}}{\text{dm}^3}$ jne.

Mõnede ainete keskmised mahukaalud ($\frac{\text{T}}{\text{m}^3}$).

1. Nisu ja rukis	0,7	6. Kartulid, peedid, por-	
2. Kaerad	0,46	gandid, kaalikad	0,7
3. Lahtised heinad	0,07	7. Liiv	1,5
4. Vajunud heinad	0,11	8. Kivisüsi	0,8
5. Pressitud heinad	0,35	9. Sool	2,1
		10. Kohev lumi	0,2

Kodune töö. Mõõda omavalmistatud kaalude kausi (tikutoosi-sahtli) sisemine pikkus, laius ja kõrgus ning arvuta selle maht kuupsentimeetrites. Täida vasakpoolne kaalukauss ääreni soolaga ja kaalu see. Arvuta soola mahukaal. Leia samuti liiva ja suhkru mahukaalud.

Harjutus 13. 1. Mitme autokoormaga saab ära vedada 100 m^3 kivisütt, kui auto kandejõud on 5 T ?

2. Viljasalve pikkus on $2,2 \text{ m}$, laius 1 m ja kõrgus $0,8 \text{ m}$. Mitu 100 -kilogrammist kotti nisu mahub sellesse salve?

3. Kui palju kaalub akneklaas, mille mõõtmed on $60 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 3 \text{ mm}$?

4. Sademetemõõtja abil tehti kindlaks, et maapinnale langenud sademetekihi paksus oli 8 mm . Mitu tonni vett sadas ühe ruutkilomeetri suurusele pinnale?

5. Linna peatänava pikkus on 3 kilomeetrit ja laius 18 meetrit. Tänavale sadas lumekiht paksusega 15 cm . Mitu autokoormat lund tuli tänavalt ära vedada, kui lume veoks kasutati spetsiaalseid suurendatud kastiga veoautosid kandejõuga 3 tonni?

6. Iseliikuva kombaini S-4 viljapunkri maht on $1,8 \text{ m}^3$. Mitu vankrit on vaja punkritäie nisu äravedamiseks, kui vankrile võib laadida 400 kG vilja?

7. Dnepri hüdroelektrijaama ehitamiseks oli tarvis $400\,000 \text{ m}^3$ liiva. Mitu vagunit oli tarvis selle liiva kohalevedamiseks, kui igasse vagunisse mahus 16 T liiva?

8. Vajunud heina risttahukakujulise virna mõõtmed on $8 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$. Mitmeks päevaks piisab sellest heinast 15 lehmale, kui igale lehmale anda päevas 10 kG heina?

9. Kuivade kasepuude riida mõõtmed on $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 4 \text{ m}$. Kui suure ruumala võtavad enda alla puud ja kui suure ruumala puuhalgude vahelised tühimikud? Kuiva kasepuu erikaal on $0,7 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$ ja mahukaal $0,42 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$.

10. Kuidas muutub heinte mahukaal, kui heinad kokku pressida?

11. Kolmetonnise veoauto kasti pikkus on $3,1 \text{ m}$ ja laius $2,1 \text{ m}$. Kui paksu kihi liiva võib laadida selle auto kasti?

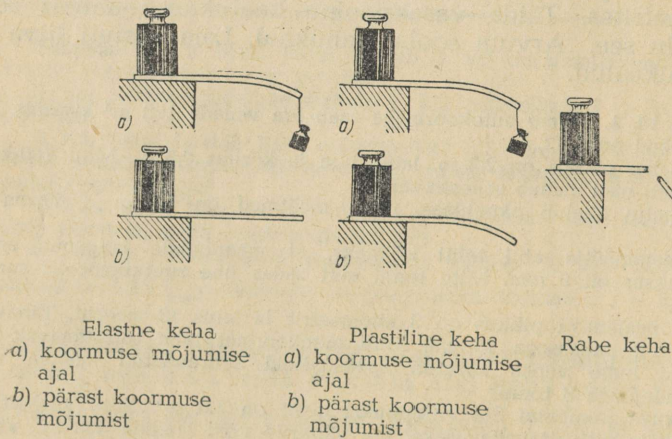
12. Mitu tonni liiva kulub 1 km pikkuse ja 2 m laiuse tee katmiseks 3 cm paksuse liivakihiga?

13. Mitu tonni kartuleid mahub keldrisse, mille põranda pindala on 40 m^2 ? Kartulikihi kõrgus ei või olla suurem kui 75 cm .

14. Neljateljelise raudteevaguni kandejõud on 50 T ja tema maht 90 m^3 . Kas selle vaguni võib laadida nisu täis või ei?

JÕUD JA KEHA MASS

26. Tahke keha omadusi. Kui kinnitada terasvarb ühte otsa pidi laua külge ja riputada teise otsa külge mingi koormus, siis varb paindub kõveraks. Võttes koormuse ära, omandab terasvarb jälle endise kuju. Kui korraldada sama katse vaskvarvaga, siis pärast koormuse äravõtmist ei omanda see enam esialgset kuju, vaid jääbki kõveraks. Klaaspulka ei õnnestu aga üldse painutada, sest see murdub katki (joon. 48).



Joon. 48. Elastne, plastiline ja rabe keha.

Seega näeme, et erinevast ainest kehad käituvad nende kuju muutmisel ehk deformeerimisel erinevalt.

Kehi, mis pärast deformeerimist omandavad uuesti esialgse kuju, nimetatakse elastseteks (terasvedru, kummipall).

Kehi, mis säilitavad deformeerimisel omandatud uue kuju, nimetatakse plastilisteks (vask, tina, sav).

Kehi, mis juba väikese deformatsiooni tõttu purunevad, nimetatakse rabedateks (klaas, portselan, mitmesugused kivimid).

Enamasti on ühel ja samal kehal nii elastsuse, plastilisuse kui ka rabeduse omadused. Nii näiteks on isegi selline rabe keha nagu klaas teataval määral elastne ja plastiline. Kui pikka klaasitoru veidi painutada, siis pärast painutamist omandab ta esialgse

kuju. Kui toetada klaastoru otsad mingisugustele esemetele ja siduda toru keskkoha külge koormus, siis pärast mõne kuu möödumist näeme, et toru on paindunud kõveraks.

Keha nimetatakse elastseks, plastiliseks või rabadaks sõltvalt sellest, milline nendest omadustest iseloomustab keha kõige suuremal määral.

Harjutus 14. 1. Millist keha omadust (elastsust, plastilisust või rabadust) kasutatakse metallesemete valmistamisel sepikojas? heli tekitamisel keelpilli abil? vibuga laskmisel? jahu jahvatamisel veskis? tennisepalli löömisel reketiga? jää purustamisel jäälõhkuja abil? savinõude ja telliste vormimisel?

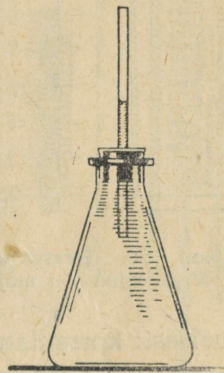
2. Joonisel 49 on kujutatud ääreni vedelikuga täidetud klaaskolb, mis on tihedalt suletud korkiga. Korgist ulatub läbi lahtiste otstega klaastoru. Vedelikupind ulatub toru keskkoha. Kuidas on võimalik tõsta vedelikupinda torus ilma klaastoru ja korki puudutamata ning ilma kolbi soojendamata?

27. Jõud. Me oleme juba õppinud tundma Maa külgetõmbejõudu ehk raskusjõudu. Peale raskusjõu on aga olemas ka mitmesuguseid teisi jõude. Selleks et kõndida trepist üles, nihutada paigast lauda või kappi, tõmmata katki nõõri või suruda labidas maasse, tuleb rakendada lihaste pingutust ehk jõudu. Kui traktor veab sahka, siis ütleme, et sahale mõjub traktori veojõud. Tuul, rõhudes puid, maju ja teisi esemeid, mõjutab neid samuti jõuga.

Kõikidel juhtudel, kus üks keha mõjutab (tõukab, tõmbab, painutab, surub kokku jne.) teist keha, öeldakse, et sellele teisele kehale mõjub jõud.

Kehale mõjuv jõud võib esile kutsuda keha deformatsiooni, s. o. keha kuju muutuse. Nii näiteks võib lihaste jõu abil keerata üles kella- või grammofonivedru, suruda lapikuks kummipalli, tõmmata pingule vibu või pillikeelt.

Jõud võib panna aga ka keha liikuma, peatada liikuva keha või muuta liikumise suunda. Näiteks raske rongi liikumapanemiseks peab vedur arendama suurt tõmbejõudu. Selleks et jalgratast järsult pidurdada, tuleb tugevasti suruda pedaalile jne.

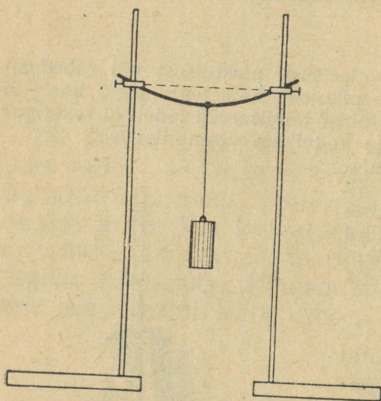


Joon. 49. Ulesande nr. 2 juurde.

Jõud on keha kuju või liikumise muutumise põhjus.

Teame, et keha kaalu ehk raskusjõudu mõõdetakse grammides, kilogrammides või mõnedes teistes kaaluühikutes. Samades ühikutes võib mõõta ka ükskõik millist jõudu.

- Harjutus 15. 1.** Millise jõu abil pannakse liikuma taskukella osutid?
2. Too näiteid lühiajalistest jõududest ja jõududest, mis mõjuvad kaua aega.
3. Too näiteid, mil jõud paneb keha liikuma; muudab liikumise suunda; peatab või aeglustab liikumist; muudab keha kuju; purustab keha.

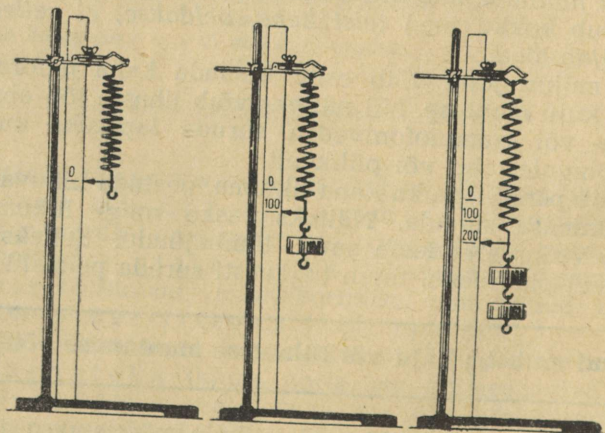


Joon. 50. Terasvarda paindumine jõu mõjul.

28. Jõud ja deformatsioonid. Et muuta elastse keha (kummipalli, terasvedru, saelehe) kuju, peame seda keha mõjutama jõuga. Asetame terasvarda (sukavarda) kahele toele (joon. 50) ja koormame varrast keskkohast koormusega 0,5 kG. Mõõdame, kui palju varda keskkohast paindus allapoole. Seejärel koormame seda varrast koormusega 1 kG, 1,5 kG ning mõõdame iga kord varda painde suuruse. Samasuguse katse võime korraldada ka vedru või kummipaela venitamise kohta (joon. 51). Nendest katsetest näeme, et keha deformeerub seda enam, mida suurem jõud temale mõjub.

Hoolsasti korraldatud mõõtmised näitavad, et

elastse keha deformatsioon on võrdeline kehale mõjuva jõuga.



Joon. 51. Vedru pikenemine on võrdeline temale mõjuva jõuga.

See seadus on kehtiv ainult teatud jõu suuruseni. Kui elastset keha mõjutada küllalt suure jõuga, siis keha kas puruneb või ei võta pärast jõu mõju lakkamist enam oma esialgset kuju, s. o. jääb deformeerituks. Nii jääb terasleht pärast liiga tugevat painutamist kõveraks ja terasvedru väljavenitatuks.

29. Dünamomeeter. Eelmises paragrahvis väljendatud seos jõu ja jõu poolt elastsele kehale tekitatud deformatsiooni vahel lubab deformatsiooni kaudu mõõta jõudu.

Jõu mõõtmiseks kasutatakse dünamomeetreid (joon. 52). Dünamomeetri põhiosaks on terasvedru, mille üks ots on kinnitatud dünamomeetri raami külge. Vedru teine, vaba ots on varustatud konksuga ja sellele rakendatakse mõõdetav jõud. Mida suurema jõuga vedrut venitame, seda enam ta pikeneb. Vedru külge on kinnitatud osuti, mis näitab mõõdetava jõu suurust. Jõu mõõtmisel dünamomeetriga tuleb hoolitseda, et mõõdetav jõud mõjuks vedru sihisega ületaks lubatud piiri, sest vastasel korral venib vedru välja.

30. Laboratoorne töö nr. 8. Dünamomeetri skaala valmistamine (dünamomeetri gradueerimine).

Töövahendid. Skaalata dünamomeeter, koormuste kogu, statiiv dünamomeetri kinnitamiseks, mitmesugused kehad, mõõdujoonlaud.

Töö käik. 1. Kinnita dünamomeeter vertikaalselt statiivi külge (joon. 54).

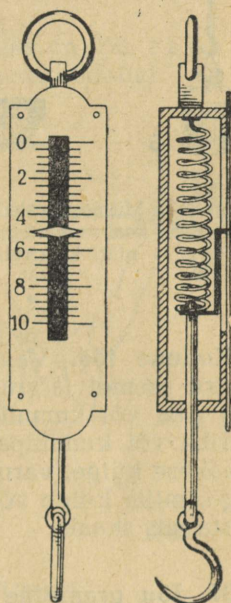
2. Märgi ära dünamomeetri osuti nullasend, tõmmates pliiatsiga osuti kohta vedru taga olevale valgele paberile kriipsu.

3. Koorma nüüd dünamomeetri vedrut järgemööda 100-, 200-, 300-, 400- ja 500-grammiste koormustega ja märgi iga kord kriipsuga ära osuti asend. Iga kriipsu juurde kirjuta vastava koormuse kaal.

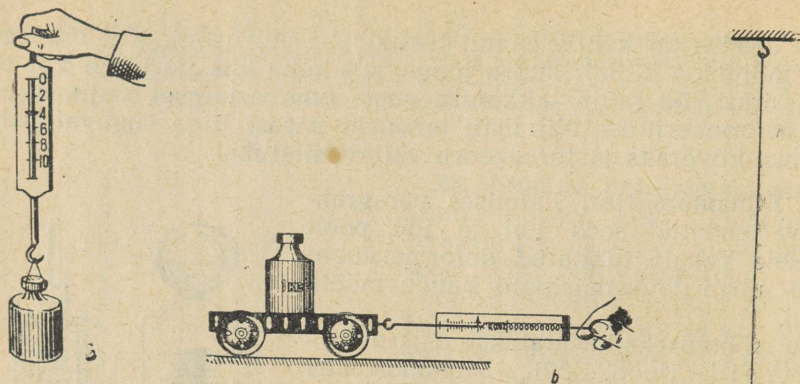
4. Mõõda mõõdujoonlaua abil skaala kõikide jaotuste pikkused. Mida võib öelda nende pikkuste kohta? Kui palju venib vedru 10-, 25- ja 50-grammise jõu mõjul?

5. Täienda skaalat uute kriipsukestega nii, et skaala iga jaotus vastab 50-grammisele jõule, kasutades ainult mõõdujoonlauda.

6. Mõõda dünamomeetri abil mitmesuguste kehade kaalud. Mõõtmisel hindka skaala jaotuse osi silma järgi.



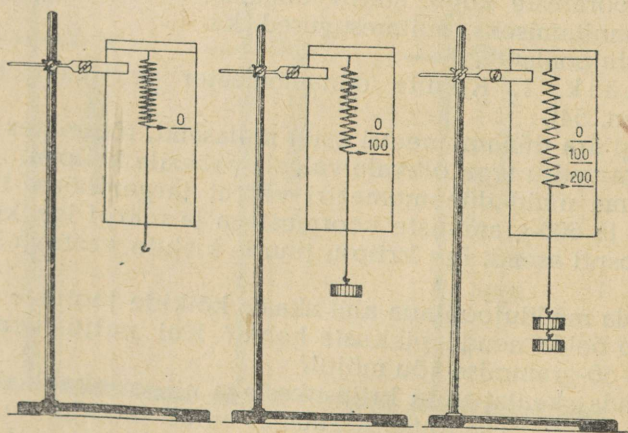
Joon. 52. Dünamomeeter.



Joon. 53. Mitmesuguste jõudude mõõtmine dünamomeetriga.
a — keha kaalu määramine, *b* — vankrikese veojõu mõõtmine,
c — niidi katkirebimiseks vajaliku jõu mõõtmine.

Kodune töö. Valmista dünamomeeter, kasutades vedru asemel jalgratta õhukummi tükist väljalõigatud riba või kummipaela. Selleks kinnita see kummiriba või kummipaek naelaga ühte otsa pidi puust lauakese külge, varusta see osutiga ja traadist konksuga, mille külge võib riputada koormuse, ning valmista siis skaala.

31. Jõu graafiline kujutamine. Nägime, et üheks jõu iseloomustajaks on tema suurus grammides, kilogrammides või

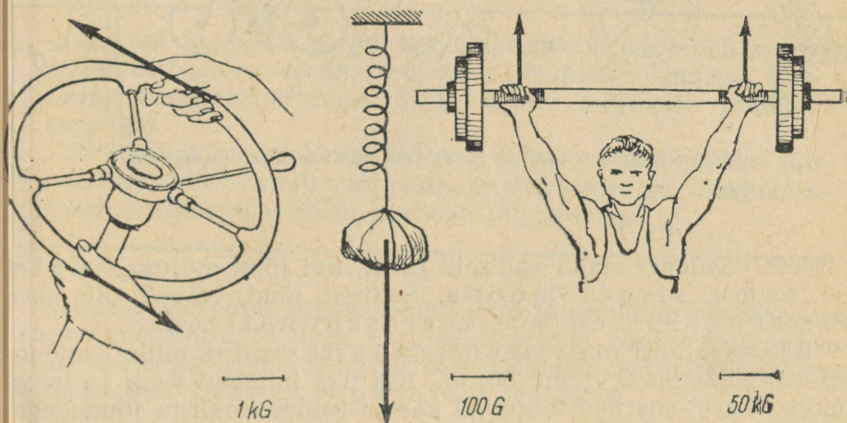


Joon. 54. Dünamomeetri skaala valmistamine.

teistes jõuühikutes. Jõu täielikuks iseloomustamiseks tema suurusest üksi siiski ei piisa. Kui me ütleme näiteks, et kelgule mõjub jõud suurusega 5 kG, siis ei ole selge, kas me tõmbame või tõukame kelku 5-kilogrammise jõuga, rõhume teda allapoole (s. t. asetame kelgule 5-kilogrammise koormuse) või tõstame ülespoole.

Seega iga jõudu iseloomustab mitte ainult tema suurus, vaid ka suund.

Kolmandaks jõudu iseloomustavaks tunnuseks on jõu rakenduspunkt, s. o. keha punkt, kuhu jõud on rakendatud.



Joon. 55. Näiteid jõu graafilisest kujutamisest.

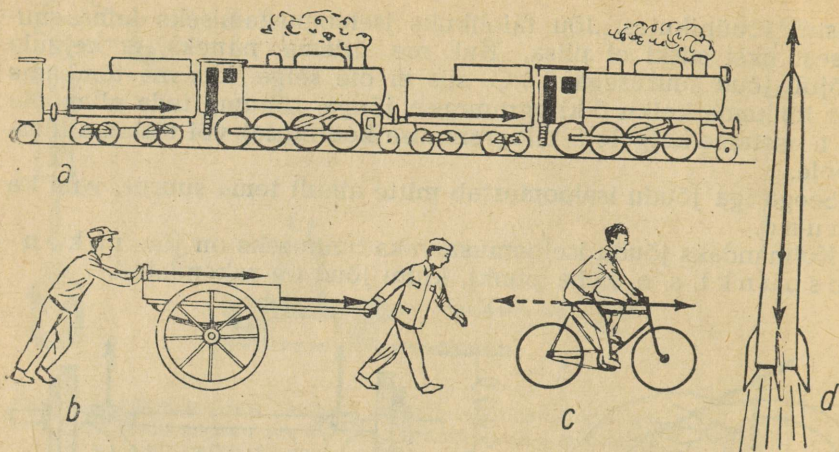
Jõu näitlikuks kujutamiseks märgitakse jõudu noolega. Noole pikkus näitab jõu suurust ja noole suund jõu suunda. Jõu suuruse kujutamisel tuleb anda mastaap. Noole algus näitab jõu rakenduspunkti.

Harjutus 16. 1. Kui suured on joonisel 55 kujutatud jõud?

2. Kujutage graafiliselt jõud 1 kG, 1,2 kG ja 600 G nii, et 100 grammile vastab 1 cm. Esimene jõud mõjub ülalt alla, teine vasakult paremale ja kolmas alt üles.

3. Kilogrammiline ja viiekilogrammiline viht on riputatud nõõride otsa. Joonistada nende nõõride alumistele otstele mõjuvad jõud, valides mastaabi vabalt.

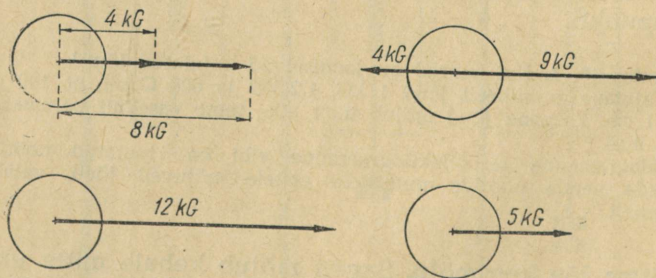
32. Mitme jõu koosmõju. Sageli mõjub kehale mitte üks, vaid mitu jõudu. Nii näiteks mõjub lennukile mootori veojõud, Maa külgetõmbejõud ehk lennuki kaal, õhutakistus ja rida teisi jõude. Kehale mõjuvad jõud võivad moodustada üksteisega väga mitmevõimuseid nurki ja nende mõju uurimine on sageli keeruline.



Joon. 56. Samasuunaliste ja vastassuunaliste jõudude näiteid.

Meie vaatleme ainult selliseid juhte, kui jõud mõjuvad ühte ja sama sirget mööda. Sellised jõud võivad olla kas samasuunalised või vastassuunalised.

Raskekaalulist rongi veavad sageli kaks vedurit, mille veojõud on samasuunalised (joon. 56, a). Kui üks inimene veab ja teine lükkab käru, siis nad mõjuvad kärule samasuunaliste jõududega (joon. 56, b). Vastutuult sõitvale jalgrattale ja vertikaalselt üleslendavale raketile mõjuvad aga vastassuunalised jõud (joon. 56, c ja 56, d). Esimesel juhul on nendeks jõududeks jalalihaste abil tekitatud veojõud ja tuule rõhumisjõud, teisel juhul aga raketi kaal (üalt alla) ja gaaside kiirel väljapaiskumisel tekkiv tõukejõud (alt üles).



Joon. 57. Kahe samas suunas mõjuva jõu resultantjõud võrdub nende jõudude summaga ($8 + 4 = 12 \text{ kg}$), kahe vastassuunas mõjuva jõu resultantjõud aga nende jõudude vahega ($9 - 4 = 5 \text{ kg}$).

Mitut jõudu võime enamasti asendada üheainsa jõuga. Nii näiteks on täiesti ükskõik, kas üks inimene veab kelku 16-kilogrammise jõuga või kaks inimest kumbki 8-kilogrammise jõuga. Kui vedada kelku 20-kilogrammise jõuga ja takistada kelgu vedamist 8-kilogrammise jõuga (s. t. vedada seda vastassuunas), siis liigub kelk täpselt samuti, nagu talle mõjuks üksainus jõud suurusega $20 - 8 = 12$ kG.

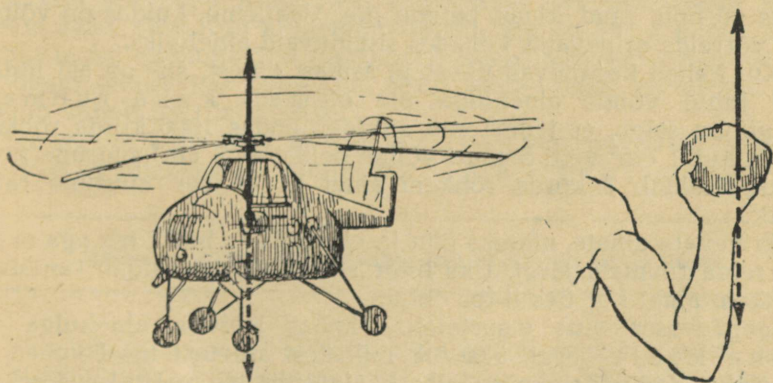
Jõudu, mis avaldab kehale samasugust mõju nagu mitu jõudu üheskoos, nimetatakse nende jõudude resultantjõuks.

Katsed näitavad, et

1) ühel ja samal sirgel mõjuva kahe samasuunalise jõu resultantjõud on võrdne mõjuvate jõudude summaga, kusjuures resultantjõu suund ühtib nende mõjuvate jõudude suunaga;

2) ühel ja samal sirgel mõjuva kahe vastassuunalise jõu resultantjõud võrdub mõjuvate jõudude vahega, kusjuures resultantjõu suund ühtib suurema jõu suunaga.

Kui paigalseisvale kehale mõjub ühel ja samal sirgel kaks vastassuunalist võrdset jõudu, s. t. resultantjõud võrdub nulliga, siis keha jääb nende jõudude mõjul ikkagi paigale. Sel juhul öeldakse, et need jõud tasakaalustavad teineteist.



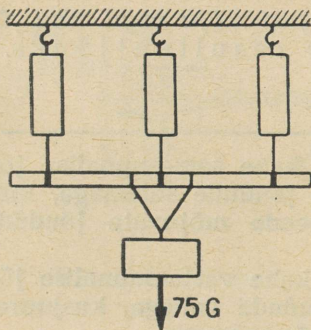
Joon. 58. Tasakaalustavate jõudude näiteid.

Kui näiteks helikopter seisab õhus paigal, siis tema propelleri veojõud tasakaalustab helikopteri kaalu (joon. 58). Hoides käes mingit keha, rakendame kehale vertikaalselt üles suunatud jõudu. See jõud tasakaalustab keha kaalu.

Harjutus 17. 1. Kui suur on tasakaalustavate jõudude resultantjõud?

2. Kultivaatori liikumapanemiseks tuleb rakendada jõudu 400 kG ja äkke liikumapanemiseks jõudu 95 kG. Kas lintraktor DT-54, mille veojõud on 1750 kG, jõuab enda järel vedada korraga kahte kultivaatorit ja kaheksat äket?

3. Kui palju näitavad joonisel 59 kujutatud dünamomeetrid?



Joon. 59. Ülesande nr. 3 juurde.

4. Dünamomeetri mõõdupiirkond (s. o. suurim jõud, mida saab dünamomeetriga mõõta) on 100 G. Kuidas saab mitme sellise dünamomeetriga mõõta jõude, mis on suuremad kui 100 G?

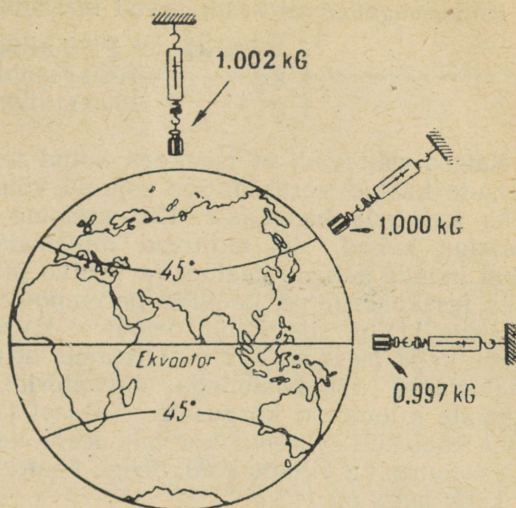
33. Keha mass. Kõik kehad koosnevad mingist ainest. Aineteks on puu, raud, klaas, betoon jne. Vaatleme, kuidas on võimalik võrrelda erinevates kehtes sisalduvaid ainehulki.

Kui kehad koosnevad ühest ja samast ainest, siis on asi lihtne. Sel juhul võime ainehulga üle otsustada keha ruumala järgi. On selge, et 1 dm^3 vett sisaldab endas 1000 korda rohkem ainet kui 1 cm^3 vett. Samuti võime öelda, et 7 cm^3 suurune rauatükk sisaldab 7 korda rohkem ainet kui 1 cm^3 suurune rauatükk.

Erinevate ainete, näiteks õhu ja elavhõbeda hulki me aga ei saa võrrelda ruumala järgi. Üks liiter elavhõbedat sisaldab tunduvalt rohkem ainet kui üks liiter õhku.

Igapäevases elus otsustatakse kehas leiduva ainehulga üle keha kaalu järgi, ükskõik millistest ainetest need kehad ka ei oleks. Kui näiteks päts leiba kaalub niisama palju kui ühekilogramm kaaluvihht, siis ütleme, et päts leiba ja kaaluvihht sisaldavad ühepalju ainet. Katsed näitavad, et maakera antud kohas on kaalu järgi ainehulkade võrdlemise viis täiesti õige. Kui aga vaatleme maakera eri kohtades ja erinevatel kõrgustel asuvaid kehi, siis näeme, et ka kaal ei kõlba ainehulga mõõtmiseks, sest maakera erinevates kohtades ei ole keha kaal (s. o. Maa külgetõmbejõud) ühesuurune. Rahvusvaheline algkilogramm kaalub ainult 45-ndal laiuskraadil merepinna kõrgusel täpselt 1 kG, kuna

Joon. 60. Maakera erinevates punktides on keha kaal erinev. Keha, mis 45-ndal laiuskraadil kaalub 1 kG, kaalub ekvaatoril 0,997 kG ja poolusel 1,002 kG.



ekvaatoril on tema kaal 0,997 kG ja poolusel 1,002 kG (joon. 60). Algkilogrammis, samuti nagu igas teises kehas, aga ei olene sisalduv ainehulk keha asukohast.

Keha kaal sõltub veel keha asukoha kõrgusest. 6400 kilomeetri kõrgusel on keha kaal 4 korda väiksem kui keha kaal maapinnal. Kui viia see keha Kuule, siis tuleb tema kaaluks lugeda mitte enam Maa, vaid Kuu külgetõmbejõudu. See on aga 6 korda väiksem kui külgetõmbejõud maapinnal. Kehas sisalduv ainehulk aga ei olene sellest, kas keha asub Maal, mõnel teisel taevakehal või liigub vabalt maailmaruumis.

Näeme, et keha kaal ei sobi alati ainehulga mõõduks. Seetõttu on võetud füüsikas kasutusele uus suurus — k e h a m a s s.

Kehas sisalduva ainehulga mõõduks on keha mass.

Massiühikuks on võetud rahvusvahelise algkilogrammi mass. Massiühikut nimetatakse nii nagu kaaluühikutki kilogrammiks, kuid erinevalt kaaluühikust (1 kG) tähistatakse teda 1 kg. Ka teised massiühikud kannavad samu nimetusi nagu vastavad kaaluühikudki, kuid erinevalt kaaluühikute nimetustest kasutatakse massiühikute nimetustes ainult väikseid tähti.¹

¹ Selleks et massi- ja jõuühikud segi ei läheks, on viimasel ajal hakatud jõudu mõõtma kilogrammide ja grammide asemel pondide ja kilopondidega. 1 p = 1 G ja 1 kp = 1 kG.

Kõige sagedamini kasutatavad massiühikud on järgmised:

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

Katsed näitavad, et maakera antud kohas on võrdse massiga kehade kaalud võrdsed. See asjaolu võimaldab masside mõõtmiseks kasutada kangkaale. Kui asetame kaalukaussidele võrdse massiga kehad, siis mõjuvad mõlemale kaalukangile võrdsed jõud (nende kehade kaalud) ja kaalud jäävad tasakaalu. Kui näiteks tasakaalustatud kaalude parempoolsel kaalukaasil on vihid massiga 112 g, siis võime öelda, et ka vasakpoolsel kaalukaasil oleva keha mass on 112 g. Oletame, et me läheme selliste tasakaalustatud kangkaaludega ekvaatorile, poolusele või mõne tuhande kilomeetri kõrgusele. Ka seal jäävad kaalud tasakaalu: keha kaal küll suurenes või vähenes, kuid niisama palju suurenes või vähenes ka vihtide kaal. Seega kaalud näitavad meile ka seal, et keha mass on 112 g.

Teisiti on aga lugu vedrukaaludega (dünamomeetritega). Vedrukaalu näit sõltub jõust, millega vedru on välja venitatud (s. o. keha kaalust), mitte aga dünamomeetri otsa riputatud keha ainehulgast (massist). Kui paneme 1-kilogrammise massiga vihi vedrukaalu otsa, siis poolusel näitab see 1,002 kG, ekvaatoril 0,997 kG ja Kuul kõigest veidi üle 160 G.

Keha kaal muutub aga maakera ulatuses võrdlemisi vähe. Kui meil ei ole tegemist väga täpsete mõõtmistega, siis võime kaalu muutuse jätta arvestamata. Sel juhul võime öelda: keha kaal (G-des, kG-des või T-des) võrdub arvuliselt keha massiga (g-des, kg-des või t-des).

Harjutus 18. 1. Kas kangkaalud näitavad kaalutava eseme massi või kaalu? Mida näitavad vedrukaalud?

2. Kui palju kaalub 1 liiter vett ekvaatoril? poolusel?

3. Kui suur on ühe liitri vee mass ekvaatoril? poolusel?

4. Kas me toiduainete ostmisel oleme huvitatud nende kaalust või massist?

5. Laev veab kaupa Leningradist Kalkuttasse (India). Milline ebaseeldivus juhtuks, kui kauba pealelaadimisel Leningradis ja mahalaadimisel Kalkuttas mõõdetakse kaupa vedrukaaludega?

6. Odessa sadamast (asub umbes 45-ndal laiuskraadil) väljub laev kaaluga 10 000 tonni. Kui suur on laeva mass ja kaal ekvaatoril?

7. Tõsterekordite registreerimisel võetakse aluseks tõstekangi mass. Kas see on õige?

8. Sportlane tõstab 45-ndal laiuskraadil üles tõstekangi, mille mass on 150 kg. Kui suure massiga tõstekangi jõuaks sportlane üles tõsta ekvaatoril? Kas selline sportlane suudaks Kuul üles tõsta sõiduauto «Moskvitš»? «Moskvitši» mass on 855 kg.

RÕHUMINE JA RÕHK

34. Rõhumisjõud. Hooned, sillad, sõidukid ja paljud teised kehad rõhuvad enda all olevat pinda — toetuspinda. Samuti rõhub tugev tuul maja katust, viil viilitavat eset, inimese selg tooli seljatuge, anumad olev vedelik anuma põhja ja külgliseinu jne.

Alati, kui keha rõhub mingit pinda, mõjub ta sellele pinnale jõuga. Seda jõudu nimetatakse rõhumisjõuks.

Ühele ja samale pinnale mõjuvad rõhumisjõud võivad olla oma suuruse poolest erinevad.



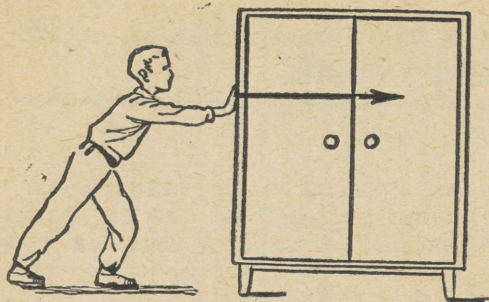
Joon. 61. Kivi rõhub maapinda.

Joon. 62. Inimene koos kiviga rõhuvad maapinda.

Maapinnal lamav kivi rõhub maapinda enda all (joon. 61). Sel korral on rõhumisjõuks kivi kaal. Kui kivile astub inimene, siis rõhumisjõud pinnale suureneb inimese kaalu võrra (joon. 62).

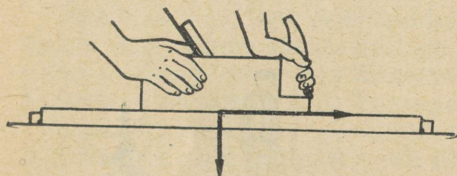
Raskem keha rõhub toetuspinda tugevamini kui kergem keha.

Rõhumisjõud võivad üksteisest erineda ka oma suuna poolest. Lükates paigalt kappi, mõjume temale horisontaalselt suunatud jõuga (joon. 63). Auto tõstmisel surub tungraud autot vertikaalselt üles. Mõlemal juhul mõjub siin jõud risti keha pinnaga. Kuid alati ei tarvitse jõud mõjuda risti keha pinnaga. Nii näiteks



Joon 63. Kapi paigalt nihtamisel rõhume teda jõuga, mis on risti kapi külgeinaga.

surume hõõveldamisel hõõvlit vastu lauda, kuid samal ajal lükame teda ka piki laua pinda (joon. 64). Ainult osa hõõvlile rakendatud jõust on lauapinnaga risti (F_1). See ongi rõhumisjõud. Jõu teise osa (F_2) mõjul liigub hõõvel piki lauda ja lõikab laastu.



Joon. 64. Hõõveldamisel mõjub lauale kaks jõudu. Nendest on rõhumisjõuks ainult see, mis mõjub risti lauaga.

Keha pinnaga risti mõjuvat jõudu nimetatakse rõhumisjõuks.

Enamasti toetuvad kehad rõhtsale pinnale. Rõhtsale pinnale toetuva keha kaal on aga risti selle pinnaga. Sel juhul ongi keha kaal rõhumisjõuks.

Edaspidi vaatlemegi ainult selliseid juhte, kus rõhumisjõuks on keha kaal.

Nii nagu kõiki teisigi jõude, väljendame ka rõhumisjõudu grammides ja kilogrammides.

Harjutus 19. 1. Mis suunas mõjub rõhumisjõud, kui suruda rõhknael teadaannete tahvlisse?

2. Uksteise peale on laotud 10 telliskivi. Iga kivi kaalub 3,8 kG. Kui tugevasti rõhub niisugune telliskivide vörn maapinda?

3. Traktor DT-54 kaalub 5400 kG. Ta toetub kahele roomikule nji, et kummalegi roomikule tuleb ühesuurune osa traktori kaalust. Kui suure jõuga rõhutakse maapinda kummagi roomiku all?

4. Aeda on taimede kastmiseks üles seatud neljale sambale toetuv veepaak. Paak kaalub tühjalt 80 kG ja iga samm 20 kG. Paagi maht on 0,2 m³. Kui tugevasti rõhub iga samm maapinda juhul, kui paak on veega täidetud?



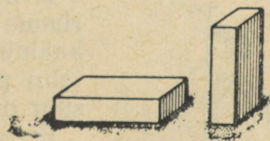
Joon. 65. Suuskadel liikuja ei vaju lumme.

35. Rõhk. Kõik me teame, et pehmes lumes kõndides vajume sügavalt lumme. Kui kinnitame aga jalgade alla suusad, siis võime lumel vabalt liikuda, ilma et vajuksime seejuures kuigi sügavale (joon. 65).

Hobune, kes kaalub umbes 360 kG, vajub pehmesse põllupinda umbes 10—15 cm võrra. Samal ajal aga traktor DT-54, mis kaalub 5400 kG, vajub samasse pinda kõigest 2—3 cm võrra.

Kuidas neid nähtusi selgitada?

Uurime selliseid nähtusi katse abil lähemalt. Niisutame liiva liivakastis või maapinnal ja teeme siis selle siledaks. Asetame nüüd liivale ühe tellise nii, et ta toetuks suurimale tahule,



Joon. 66. Erinevate tahkudega liivale toetuvad tellised vajuvad erinevale sügavusele.

teise aga nii, et see toetuks väikseimale tahule (joon. 66). Kuigi tellised on üheraskused ja nende rõhumisjõud liivale võrdsed, ei vaju nad siiski liivasse ühele ja samale sügavusele. Näeme, et väikseimale tahule toetuv tellis vajub sügavamale. Miks on see nii? See on sellepärast, et suuremale tahule toetudes jaotub tellise kaal suuremale toetuspinnaile ja igal pindalaühikul tuleb kanda väiksemat osa raskusest kui tellise toetumisel väikseimale tahule.

Sellest katsest näeme, et suurem toetuspind talub rõhumist paremini kui väiksem. Kinnitades jalgade alla suusad, suurendame tunduvalt oma toetuspinda ning seetõttu jaotub meie keha kaal palju suuremale pindalale, kui seda on meie jalatallad.

Roomiktraktor DT-54, toetudes kahele laiale roomikule, ei vaju sellepärast kuigi sügavale, et ta kaal jaotub nendele roomikutele ning siin tuleb pindalaühikule tunduvalt väiksem jõud kui pindalaühikule hobuse kapjade all.

Toetuspindala ühikule mõjuvat rõhumisjõudu nimetatakse rõhuks.

36. Rõhu arvutamine. 1. Kivisammas, mis kaalub 600 kG, toetub otsatahule, mille pindala on 800 cm^2 . Kui suur on kivisamba rõhk tema all olevale pinnale?

Rõhu arvutamiseks tuleb leida samba rõhumisjõud pindalaühikule. Tavaliselt võetakse pindalaühikuks ruutsentimeeter. Sammas rõhub seega ruutsentimeetrile jõuga $\frac{600}{800} = 0,75$ kilogrammi.

Kasutades rõhu mõistet, ütleme nüüd, et rõhk samba toetuspinna peal on $0,75$ kilogrammi ruutsentimeetri kohta.

Kuna rõhu arvutamisel jagasime jõu suuruse kilogrammides toetuspinna suurusega ruutsentimeetrites, siis rõhu ühikuks saame $\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$ (loetakse: kilogrammi ruutsentimeetri kohta). Tähistades rõhku tähega p , võime ülesande vastuseks kirjutada $p = 0,75 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.



Joon. 67. Ülesande 2 juurde.

2. Inimene, kes kaalub 68 kG, seisab suurimale tahule toetuval tellisel (joon. 67), mis kaalub 4 kG. Maapinnale toetuva tellise-tahu pikkus on 25 cm ja laius 12 cm. Kui suur on rõhk tellise all?

Et rõhku arvutada, peame teadma kogu rõhumisjõudu ja toetuspindala suurust, sest rõhk on toetuspindala ühikule mõjuv rõhumisjõud.

Tähistame kogu rõhumisjõu tähega F . See on võrdne inimese ja tellise kaalu summaga. Seega

$$F = 68 + 4 = 72 \text{ kG.}$$

Tellise toetuspindala tähistame tähega S .

$$S = 25 \cdot 12 = 300 \text{ cm}^2.$$

Nüüd võime arvutada rõhumisjõu ühele pindalaühikule ehk rõhu p .

$$p = \frac{72}{300} = 0,24 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}.$$

Nagu toodud kahest näitest selgub, peame rõhu arvutamiseks teadma rõhku põhjustava rõhumisjõu ja toetuspindala suurust. Rõhu saame, kui rõhumisjõu jagame toetuspindalaga.

Seega

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

ehk

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

Kui rõhumisjõudu väljendame kilogrammides ja toetuspindala ruutsentimeetrites, siis väljub rõhk $\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. Seda rõhu ühikut nimetatakse tehniliseks atmosfääriks ja tähistatakse sümboliga at . Seega

$$1 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ at}$$

Kuna $1 \text{ kG} = 1000 \text{ G}$, siis

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} = 1000 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}.$$

Harjutus 20. 1. Kuidas võib inimene põrandal seistes kiiresti oma rõhku põrandale kahekordistada?

2. Miks joonisel 68 kujutatud poiss, selleks et kõndida pehmel soopinnal, on kinnitanud jalataldade alla pajuviitest punutud «räätsad»?

3. Teatavasti on raske traktori rõhk pinnasele roomikute all niisama suur kui inimese taldade allgi. Kui telliskivi satub traktori roomiku alla, siis see puruneb. Kui aga inimene astub telliskivile, siis see ei purune. Kuidas seda selgitada?

4. Arvuta suusataja rõhk lumele, kui suusataja kaalub 60 kG ja kummagi suusa pikkus on 1,8 m ja laius 10 cm.

5. Kui raske on inimene, kelle taldade kokkupuutepindala maapinnaga on 160 cm², kui ta tekitab maapinnale rõhu 0,5 at?



Joon. 68. Ulesande 2 juurde.

6. Veepaak koos veega kaalub 1 T ning ta asetseb samba otsas, mille kaal on 200 kG. Kui suure põhjapindalaga peab olema samm, et rõhk maapinnale oleks 1,2 at?

7. Traktori rõhk maapinnale on $0,48 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. Roomikute kokkupeutepindala maapinnaga on 152 dm². Kui palju kaalub traktor?

8. Tellistest seina rõhk aluspinnale on $1,8 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. Kui kõrge on sein?

9. Arvuta tellistest vabrikukorstna suurim kõrgus, kui maksimaalne rõhk võib olla kuni $7 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.

10. Arvuta kuueteljelise veduri rõhk rööbastele, kui vedur kaalub 90 T ja ühe ratta toetuspindala on 15 cm².

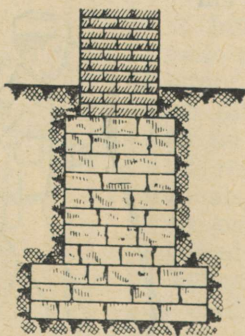
11. Jää jões kannatab rõhku $0,7 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. Kas saab sel jääl liikuda tankett kaaluga 2,5 T, mille roomikulindi laius on 300 mm ja lindi toetusosa pikkus on 1,8 m?

12. Põllupinna takistus sahale on $0,4 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$. Arvuta viiehõlmalise traktor-saha TPU-5 kogutakistus, kui ta haarde laius on 175 cm ja künni sügavus 30 cm.

13. Keskmise kvaliteediga silikaatkivi mark on 100. See tähendab seda, et niisugune kivi võib kannatada rõhku kuni $100 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.

Arvuta, kui kõrge samba võiks laduda nendest kividest, ilma et alumise kihid kivid samba enda raskuse mõjul ei puruneks.¹

37. Võtteid rõhu suurendamiseks ja vähendamiseks. Ehitustel ja transpordis vähendatakse sageli rõhku selleks, et hoone või transpordivahend ei vajuks pinnasesse. Rõhu vähendamiseks tuleb kas vähendada hoone või transpordivahendi kaalu või suurendada ta toetuspinda. Kaalu on võimalik vähendada ainult tea-

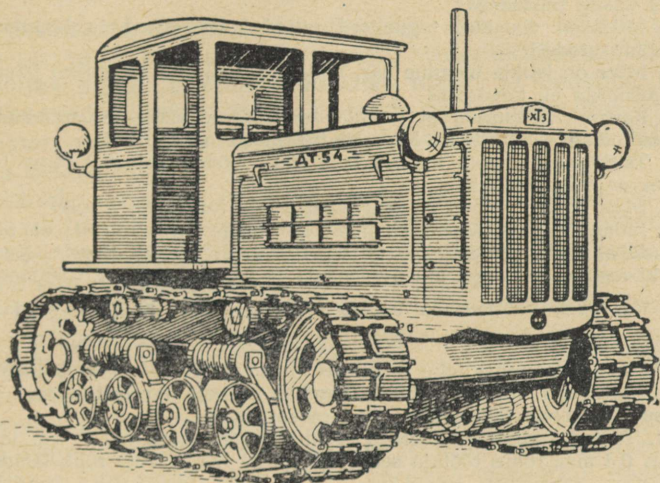


Joon. 69. Rõhu vähendamiseks ehitatakse vundamendi alla laiem tald.

¹ Selleks et ehitus juhuslike lisakoormuste või ehitusmaterjali vigade tõttu kokku ei variseks, ehitatakse ta umbes 10 korda madalam.

tud piirini. Laialdasemalt kasutatavam viis rõhu vähendamiseks on keha toetuspinna suurendamine.

Kui tahetakse ehitada hoonet, siis tehakse ta alla seinast laiem vundament ja selle alla veelgi laiem vundamendi tald (joon. 69). Niiviisi jaotub hoone kaal suurele pinnale — vundamendi talla aluspinnale. Kui pinnas on eriti pehme, siis valatakse hoone alla paks ja suure toetuspinnauga betoonplaat, millele ehitatakse vundament. Suure toetuspinnauga vundamendid ehitatakse ka raskete masinate alla.



Joon. 70. Traktor DT-54.

Selleks et raske sõiduk või veok (auto, traktor, tank) võiks liikuda pehmel teel, ilma et ta pinnasesse vajuks, tehakse selle sõiduki või veoki rattad laiad või pannakse ta liikuma roomikutele (joon. 70). Roomikuks on laiadest teraslülidest kokkuhaagitud lint, mis hammasrataste abil maha keritakse ja mille osad maapinnal sel ajal paigal seisavad, kui neil sõidab näiteks traktor. Kui traktor on roomiku teatud lülidest üle sõitnud, keritakse need pöörlevate hammasrataste abil jällegi maast üles, traktori rataste ette aga liiguvad uued lülid. Nii sõidab raske traktor pidevalt mööda lülidest koostatud kinnist roomikut. Kuna roomik on suure toetuspinnauga, siis vajub traktor väga vähe pinnasesse.

Kui on vaja mingit materjali töödelda lõikamise, raiumise, hõõveldamise, freesimise või puurimise teel, siis peab lõikeriist tungima töödeldavasse materjali. Töötlemine on seda kergem, mida väiksemat jõudu me peame seejuures rakendama. Selleks et lõikeriist tungiks kergesti töödeldavasse materjali, peab lõike-

riist olema terav, s. t. lõikeriista kokkupuutepind materjaliga peab olema väike. Lõikeriista teritamine seisnebki lõikeriista ja materjali kokkupuutepinna vähendamises.

Näiteks on terava labidaga kerge rohukamarast läbi suruda, nüri labidaga kaevamine on aga väga raske. Kergesti läheb läbi tallanaha terav naaskel, nael aga alles väga tugeva surve mõjul.

Harjutus 21. 1. Kuidas määrata rõhku rõhumisjõu ja toetuspinna suuruse abil?

2. Miks tehakse rohuniitja, külvimasina ja teiste põllul liikuvate masinate rattad laiade põidadega?

3. Miks on veoautol tagumised rattad kahekordsed ja kummid laiemad kui sõidautodel?

4. Miks on labida ülemine äär, millele kaevamisel surutakse jalaga, pööratud täisnurga all kõveraks?

5. Raudtee ehitamisel ei asetata terasrööpaid kohe tee muldkehale, vaid puupakkudele — liipritele. Millised ülesanded on liipritel?

6. Tsirkuseartist võib lamada laua sisse löödud paljudel teravatel naetel. Kuidas on see võimalik?

7. Miks pehmel istmel on mugavam istuda kui kõval istmel?

8. Mõne haiguse ravimisel pannakse haige lamama nii, et ta keha ei kõverduks. Selleks asetatakse ta kipsi pudrust tehtud alusele. Kuigi hiljem kips kõvastub, on haigel mugav lamada ja ta tunneb alust «pehmena». Miks?

9. Kas saab koormusega 10 kG tekitada rõhku $20 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$? Kuidas on see võimalik?

10. Tellise suurema tahu mõõtmed on 25 cm \times 12 cm ja ta kaalub 4 kG. Suurema tahuga vastu maapinda pandud tellisele on laotud veel 19 tellist. Kui suur on selle tellisevirna rõhk maapinnale?

11. Töötades sirge lõiketeraga labidaga, mille laius oli 20 cm ja lõiketera paksus 0,4 mm, rõhus töötaja sellele jõuga 24 kG. Arvuta rõhk labida tera all.

RÕHK VEDELIKKUDES JA GAASIDES

38. Vedelikkude omadusi. Igapäevases elus ja tehnikas puutume me iga päev kokku mitmesuguste vedelikkudega. Nii tarvitame toiduks piima, mootorite kütteks naftat ja bensiini. Paljud arstimid on vedelikud. Inimese, loomade ja taimede elus etendab väga tähtsat osa vesi. Vett tarvitame joomiseks, toidu valmistamiseks ja pesemiseks.

Vedelikkude omadusi on vaja teada näiteks selleks, et osata pumbaga saada vett kaevust või juhtida seda torusid mööda tarbimiskohale. Vedelikkude omadusi tundmata ei oskaks me ehitada laevu ega nendega sõita.

Üheks tähtsamaks vedelikkude omaduseks on nende voolavus, mis võimaldab mis tahes vedeliku valada ühest anumast teise. Jõgedes voolab vesi. Torusid mööda voolab nafta leiukohast sadade ja tuhandete kilomeetrite taha.

Kõik vedelikud ei ole aga ühte viisi voolavad. Mesi ja tõrv voolavad väga aeglaselt, vesi, piiritus ja piim aga tunduvalt kiiremini. Pärast valamist jääb hästi voolava vedeliku pealispind rõhtsaks. Halvasti voolav vedelik valgub anumast laiali aeglaselt. Tema valamisel tekib vedeliku langemise kohale kuhi, mis pikka mööda tasaseks vajub.

Hästi voolavad kõik gaasid. Nii voolab küttegaas torusid mööda Kohtla-Järvelt Tallinna ja teistesse linnadesse. Ka tuul pole midagi muud kui õhu voolamine.

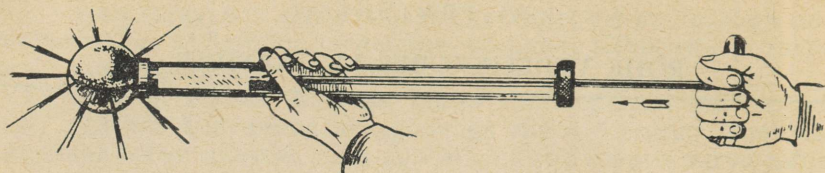
Harjutus 22. 1. Mis jõud paneb jões vee voolama?

2. Missuguses vedelikus on lusikat kergem liigutada — kas hästi voolavas või halvasti voolavas?

3. Kui asetame tüki pigi pikemaks ajaks kallakule lauale, valgub see mööda lauda laiali ja lõpuks voolab põrandale. Kas pigi on vedel või tahke aine?

4. Mida tuleb metalliga teha enne valamist? Miks?

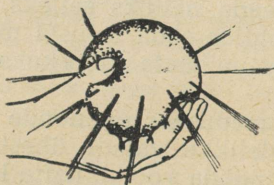
39. Rõhu edasiandmine vedelikkudes ja gaasides. Jälgime, kuidas annab vesi edasi rõhku. Sooritame katse õõnsa metallist keraga, millesse on puuritud rida peenikesi avasid nii, nagu on näha jooniselt 71. Kera külge on kinnitatud silinder, milles tihedalt liigub kolb. Täidame kera veega ja hoiame seda nii, et kõik avad oleksid ühel ja samal kõrgusel. Kui nüüd kolvi kaudu



Joon. 71. Kui kolvi abil rõhuda veele metallist keras, siis purskuvad kõikidest avadest välja ühetugevused veejoad.

rõhuda veele keras, siis näeme, et kõikidest avadest purskuvad välja ühetugevused veejoad. Sedasama võime tähele panna ka mingi teise vedeliku puhul.

Kui täita kera suitsuga ja suruda kolvile, siis väljuvad igast avast ühetugevused suitsujoad.



Joon. 72. Kui suruda veega täidetud aukudega pallile, siis purskuvad pallist välja igas suunas ühetugevused veejoad.

Eespool kirjeldatud katset võib sooritada ka kummipalliga, millesse on tulise traadiotsaga põletatud mitu ava. Surume palli kokku ja laseme ta vee all end vett täis imeda. Kui nüüd pallile tugevasti suruda, siis purskuvad igast avast ühetugevused veejoad (joon. 72).

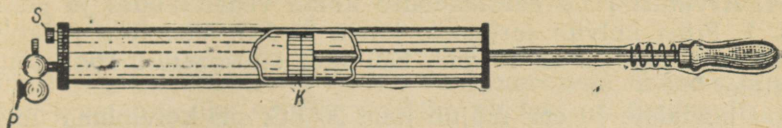
Neist katsetest järgneb, et

vedelikud ja gaasid annavad rõhku edasi igas suunas ühetugevuselt.

Katsete ja arutluste abil avastas selle seaduse kuulus prantsuse füüsik ja matemaatik Blaise Pascal (loe: blääs paskaal). Seetõttu nimetatakse seda Pascali seaduseks.

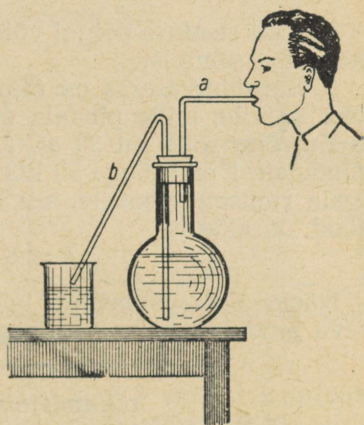
40. Riistad, mille töötamist saab selgitada Pascali seaduse põhjal.

a) Aiapriits. Aiapriitsi põhiosaks on silinder (joon. 73), milles liigub tihedalt varda otsa kinnitatud kolb. Silindri otsa kruvitakse pihusti. Kui täidame silindri vedelikuga ja rõhume kolvile, siis annab see rõhu edasi vedelikule, mis sõltuvalt pihusti ava läbimõõdust väljub pihustist kas tugeva joana või uduna. Aiapriitsi kasutatakse taimekahjurite hävitamiseks.



Joon. 73. Aiaprits. *K* — kolb, *S* — sõelaga varustatud ava vedeliku sisseimemiseks, *P* — pihusti vedeliku pihustamiseks.

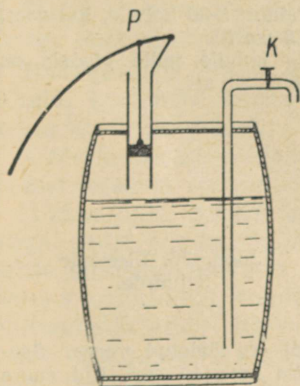
b) Puhkpudel. Vedelikude valamiseks suuremast pudelist, mida raske on kallutada, varustatakse see joonisel 74 kujutatud seadmega. Selleks seadmeks on kork, millesse puuritud avadest on läbi pistetud kaks klaastoru. Ühest torust voolab vedelik välja, teise kaudu aga puhutakse pudelisse õhku. Vedeliku väljavoolutoru *b* ulatub pudeli põhjani. See võimaldab pudelit täielikult tühjendada. Toru *a* on lühem ja ulatub ainult läbi korki.



Joon. 74. Vedeliku valamine puhkpudelist.

Puhudes torusse *a*, rõhume õhule pudelis. Õhk annab rõhu edasi vedelikule, see surutakse torusse *b* ja sealt anumasse.

Puhkpudeli põhimõttel töötab ka seljas kantav või ratastele asetatud aiaprits, millesse surutakse õhku õhutihenduspumba abil.



Joon. 75. Ulesande 5 juurde.

Harjutus 23. 1. Mõnikord juhtub, et toa ühe ukse sulgemisel avaneb sama toa teine uks. Missugustel tingimustel ja miks see juhtub?

2. Kui väikekaliibrilisest püssist tulistada keedetud muna, siis tekib munasse auk. Kui tulistada aga keetmata muna, siis puruneb kogu muna täielikult. Kuidas neid nähtusi selgitada?

3. Presendist tuletõrjevoolik on tühjalt lindikujuline. Millise kuju võtab voolik, kui sellesse lasta vett? Miks?

4. Kui tänavakastmise voolikus on auk, siis selle voolikuga töötamisel purskub august peenike veejuga. Miks august väljuv veejuga on risti voolikuga, kuigi vesi voolab piki voolikut?

5. Miks voolab kali vaadist välja kraani *K* avamisel (joon. 75), kui eelnevalt tekitada õhupumba *P* abil vedelikule suurendatud õhurõhk?

41. Arvutusi rõhu edasiandmise kohta vedelikkudes ja gaasides. 1. Pritsi kolvile surutakse jõuga 20 kG. Vedeliku ja kolvi kokkupuutepindala on 10 cm². Kui suur on vedeliku rõhk pritsi seintele?

Kui pindalale 10 cm² mõjub jõud 20 kG, siis kolvipinna ühele ruutsentimeetrile mõjub 10 korda väiksem jõud. Seega rõhk

$$p = \frac{20}{10} = 2 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} = 2 \text{ at.}$$

Pascali seaduse põhjal võime öelda, et niisama suur rõhk mõjub ka pritsi seintele.

2. Suruõhuvasaras on õhu rõhk 30 at. Kui suure jõuga surub õhk kolvile, mille pindala on 6 cm²?

Kui õhu rõhk on 30 at, siis tähendab see seda, et õhk mõjub pindalale 1 cm² jõuga 30 kG. Kuna niisama suur jõud mõjub kolvi igale ruutsentimeetrile, siis kogu kolvile mõjub 6 korda suurem jõud. Järelikult

$$F = 6 \cdot 30 = 180 \text{ kG.}$$

Näeme, et rõhumisjõu leidmiseks tuleb rõhk korrutada rõhulava pindala suurusega. Seega

$$\text{rõhumisjõud} = \text{rõhk} \cdot \text{pindala}$$

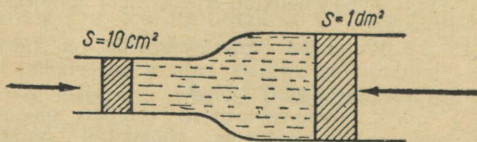
ehk

$$F = p \cdot S,$$

kus F on rõhumisjõud, S kolvi pindala ja p vedeliku või gaasi rõhk.

Harjutus 24. 1. Millise jõuga suruvad gaasid traktori S-80 kolvile, kui gaasi keskmine rõhk on 6,2 at ja kolvi pindala on 52,5 cm²?

2. Kui suur jõud on rakendatud mootorratta kolvile, mille pindala on 50 cm², kui gaasi plahvatamisel silindris tekib rõhk 30 at?

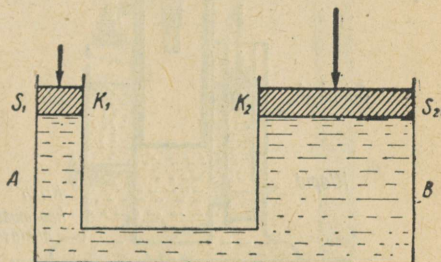


Joon. 76. Ülesande 3 juurde.

3. Horisontaalne kahe kolviga toru (joon. 76) on täidetud veega. Suurema kolvi ristlõike pindala on 1 dm², väiksema oma 10 cm². Kui suure jõuga tuleb suruda väiksemale kolvile, et suuremale kolvile mõjuks jõud 10 kG?

42. Hüdrauliline press. Hüdraulilise pressi abil võib väikese rõhumisjõuga saada suurt rõhumisjõudu.

Lihtsaim hüdrauliline press (joon. 77) koosneb kahest tugevasinilisest silindrist A ja B , mis on teineteisega ühendatud toru abil, kusjuures ühe silindri ristlõike pindala on tunduvalt väiksem teise omast. Kummaski silindris liigub tihedalt kolb. Kui nüüd rõhuda kolvi K_1 mingi jõuga, siis Pascali seaduse põhjal annab vedelik selle rõhu edasi ka kolvile K_2 . Kuna kolvi K_2 pindala on palju suurem kolvi K_1 pindalast, siis on ka vedeliku rõhumisjõud kolvile K_2 palju suurem rõhumisjõust kolvile K_1 .



Joon. 77. Hüdraulilise pressi põhimõtet selgitav skeem.

Olgu väiksema kolvi ristlõike pindala $S_1 = 3 \text{ cm}^2$ ja suurema oma $S_2 = 300 \text{ cm}^2$. Mõjuga väiksemale kolvile jõud 45 kG . Kui suur on vedeliku rõhk suuremale kolvile?

Arvutame väiksema kolvi rõhu vedelikule. See on võrdne ühele ruutsentimeetrile mõjuva jõuga. Seega $p = \frac{45}{3} = 15 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.

Niisama suur on ka vedeliku rõhk suuremale kolvile. Kuna suurema kolvi ristlõike pindala on 300 cm^2 ja igale ruutsentimeetrile mõjub jõud 15 kG , siis rõhumisjõud sellele kolvile on $F = 15 \cdot 300 = 4500 \text{ kG}$.

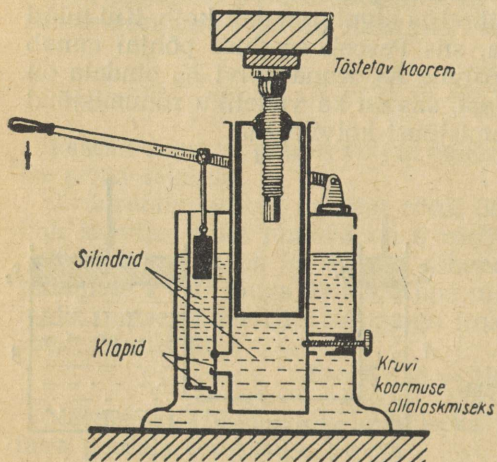
Seega näeme, et kasutades hüdraulilist pressi, võib väikese jõuga tekitada väga suurt jõudu.

Hüdraulilise pressi abil võib saada nii mitu korda suuremat jõudu, kui mitu korda on suurema kolvi pindala suurem väiksema kolvi pindalast.

Vedelikuna kasutatakse hüdraulilistes pressides õli, mis ei lase pressi terasosi roostetada, ei aurustu kergesti ega külmu.

Hüdraulilist pressi kasutatakse seal, kus on vaja rakendada väga suurt jõudu. Hüdrauliliste presside abil avatakse ja suletakse silluseid laevade sildadest läbilaskmiseks, pressitakse tihe-dateks pakkideks kohedaid aineid (puuvilla, heinu), proovitakse ehitusmaterjalide tugevust, pressitakse seemnetest õli, stantsitakse sõiduautode keresid jne. Ka autopidurid ja auto hüdrauliline tungraud (joon. 78) töötavad hüdraulilise pressi põhimõttel.

Hüdraulilised pressid võimaldavad saada suurimaid tehnikas rakendatavaid jõude. Hiiglapressid võivad arendada jõudu üle 14 miljoni kilogrammi.



Joon. 78. Hüdraulilise tungraua ehituse skeem.

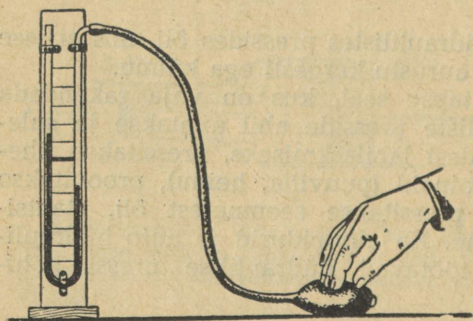
Harjutus 25. 1. Kui suure jõuga mõjub rõhu 8 at all olev aur kolvile, mille pindala on 300 cm^2 ?

2. Hüdraulilise pressi suurem kolb tõstab koormust 600 kG, kusjuures väiksemale kolvile on rakendatud jõud 15 kG. Suurema kolvi pindala on 160 cm^2 . Kui suur on väiksema kolvi pindala?

3. Selgita joonisel 78 toodud auto hüdraulilise tungraua töötamise põhimõtet.

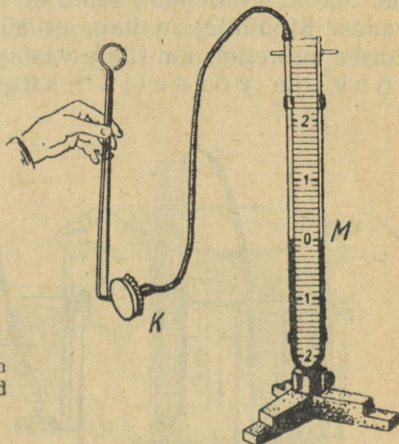
4. Auto hüdraulilise tungraua väiksema kolvi pindala on $1,2 \text{ cm}^2$, suurema pindala aga 1440 cm^2 . Kui suurt koormat võib tõsta selle tungrauaga, kui väiksemale kolvile rõhuda jõuga 60 kG?

43. Rõhu mõõtmine U-toru-manomeetriga. Võtame U-kujuliselt kõverakspainutatud klaastoru ja valame selsse mingit vedelikku. Näeme, et toru mõlemas harus tõuseb vedeliku nivoo ühekõrgu-



Joon. 79. Kui suruda kummi-balloonile, siis tõuseb vedeliku nivoo toru ühes harus.

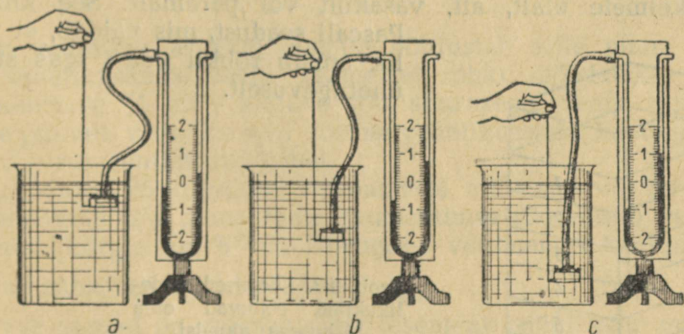
sele. Tõmbame nüüd toru ühte otsa kummivooliku, mille teises otsas on kinnine kummiballoon. Kui suruda seejärel ballooni sõrmega (joon. 79), siis näeme, et klaastoru ühes harus vedeliku tase tõuseb, teises aga langeb. See on tingitud sellest, et õhk annab rõhumise edasi vedelikule, mille tõttu vedeliku tase selles harus surutakse alla, teises harus aga tõuseb üles. Niisugune riist on lihtne U-toru-manomeeter, millega võime rõhku mõõta.



Joon. 80. U-toru-manomeetriga on ühendatud kummikelmega varustatud karbide K.

Rõhu mõõtmiseks vedelikkudes peame kirjeldatud U-toru-manomeetrit täiendama plekk-karbiga, millel kaane asemel on kummikelme. Karbi põhjast väljub toru, mis kummivooliku abil ühendatakse U-toru-manomeetriga (joon. 80).

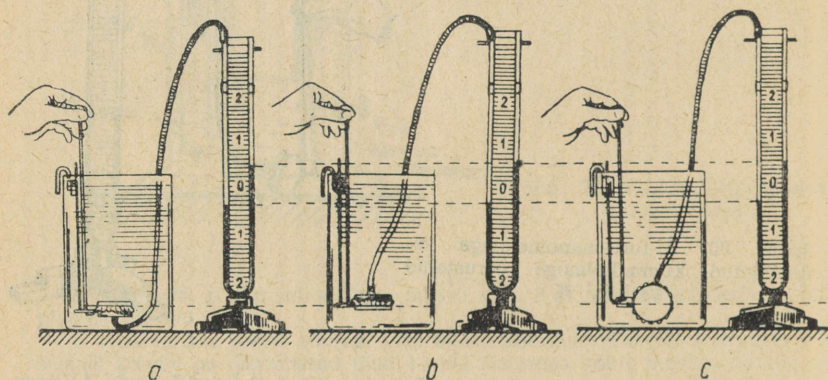
Vajutades sõrmega karpi sulgevale kummikelmele, rõhume seega ka õhku karbis, mis annab niisama tugeva rõhu edasi õhule kummivoolikus. See omakorda annab rõhu edasi vedeli-



Joon. 81. Rõhu mõõtmine vedelikus U-toru-manomeetriga.

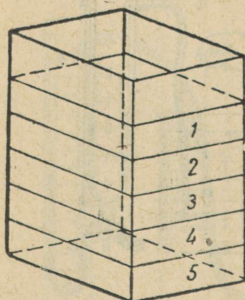
kule U-torus, mille tagajärjel vedeliku nivoo toru ühes harus langeb, teises aga tõuseb.

44. Vedeliku kaalust sõltuv rõhk. Asetame kummikelmega suletud ja manomeetriga ühendatud karbi vette (joon. 81). Näeme, et manomeetri torudes ei jää vedeliku nivood enam ühekõrgusele, sest vesi rõhub kummikelmet. Viies karbikese järjest sügavamale vette, suureneb vedeliku nivoo vahe manomeetris. See aga tähendab seda, et rõhk vees suureneb sügavuse kasvades. Mõõtmise näitab, et sügavuse kasvades kaks või kolm korda suureneb ka rõhk vastavalt kaks või kolm korda. Seega rõhk on võrdeline sügavusega.



Joon. 82. Vee rõhk kummikelmele ei muutu, kui ei muutu kummikelme keskmine sügavus.

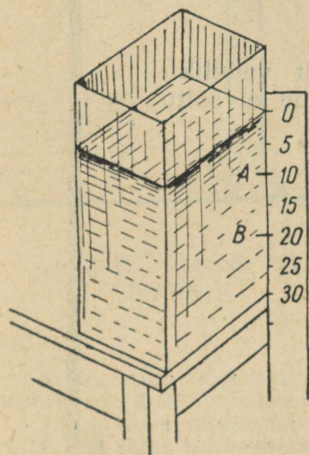
Jätame nüüd karbi ühele ja samale sügavusele ning pöörame teda nii, et kummikelme keskpunkti sügavus ei muutu (joon. 82). Näeme, et rõhk ei muutu vaatamata sellele, kas vesi rõhub kummikelmele ülalt, alt, vasakult või paremalt. See kinnitab Pascali seadust, mis väidab, et vedelik annab rõhku edasi igas suunas ühetugevuselt.



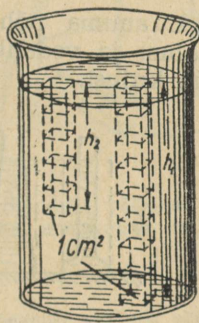
Joon. 83. Ülemised vedelikukihid rõhuvad oma raskusega alumisi.

Vedeliku kaalust sõltuvat rõhku võime selgitada veel järgnevalt. Jaotame mõttes vedeliku kihtideks (joon. 83). Iga vedeliku kiht omab kaalu ja rõhub seetõttu allpool olevaid kihte. Nii rõhub kiht 1 kihti 2, kiht 2 annab edasi kihi 1 rõhu ja ka tema oma kaalust põhjustatud rõhu kihile 3. Kiht 3 omakorda annab edasi temast pealpool olevate kihtide ja oma kaalust põhjustatud rõhu kihile 4 jne. Seega suureneb rõhk anuma põhja poole minnes ja on põhjale kõige suurem.

Vedelik rõhub ka anuma külgliseinu ning see rõhk suureneb samuti võrdeliselt sügavusega. Nii rõhub vedelik punktis B anuma seinu kaks korda tugevamini kui punktis A (joon. 84), sest punkt B on kaks korda sügavamal kui punkt A.



Joon. 84. Rõhk vedelikus suureneb võrdeliselt sügavusega.



Joon. 85. Rõhk vedeliku sees on võrdne vertikaalse vedelikusamba kaaluga, mille põhja pindala on 1 cm^2 .

Rõhk vedelikus asuvale pinnale põhjustab selle pinna kohal oleva vedelikusamba kaalu. Teame, et rõhku mõõdetakse ühele pindalaühikule (1 cm^2) mõjuva jõu suurusega. Seega on rõhk mingile pinnale vedeliku sees võrdne vedelikusamba kaaluga selle pinna ühe ruutsentimeetri kohal.

Olgu joonisel 85 kujutatud anumal vesi, mille sügavus on 8 cm. Selle anuma põhja pinna igale ruutsentimeetrile rõhub veesammas, mille kõrgus on 8 cm. Niisugune veesammas kaalub 8 G. Seega on rõhk veeanuma põhjale $8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}$.

Kui vee asemel on anumal sama tasemeni mingi teine vedelik, näiteks petrooleum, mille erikaal on $0,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, siis kaalub anuma

põhja igale ruutsentimeetrile rõhuv petrooleumisammas $0,8 \cdot 8 = 6,4$ G. Seega on petrooleumi rõhk anuma põhjale $6,4 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}$

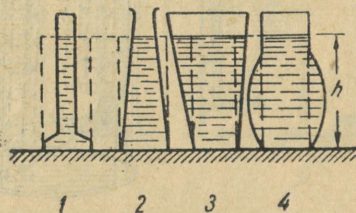
Näeme, et rõhu (p) arvutamiseks mingile pinnale vedeliku sees tuleb vedeliku erikaal (e) korrutada vedelikusamba kõrgusega (h), mis asub selle pinna kohal.

Rõhk = vedeliku erikaal · vedelikusamba kõrgus

ehk

$$p = e \cdot h$$

Rõhk anuma põhjale sõltub ainult vedeliku erikaalust ja vedeliku sügavusest, kuid ei sõltu anuma kujust.

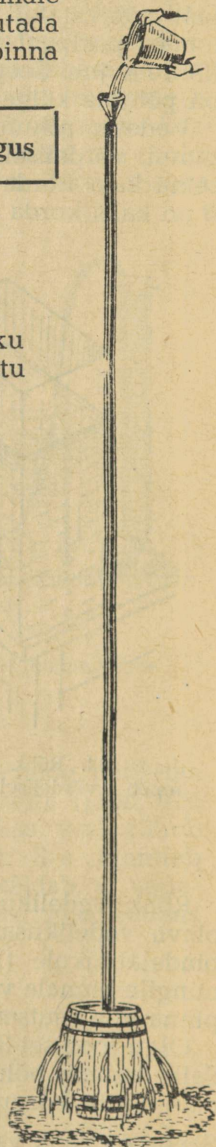


Joon. 86. Üks ja sama vedelik avaldab iga anuma põhjale nii ühesuurust rõhku kui ka rõhumisjõudu.

Joonisel 86 on kujutatud neli erineva kujuga, kuid võrdsete põhjadega anumaid, mis on täidetud ühe ja sama vedelikuga. Vedelikusammaste kõrgused anumates on võrdsed. Seetõttu rõhub vedelik kõikide anumate põhjasid võrdse tugevusega, s. t. anumate põhjadele mõjuvad rõhumisjõud on võrdsed.

Harjutus 26. 1. Püstiasetatud vaadis on petrooleumivoo kõrgus 0,8 meetrit. Kui suur on petrooleumi rõhk vaadi põhjale?

2. Anumas on 40 cm sügavuselt vett, millel ujub 20 cm paksune õlikiht. Õli erikaal on $0,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$. Arvuta rõhk anuma põhjale.



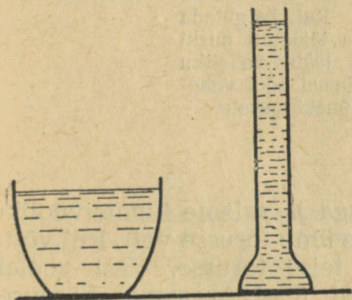
Joon. 87. Ulesande 3 juurde.

3. Joonisel 87 on kujutatud Pascali katse veevaadiga. Avasse vaadi ülemises põhjas on tihedalt asetatud raudtoru. Kui valada vett torru, siis kasvab rõhk vaadis nii suureks, et vaat puruneb.

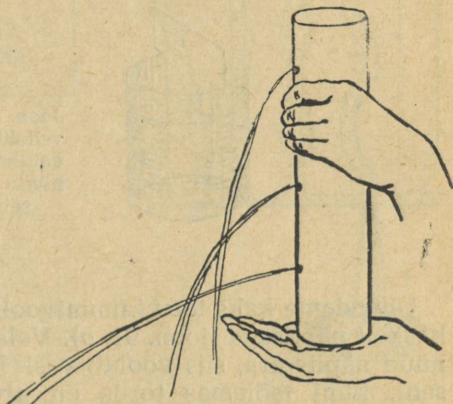
Kui kõrge peab olema veesammas, et vesi avaldaks vaadile rõhku 3 at?

4. Joonisel 88 kujutatud kahel anumal on võrdsed põhja pindalad. Mõlemas anumal on ühepalju vett. Kummas anumal on vee rõhk põhjale suurem?

5. Klaasis on vesi, mille nivoo ei ulatu klaasi ülemise ääreni. Kas rõhk klaasi põhjale muutub, kui vette asetada sõrm?



Joon. 88. Ulesande 4 juurde.



Joon. 89. Silindrist väljuvad veejoad purskuvad erinevatele kaugustele.

6. Veeanuma külgselinas on väike ava, millest peenike veejuga välja voolab. Kas ja kuidas muutub veejoa purskamise kaugus, kui vette panna kivi?

7. Kui kõrge veesammas tekitab rõhku 2,5 at?

8. Kui kõrge petrooleumisammas tekitab rõhku 1,6 at?

9. Laeva sein tekkis avarii tõttu auk 2,8 m sügavusel vee nivoo. Avarii kiireks likvideerimiseks asetati augule seestpoolt laeva «plaaster» (tükk tugevat mitmekordset present). Kui suure jõuga tuleb plaastrit suruda vastu laeva sein, et vesi seda eemale ei suruks? Augu pindala on 160 cm².

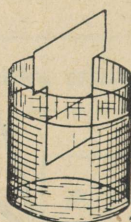
Kodune töö. Valmista tihedast paberist silinder (joon. 89) ja tõrka silindri külgselina nõelaga põhjast erinevatele kõrgustele üksteise alla 3–4 ühesuurust auku. Täida silinder pesukausi kohal veega, hoides teist kätt silindri põhjaks. Missugusest avast voolab veejuga kõige kaugemale? Miks?

Puhu ülalt silindrisse õhku ja jälgi, kuidas muutub veejuga purskumise kaugus. Miks veejuga purskumise kaugus on nüüd teistsugune?

Millisele seadusele tuleb toetuda selle katse selgitamisel?

45. Ühendatud anumad. Paigaloleva vedeliku pind on alati rõhktne. Nii on veepind anumal rõhktne ja jääb ka siis rõhtsaks, kui anumal kallutada.

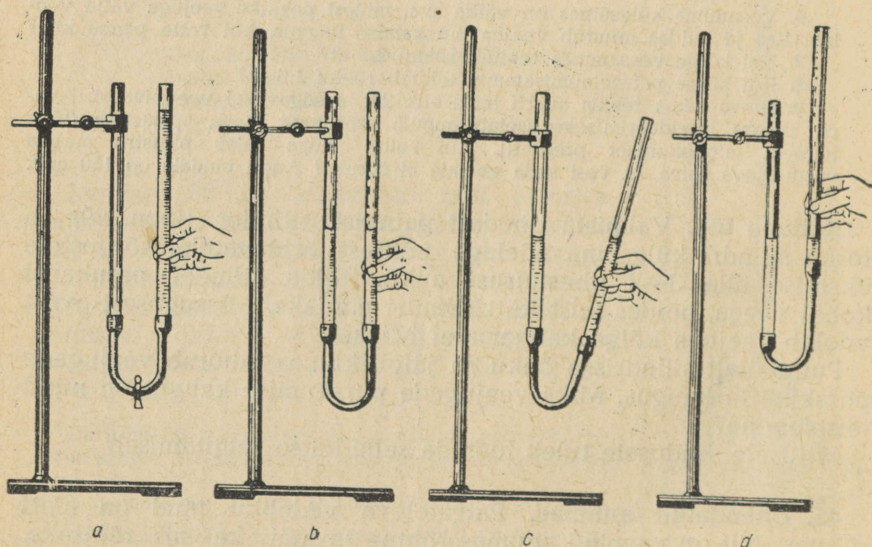
Kui paigutame vedelikuga täidetud anumasse vaheseina, siis jääb vedeliku tase kummalgi pool vaheseina ühekõrgusele (joon. 90). Vaheseina paigutamise moodustasime ühest anumast kaks, mis on omavahel ühendatud. Uurime nüüd vedeliku tase kõrgusi ühendatud anumates ühe ja sama vedeliku puhul.



Joon. 90. Kui paigutada vedelikuga täidetud purki vahesein, jääb vedeliku tase mõlemal pool vaheseina ühekõrgusele.

Ühendame kaks toru kummivoolikuga ja suleme kummivooliku keskelt näpitsaga (joon. 91, a). Valame ühte torusse vett. Kui võtame näpits ära, siis voolab vesi ka teise torusse. Vesi voolab seni, kuni mõlemas torus on tase ühel ja samal kõrgusel (joon. 91, b). Vee tase mõlemas torus jäävad ühekõrgusele ka toru kallutamisel (joon. 91, c) või tõstmisel (joon. 91, d).

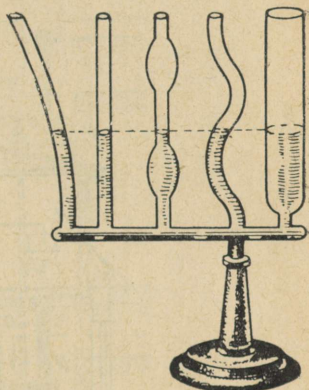
Katse tulemus ei muutu, kui vee asemel kasutada mingit teist vedelikku.



Joon. 91. Katsed ühendatud anumatega.

Joonisel 92 näidatud katseriist kujutab ühendatud anumaid. Kui ühte torusse valada mingit vedelikku, siis voolab see kõikidesse torudesse, kusjuures vedeliku nivood jäävad nendes ühekõrgusele, vaatamata sellele, et anumad on kujult erinevad. Esitatud katsetest võime järeldada:

ühendatud anumates jäävad vedeliku nivood ühekõrgusele.



Joon. 92. Vedeliku nivoo jääb ühendatud anumates, sõltumata anumate kujust, ühekõrgusele.

Seda järeldust nimetatakse **ühendatud anumate seaduseks**.

Ühendatud anumate seadusel põhinevad mitmesugused seadmed. Vaatleme neist mõned tähtsamad.

a. **Vesivarustus**. Linnades ja ka maa elumajades ning karjalautades kasutatakse vesivarustust.

Tutvume vesivarustusseadmega. Küllalt kõrgele asetatakse suur veepaak (joon. 93), mis täidetakse veega käsi- või mootorpumba abil. Paagist väljuvad torud tarbimiskohtadesse — kööki, vannituppa või mujale.

Mida kõrgemal asetseb veepaak, seda kõrgemale on võimalik viia sisse ka vesivarustust, sest veepaaki ja torusid võime vaadelda ühendatud anumadena.

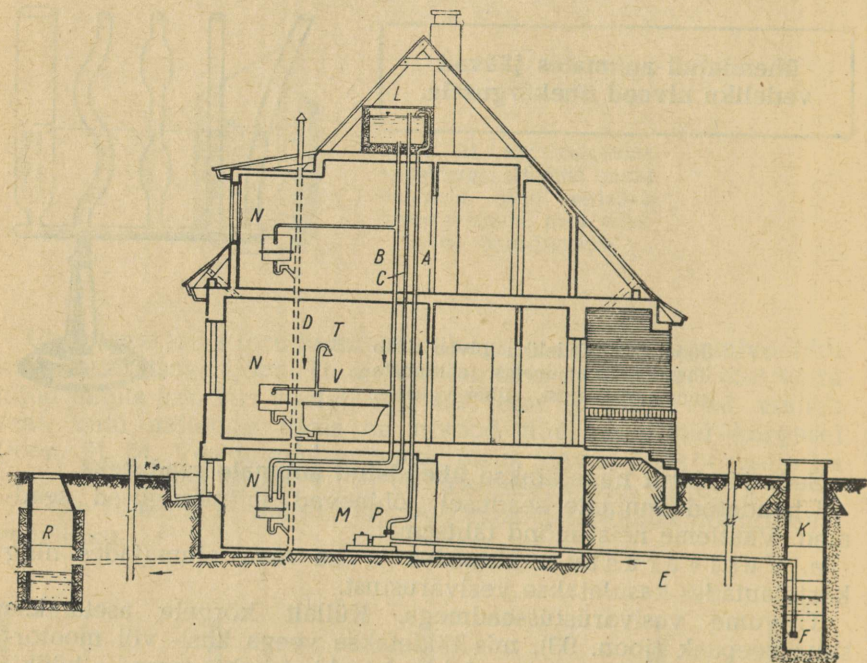
b. **Lüüsid**. Lüüsid ehitatakse jõgedele ja kanalitele laevaliikluse loomiseks.

Lüüsid kujutavad endast hiiglasuuri ühendatud anumaid — lüüsi kambrid, millised saab veekindlalt sulgeda väravate abil (I ja II joonisel 94). Lüüsi kambrid on omavahel ühendatud torudega A ja B, milliseid saab kraanide abil sulgeda ja avada. Selleks et vesi ei suruks lahti lüüsi väravaid, peavad need avanema sinnapoole, kus vee nivoo on kõrgem.

Oletame, et laev liikudes kanalil tahab tõusta kõrgemale vee nivoole. Selleks sõidab ta läbi I lüüsi väravate lüüsi kambrisse, milles vee nivoo on niisama kõrge kui kanali selles osas, kus sõitis laev. Siis suletakse I lüüsi väravad ja kraan torus A ning avatakse kraan torus B. Vesi voolab kanali osast, kus nivoo on kõrgem, lüüsi kambrisse. Lüüsi kambris vee nivoo tõuseb ja vesi tõstab

kõrgemale ka lüüsikambris oleva laeva. Kui vee nivoo lüüsikambris on ühekõrgune vee nivooga kanalis, kuhu laev tahab sõita, siis avatakse II lüüsvärvavad ja laev väljub lüüsikambrist kanalisse.

Analoogiliselt toimub ka laeva laskumine madalamale nivoole.

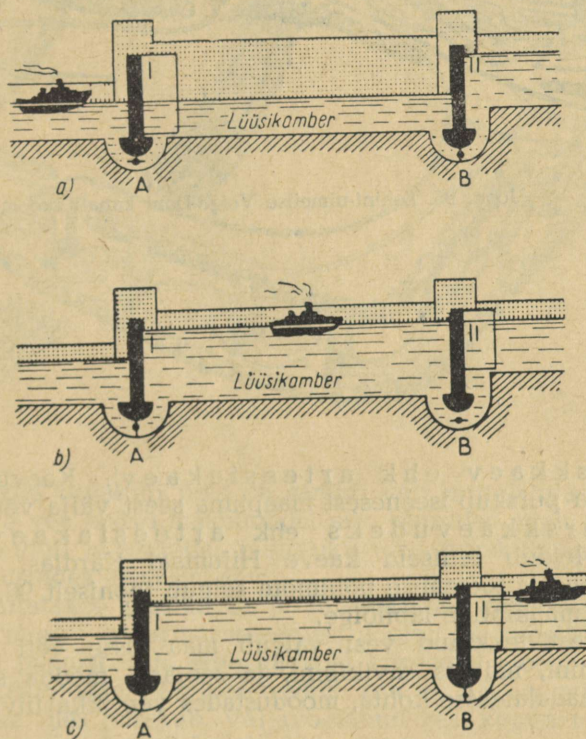


Joon, 93. Elamu vesivarustuse skeem. K — puhtaveekaev, F — filter, E — veetoru kaevust pumbani, P — pump, M — mootor vee pumpamiseks, A — veetoru pumbast veepaaki, L — veepaak pööningul, B — veetoru veevõtu kohtadesse, N — kraanid, T — tušš, V — vann, C — ülevoolutoru, mille kaudu liigne vesi paagist voolab keldris asuvasse roiskveekaussi, D — roiskveetoru, R — roiskveekaev.

Tavaliselt tõstetakse ühes lüüsikambris laeva või lastakse alla 10—15 meetri võrra. Kui tõus on kõrgem, siis ehitatakse lüüs kahe või kolme lüüsikambriga.

Lüüsid võimaldavad laevatatavaid jõgesid ühendada kanalitega ka sel juhul, kui nende nivood ei ole ühekõrgused. Nii on Volga ja Don ühendatud kanaliga, kuigi Doni nivoo on 44 meetri võrra kõrgemal Volga nivoost. Pealegi läbib nimetatud kanal kõrgendikku. Seetõttu on vee nivoo suurim kõrgus Volga-Doni kanalil 44 meetri võrra kõrgemal Doni nivoost ja 88 meetri võrra

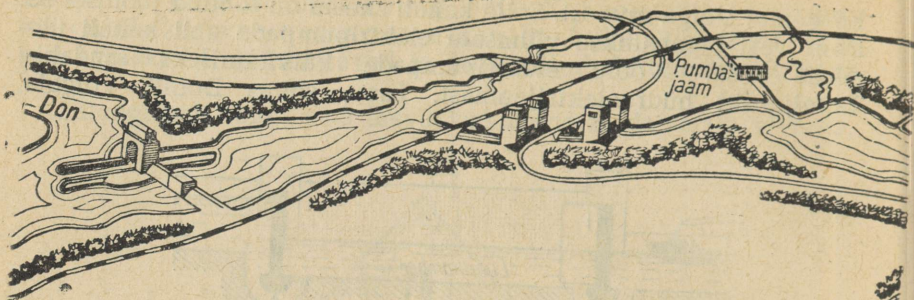
kõrgemal Volga nivoost. Selle kanali skeem on toodud joonisel 95. Doni vesi pumbatakse võimsate elektripumpade abil kanali ülemisse ossa. Voolu elektripumpade käivitamiseks saadakse Tsimljanski hüdroelektrijaamast. Laev, sõites Donilt Volgale,



Joon. 94. Laeva tõusmine lüüsikambri läbimisel. a) Avanevad I lüüsiväravad ja laev sõidab lüüsi-kambrisse. b) Suletakse I lüüsiväravad ja kraan torus A. Avatakse kraan torus B ja vesi voolab lüüsi-kambrisse. Koos veenivooga kerkib ka laev. c) Avatakse II lüüsiväravad ja laev väljub kanali sellesse ossa, kus vee tase on kõrgem.

peab kõigepealt tõusma 44 meetri võrra ja läbima seejuures neli lüüsi, laskumiseks Volga nivoole peab ta läbima üheksa lüüsi.

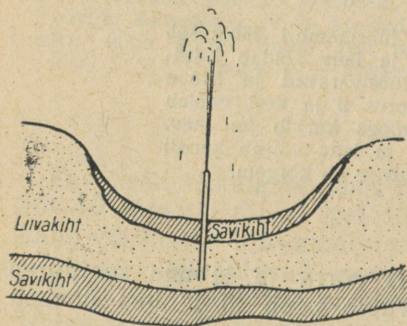
Kanalite ja jõgede abil on Moskva ühendatud Valge, Balti, Kaspia, Aasovi ja Musta merega, kuigi Moskva on nimetatud meredest lahutatud tuhandete kilomeetritega.



Joon. 95. Lenini-nimelise Volga-Doni kanali skeem.

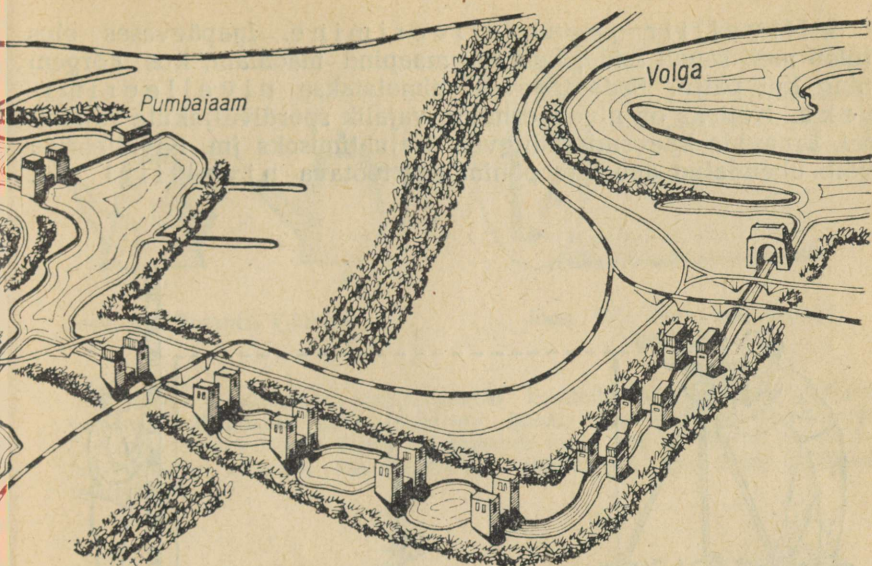
c. Purskkaev ehk arteesiakaev¹. Kaevusid, kust toru kaudu purskub iseenesest maapinna seest välja vett, nimetatakse purskkaevudeks ehk arteesiakaevudeks. Rohkesti leidub selliseid kaevu Hiiumaal Kärddlas. Niisuguse kaevu ehitus ja töötamise põhimõte selgub jooniselt 96, millel on kujutatud maakihide läbilõige.

Sademetest tekkinud vesi valgub maa sisse vett mitteläbilaskva kihini, näiteks savikihini, ja seejärel mööda seda kihti kusagile madalamasse kohta, moodustades veerikka liivakihi. Kui



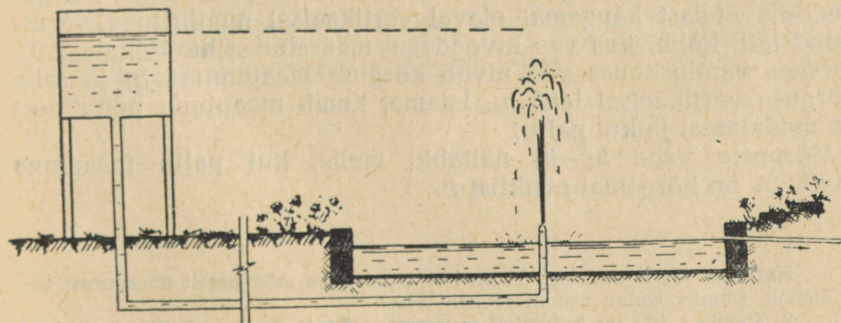
Joon. 96. Maakihide läbilõige arteesia-kaevu juures.

¹ Nimi «arteesia» tuleneb prantsuse maakoha nimest Artois (loe: artuaa), kus on rohkesti niisuguseid kaevu.



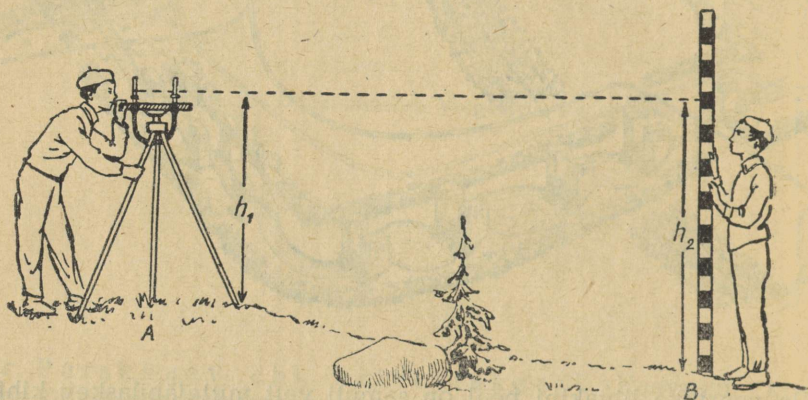
selle veerikka liivakihi peal on samuti vett mitteläbilaskev kiht, mis takistab vee pääsu maapinnale, siis, puurides augu kuni veerikka liivakihini ja asetades puurauku toru, purskub torust välja vesi, moodustades arteesiakaevu.

Sageli ehitatakse parkidesse ja iluaedadesse kunstlikke purskkaeve. Nii nagu vesivarustuseseadmes, voolab ka kunstliku purskkaevu vesi paagist, mis asub kaevust kõrgemal (joon. 97). Vee toru otsa kruvitakse peenikese avaga osa — düüs, millest vesi paraja joana üles purskub. Väljavoolanud vesi koguneb basseini, kust üleliigne osa kanali kaudu ära voolab.



Joon. 97. Kunstliku purskkaevu skemaatiline joonis.

d. Nivelliir ja nivelleerimine. Igapäevases elus tuleb meil sageli leida, kus on maapind madalam, kus kõrgem ning kui palju. Seda tegevust nimetatakse nivelleerimiseks. Näiteks on nivelleerimine vajalik spordiväljakute rajamisel, kraavide kaevamisel liigvee ärajuhtimiseks jm. Nivelleerida võib ühendatud anumate põhimõttel töötava nivelliiri abil.



Joon. 98. Nivelliiriga töötamine.

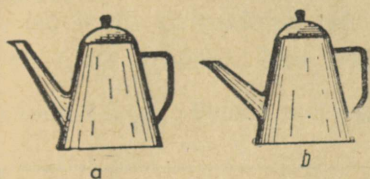
Nivelliiri põhiosaks on kaks klaastoru, mis on omavahel ühendatud kummivoolikuga. Torud on kinnitatud reguleeritava kolmjala külge, nii nagu see on kujutatud joonisel 98. Torudesse valatakse värvitud vett. Ühendatud anumate seaduse põhjal jäävad vee nivood mõlemas torus ühekõrgusele, s. t. samasse rõhtsasse tasapinda.

Vaadates ühe silmaga (viseerides) vee nivooide sihis, märgib vaatleja endast kaugemal oleval vertikaalsel numbritega varustatud latil koha, kus vee nivooidega määratud siht lõikab latti. Mõõtes vaatluskohas vee nivoo kõrguse maapinnast h_1 ja selle kõrguse vertikaalsel latil h_2 , leiame, kumb maapinna punktidest on madalamal ja kui palju.

Kõrguste vahe $h_2 - h_1$ näitabki meile, kui palju maapinna punkt A on kõrgemal punktist B.

Harjutus 27. 1. Joonisel 99 on kujutatud kaks mõõtmelt ühesuurst teekannu. Kumba kannu mahub rohkem vett?

2. Joonisel 100 on kujutatud veetaseme näitaja veepaagil. Otsusta joonise järgi, kui kõrgel on vee nivoo paagis. Missugusest kraanist voolab vesi, kui kraan avada?

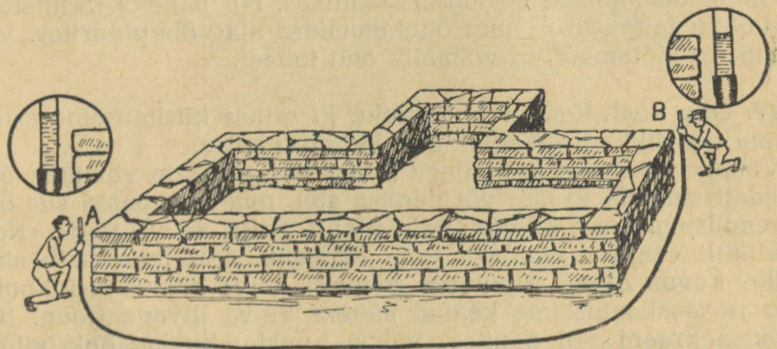


Joon. 99. Ülesande 1 juurde.



Joon. 100. Veetaseme näitaja veepaagil.

3. Maja vundamendi horisontaalsuse kontrollimiseks kasutati kummi-voolikuga ühendatud kahte klaastoru (joon. 101), millesse valati vett. Otsustada joonise järgi, kumb vundamendi nurk, kas A või B, on madalam. Kuidas määrata, kui palju on vundamendi üks nurk madalam teisest?



Joon. 101. Maja vundamendi horisontaalsuse kontrollimine.

4. Lüüsvärava pikkus on 10 meetrit. Arvuta vee rõhumisjõud lüüsi värvale, kui lüüsis on vett 5 meetri sügavuselt ja värav ulatub põhjani. Rõhumisjõud arvutada keskmise rõhu kaudu.

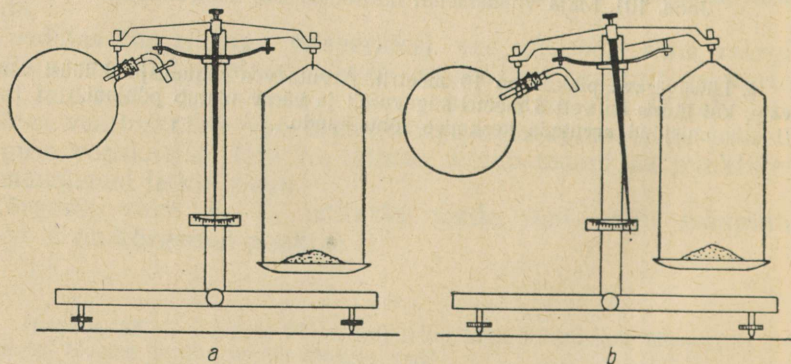
ÕHURÕHK

46. Õhk. Meid ümbritseb õhk. Õhku kasutavad nii inimesed, loomad kui ka taimed hingamiseks. Õhk on peamiselt kahe gaasi — lämmastiku ja hapniku segu, millest hingamiseks ja põlemiseks vajatakse ainult hapnikku. Õhus leidub peale lämmastiku ja hapniku vähemal määral veel paljusid teisi gaase, aga ka tahkeid aineosakesi — tolmu- ja tahmakübemeid, samuti on õhus alati veeauru ja veepiisakesi.

Õhku kasutatakse laialdaselt tehnikas. Nii näiteks kasutatakse suruõhku jalgratta ja auto õhukummides ning õhkpidurites. Vee-pumpade töötamine on võimalik õhu toimel.

47. Õhu kaal. Kas õhul on kaalu? Et sellele küsimusele vastata, teeme tundlikkude kaalude abil järgmise katse.

Võtame ümmarguse põhjaga klaaskolvi, mida on võimalik õhutihedalt sulgeda kraani või näpitsa abil, ning pumpame siis õhuhõrenduspumbaga kolvist võimalikult palju õhku välja. Kolbi täielikult tühjaks pumbata pole võimalik, sest ikka jääb sinna väike kogus õhku. Riputame seejärel kolvi kaalukaasi konksu otsa ja tasakaalustame kaalud näiteks kuiva liivaga (joon. 102). Avades kraani või näpitsa, võime kuulda, kuidas õhk vihinal



Joon. 102. Õhu kaalumise. a) Kolb on õhutühi. b) Kolvis on õhk.

tungib kolbi, ja näeme, et kaalukangi see ots, millel ripub kolb, on vajunud allapoole, s. t. et kolb, millesse tungis õhk, on muutunud raskemaks. Sellest katsest võime järeldada, et õhk omab kaalu.

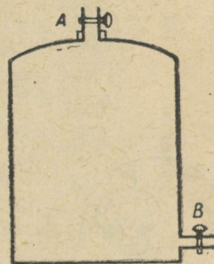
Hoolsasti korraldatud mõõtmised näitavad, et liiter õhku kaalub 1,293 grammi. Õhu erikaal on seega $0,001293 \frac{G}{cm^3}$ ehk ligikaudu $1,3 \frac{G}{dm^3}$. Peame meeles, et

1 liiter õhku kaalub ligikaudu 1,3 grammi.

48. Galilei katse õhu kaalu määramiseks. Vanasti arvati, et õhk on kaalutu. See arvamine püsis kuni Galilei ajani.

1638. aastal näitas Galilei katsete abil, et õhul on kaal. Ühe oma katsetest korraldas Galilei järgmiselt.

Joon. 103. Anum õhu kaalumiseks Galilei katseks.



Ta võttis tugevate seintega anuma, mis oli varustatud kahe kraaniga A ja B (joon. 103). Algul oli anumast õhk tavalisel rõhul. Nüüd pumpas ta anumasse kraani B kaudu vett nii, et õhk anumast välja ei pääsenud. Sel teel täitis ta veega $\frac{3}{4}$ anuma mahust. Õhk suruti selle tagajärjel kokku väiksemasse ruumalasse. Nüüd kaalus ta anuma koos vee ja õhuga väga täpselt. Seejärel avas ta kraani A, mille kaudu liigne osa õhust tungis anumast välja. Anumasse jäi nüüd õhk tavalisel rõhul. Kaalunud pärast seda anumet uuesti, märkas ta, et see koos vee ja õhuga kaalus nüüd vähem. Kaalude vahe näitas õhu kaalu vee ruumala suuruses. Siit määras ta ruumalaühiku õhu kaalu.

Harjutus 28. 1. Kui palju kaalub ämbritäis õhku?

2. Kas täiskasvanud inimene jõuab üles tõsta keha, mis kaalub niisama palju kui toatäis õhku? Toa pikkus on 6 meetrit, laius 4 meetrit ja kõrgus 3 meetrit.

3. Kumb kaalub rohkem, kas $1 dm^3$ vett või $1 m^3$ õhku?

4. Riidest kotti pannakse tarvitamiskõlbmatu, kuid terve klaaskestaga õhutihhi elektrilamp. Lamp koos kotiga asetatakse kaalukaasile ja kaalud tasakaalustatakse. Lampi kotist välja võtmata purustatakse seejärel tema klaaskest ning kott koos kildudega asetatakse uuesti kaalukaasile.

Kas kaalud jäävad nüüd tasakaalu või ei? Kuidas võib selle katse tulemust selgitada?



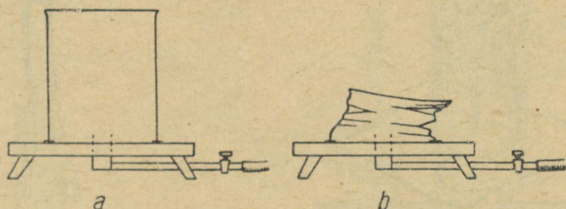
Joon. 104. Vanaaegne joonis Guericke katses. Joonise ülemises osas on kujutatud katses kasutatud poolkerad.

49. Õhurõhk. Maakera ümbritseb kõrgeleulatav õhukiht, mida nimetatakse atmosfääriks¹. Me elame ja liigume sügaval õhumere põhjas. Kuna õhul on kaal nagu veelgi, vesi aga rõhub temas asuvaid kehi, siis peaks ka õhk rõhuma õhus asuvaid kehi.

Õhurõhu olemasolu võib demonstreerida järgmiste katsete abil.

1. Katse Magdeburgi poolkeradega. Esimesena näitas õhurõhu olemasolu väga kujukalt Magdeburgi linnapea Otto von Guericke 1654. aastal kahe tihedalt kokkusobiva õõnsa metallpoolkera abil (joon. 104). Kui niisugused poolkerad kokku panna ja saadud kerast õhk välja pumbata ning kraan sulgeda, siis on vaja poolkerade lahtitõmbamiseks väga suurt jõudu. Guericke poolt korraldatud katses ei suutnud poolkerasid lahti tõmata isegi mitu paari hobuseid.

See on seletatav sellega, et pumbates kerast välja õhku, me vähendame õhurõhku kerast ja väline suurem rõhk surubki poolkerad tugevasti teineteise vastu.



Joon. 105. Õhurõhk surub kokku plekkpurgi.

2. Plekkpurgi kokkusurumine. Võtame mingi suurema õhukesest plekist konservipurgi. Asetame selle kummuli-pööratult õhupumba juurde kuuluvale taldrikule (joon. 105). Selleks et purk oleks õhutihedalt vastu taldrikut, paneme taldrikule purgi ääre alla tihendiks kummirõnga. Kui hakata nüüd purgist õhku välja pumpama, siis väline õhurõhk pressib purgi kokku.

Kodused tööd. 1. Vala teeklaasi vett. Kata klaas paberilehega ja pööra ta kummuli, hoides pööramise ajal käega paberilehte kinni. Vesi ei lange klaasist välja, paberileht aga hoidub tihedalt vastu klaasi äärt (joon. 106).

Selgita seda nähtust.

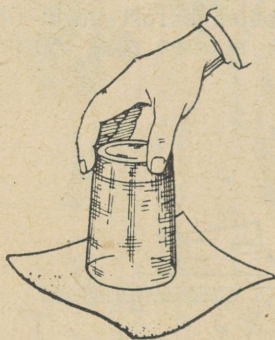
2. Löö peene naelaga plekkpurgi põhjasse palju auke. Kui valad nüüd purki vett, siis voolab see läbi nende aukude välja. Kui aga suled purgi õhutihedalt kaanega, lakkab vee voolamine.

Kuidas seda nähtust selgitada?

¹ Sõna «atmosfäär» tuleneb kreeka keelest: *atmos* — tolm, somp; *sphära* (loe: sfäära) — kera.

3. Puuri korgi sisse auk, millest läbi pane klaastoru. Viimase otsa tõmba lühike tükk kummivoolikut. Sule nüüd õhutihedalt sellise korgiga mingi pudel ja ime läbi kummivooliku pudelist osa õhku välja. Seejärel pigista kummivoolik sõrmedega tugevasti kinni ja pista vooliku ots anumasse vee alla. Lase nüüd sõrmed vooliku ümbert lahti. Mis juhtub? Selgita seda nähtust.

4. Vali kaks katseklaasi nii, et üks neist mahub parajasti teise sisse. Vala suurem katseklaas vett täis. Aseta väiksem katseklaas, põhi ees, suurema katseklaasi sisse selliselt, et see jääb sinna ujuma. Pööra nüüd katseklaasid kummuli (joon. 107), siis näed, et



Joon. 106. Vesi ei voola klaasist välja.



Joon. 107. Tühi katseklaas kerkib ülespoole teise katseklaasi sisse.

vesi voolab katseklaasist välja, kuid väiksem katseklaas ei lange koos veega mitte maha, vaid kerkib ülespoole, suurema katseklaasi sisse. Kuidas seda nähtust selgitada?

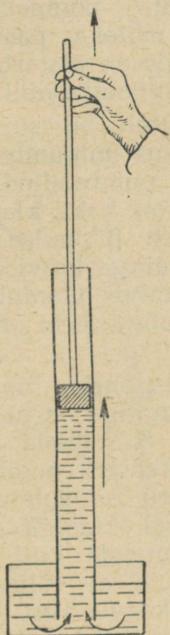
50. Vee tõusmine torus kolvi järel. Võtame mõlemast otsast lahtise klaastoru, milles võib õhutihedalt liikuda varda otsa kinnitatud kolb. Kui klaastoru üks ots pista vette ja tõmmata kolbi ülespoole, siis tungib vesi kolvi järel torusse (joon. 108).

Seda nähtust saab selgitada järgmiselt. Kolvi nihkumisel üles tekib kolvi all olevas torus ruum, kus õhurõhk on tunduvalt väiksem kui väljaspool toru. Veepinnale anumas mõjub aga tavaline õhurõhk. Selle rõhu mõjul surutaksegi vesi torusse kolvi taha.

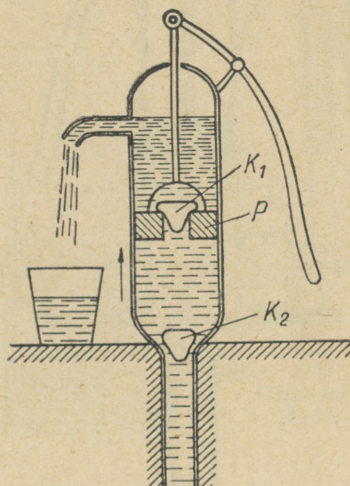
Vaadeldud nähtusel põhineb veepumpade töötamine. Ka siin tekitatakse torus hõrendatud õhuga ruum, kuhu veepinnale mõjuva rõhu toime tõuseb kaevust vesi.

51. Imipump. Lihtsa imipumba skeem on toodud joonisel 109. Pumbasilindris liigub õhutihedalt kolb *P*. Kolvis on ava, mis on suletud ülespoole avaneva klapiga *K*₁. Selle kaudu pääseb vesi pumbasilindrist kolvi peale. Toru, mille kaudu vesi pääseb pumbasilindrisse, on suletud samuti ülespoole avaneva klapiga *K*₂. Pumba töö jaguneb kaheks taktiks.

I takt. Kolb liigub alt üles. Oma kaalu mõjul, millele aitab kaasa ka õhurõhk, sulgub kolvis olev klapp *K*₁. Kolvi liikumisel



Joon. 108. Kolvi liikumisel üles tungib vesi torusse kolvi järel.



Joon. 109. Imipump.

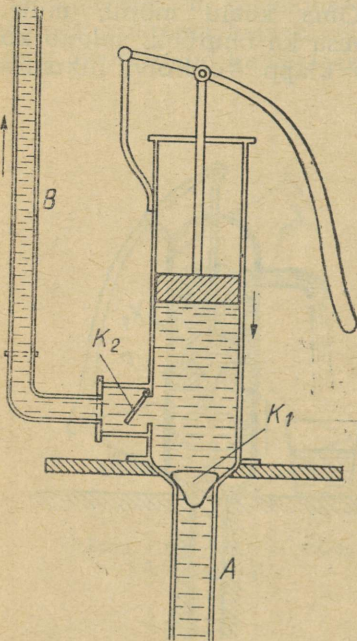
üles tekib kolvi alla ruum, milles õhurõhk on tunduvalt väiksem välisest õhurõhust. Kaevu veele mõjuva õhurõhu toimel surutakse veesammas torus kõrgemale vee nivoost kaevus. Torus ülespoole tõusev vesi surub lahti klapi *K*₂ ja tungib pumbasilindrisse.

II takt. Kolb liigub ülalt alla. Kolvi surve ja veesamba raskuse tõttu pumbasilindris sulgub klapp *K*₂ ja vesi ei pääse enam kaevu tagasi. Samal ajal lükkab vesi aga lahti klapi *K*₁ ning pääseb kolvi peale.

Pumba edasises töös kordub jällegi I takt: kolb liigub alt üles ja uus veehulk tungib läbi alumise klapi pumbasilindrisse. Järg-

neb II takt: kolb liigub alla, alumine klapp sulgub, avaneb klapp kolvis ja vesi tungib kolvi peale.

Kolvi iga edasi-tagasi liikumise ajal lähevad järjest uued veehulgad läbi kolvis oleva ava kolvi peale. Kolvi peale kogunenud vee tase tõuseb kuni väljavoolutoruni, mille kaudu vesi voolab anumasse.



Joon. 110. Surupump.

52. Surupump. Kui tahetakse vett pumbata pumpamiskohast kõrgemale, näiteks paaki maja põõningul, siis on otstarbekohane teha seda surupumba abil.

Oma ehituselt on surupumbal teatud sarnasus imipumbaga. Mõlemal liigub pumbasilindris kolb ja mõlemal on kaks klappi, mis avanevad vee liikumise suunas. Erinevus on ainult kolvi ehituses: surupumba kolvis puudub nimelt ava. Surupumba skeem on toodud joonisel 110.

Surupumba silindris liigub ülles-alla kolb. Silindriga on ühendatud torud A ja B. Mõõda toru A pääseb vesi kaevust pumbasilindrisse. See toru on suletud ülespoole avaneva klapi K_1 , mis lubab veel tungida küll pumbasilindrisse, kuid ei võimalda tal minna tagasi kaevu. Toru B kaudu surutakse vesi paaki. Ka selles torus on vee liikumise suunas avanev klapp K_2 . Selle klapi kaudu saab vesi tungida ainult pumbast välja.

Surupumba töö koosneb samuti kahest taktist — imemistaktist ja surumistaktist.

I takt. Imemistakt. Imemistakti ajal töötab surupump nii nagu imipumpki. Kolb liigub alt üles ja tekitab kolvi all hõren-
datud õhuga ruumi, kus õhurõhk on välise õhu rõhust väiksem. Välisõhu rõhk veepinnale kaevus surubki vee mööda toru üles. Vesi tõukab lahti klapi K_1 pumbasilindri põhjas ja tungib kolvi alla.

II takt. Surumistakt. Surumistakti ajal liigub kolb ülalt alla. Kolvi surve ja veesamba raskuse tõttu pumbasilindris sulgub klapp K_1 . Vesi ei pääse enam toru kaudu kaevu tagasi. Kolvi surve tõukab vesi lahti pumbasilindris vasakule avaneva klapi

K_2 ja liigub torusse B. Kui rõhuda küllalt tugevasti pumba kolvile, siis võime vee suruda kuitahes kõrgele.

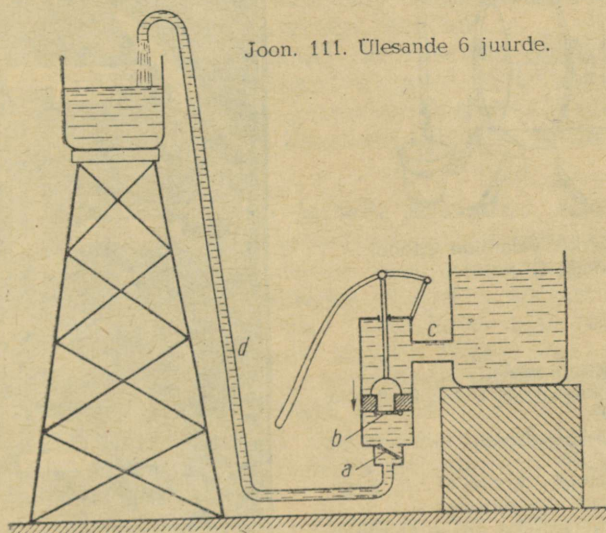
Harjutus 29. 1. Joonista imipumba takt, mille puhul kolb liigub ülalt alla.

2. Joonista surupumba imemistakt.

3. Kui suurt rõhku tuleb avaldada surupumba kolvile, et pumbata vett 20 meetri kõrgusele?

4. Kas imipump saab töötada õhuta ruumis?

5. Tutvu joonisel 111 toodud pumba skeemiga. Selgita selle pumba töötamist.



Joon. 111. Ulesande 6 juurde.



Joon. 112. Pipett.
Ulesande 12 juurde.

6. Kas joonisel 111 kujutatud pump saab töötada õhuta ruumis?

7. Miks valatakse mõnikord imipumba silindrisse vett, selleks et pump hakkaks töötama?

8. Enne kui vesi hakkab imipumba torust välja voolama, tuleb kolbi mitu korda edasi-tagasi liigutada. Millega seda selgitada?

9. Kas pumbasilindrit saab asendada siledatest laudadest õhutihedalt kokkulõõdnud risttahukaga, mille põhja külge on kinnitatud kaevust tulev veetoru?

10. Kui avada veega täidetud vaadi kraan ja kõik vaadi teised avad sulgeda, siis alguses küll voolab vett kraanist, kuid varsti voolamine lakkab. Selgita miks? Mida tuleb selleks teha, et vesi vaadist voolaks takistamatult?

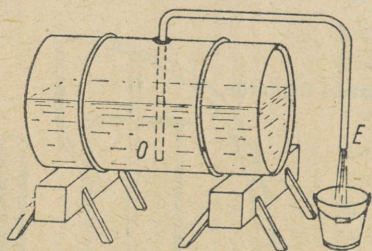
11. Mõnedel traktoritel väljub paagist kütteõli isevoolu teel. Selgita, miks katkeb õli vool juhul, kui ava paagi korgis ummistub?

12. Arstimi tilgutamiseks silma või kõrva kasutatakse pipetti (joon. 112). Pipett on peenike klaastoru, mille üks ots on veelgi peenem ja mille jämedamale otsale on tõmmatud kummist «kübarake». Selgita, kuidas kasutatakse pipetti ning millel see kasutamine põhineb.

13. Et saada vedelikku kätte mingist suurest anumast, näiteks vaadist, mida on raske kallutada, kasutatakse sifooni. Sifoon kujutab endast

mõlemast otsast lahtist kõverat toru või harilikku kummivoolikut (joon. 113). Toru üks ots pistetakse vaati vedeliku sisse, teine ots juhitakse anu-
 masse, kuhu tahetakse vedelikku valada. Täites toru imemise teel (õhu-
 pumba või suuga) vedelikuga, voolab see vaadist välja pideva joana. See
 on võimalik muidugi ainult sel juhul, kui toru ots, kust vedelik välja voo-
 lab, on madalamal vee nivoost vaadis.

Sifooni kaudu voolab vedelik seni, kuni anum on tühi või kuni vedelik-
 kude nivood mõlemas anum as on ühekõrgusel.

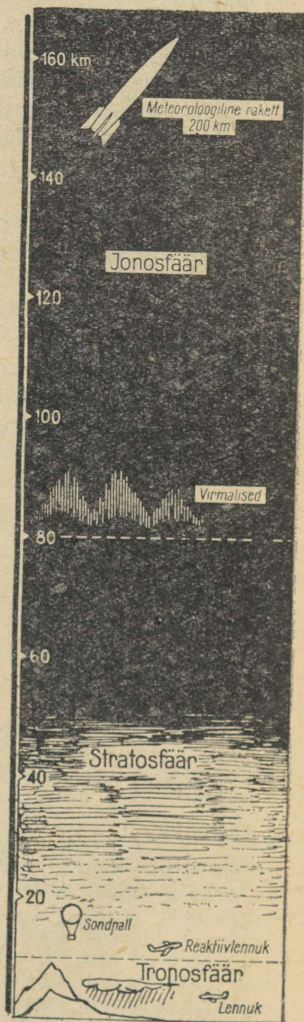


Joon. 113. Vedeliku valamine sifooni abil. Ulesande 13 juurde.

Vasta järgmistele küsimustele.

- Kui kõrge vedelikusammast rõhub ülalt alla toru ristlõike kohas O?
- Kui kõrge vedelikusammast rõhub ülalt alla toru ristlõikekohas E?
- Kummas toru ristlõike kohas O või E on vedelikusamba rõhk ülalt alla suurem?
- Mis avaldab toru ristlõike kohas O rõhku alt üles?
- Miks tõuseb vedelik toru lühemat haru mööda üles?
- Kas voolaks vedelik sifoonis juhul, kui puuduks õhurõhk?

53. Atmosfääri ehitus. Maakera ümbritseb a t m o s f ä ä r. Atmosfäär jaotub mitmeks kihiks (joon. 114). Maa-
 pinna lähedast kihti, mis ulatub 18 km kõrguseni, nimetatakse troposfääriks. Selles kihis tekivad pilved ja puhuvad tuuled. Seal toimub peamiselt ka lennuliiklus. Troposfääri kõrgemas osas on õhk juba niivõrd hõre, et inimesele ei jätku selles leiduvast hapnikust hingamiseks. Ka õhurõhk on 10—11 km kõrgusel nii väike, et seal on inimesel ohtlik viibida ilma kaitsevahenditeta, sest sel korral ületab inimeses



Joon. 114. Atmosfääri struktuur.

oleva õhu rõhk tunduvalt välisrõhu, mille tagajärjel kopsusombukesed võivad liialt paisuda ja lõhkeda. Selle tagajärjeks on inimese surm. Väga madalat õhurõhku saab inimene taluda vaid tugevate seintega ülikonnas — skafandris, milles hoitakse õhurõhk ja õhu koostis inimesele sobivana.

Troposfäärile järgnevat kihti nimetatakse stratosfääriks, mis ulatub kuni 80 km kõrguseni. Stratosfääris puudub tavaliselt tuul ja pilvi on seal väga harva (võib esineda ainult kiudpilvi, mis koosnevad jääkristallikestest).

Stratosfäärist kõrgemal asub kolmas atmosfäärikiht — ionosfäär, milles õhk on veelgi hõredam.

Väga nõrku jälgi maad ümbritsevast õhkkonnast on märgata isegi 3000 km ja suuremal kõrgusel. Seda näitavad viimasel ajal Nõukogude Liidust ja Ameerika Ühendriikidest väljalastud raketite ja Maa kunstlike kaaslaste liikumise uurimised.

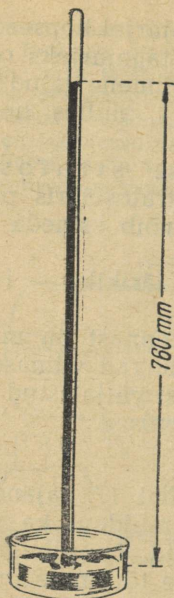
54. Õhurõhu suurus ja selle mõõtmine. Kuni 17. sajandini ei teatud õhurõhu olemasolu ega osatud seda kuidagi ka mõõta. Selle tagajärjel ei osatud selgitada mitmeid õhurõhuga seotud nähtusi. Üheks selliseks nähtuseks oli vee tõusmine imipumbas. Kolvi liikumisel üles tekib kolvi taga torus õhutühi ruum. Kuna selle täitis kaevust torusse tungiv vesi, siis arvati, et loodus ei salli tühjust ja et sellepärast tõusebki vesi kolvi taga.

Kogemused aga näitasid, et juhul, kui kolb tõuseb vee nivoost kaevus kõrgemale kui 10 meetrit, siis ei tõuse vesi kolvi järel enam kõrgemale. Torus oleva vee nivoo ja kolvi vahele jääb seejuures õhutühi ruum.

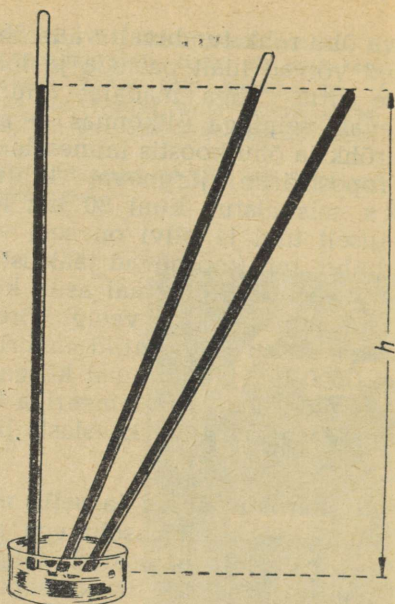
Itaalia õpetlane Torricelli (loe: torritsell) arvas, et nähtust saab selgitada õhurõhu abil. Ta arutles järgmiselt. Kui õhurõhk suudab üles lükata 10 meetri kõrguse veesamba, siis suudab ta ülal hoida ka 13,6 korda lühemat elavhõbedasammast, sest elavhõbeda erikaal on vee erikaalust 13,6 korda suurem. Seega peaks õhurõhk suutma tasakaalustada $10 : 13,6 = 0,76$ m kõrgust elavhõbedasammast.

1643. aastal korraldas Torricelli järgmise katse. Ta võttis umbes 1 m pikkuse klaastoru ja sulatas selle ühe otsa kinni. Toru täitis ta elavhõbedaga. Toru lahtise otsa sulges Torricelli sõrmega ja pistis selle elavhõbedaga täidetud nõusse. Seejärel eemaldas ta sõrme toru otsa eest. Torust voolas välja ainult osa elavhõbedat, mistõttu nivoo torus langes veidi ja jäi umbes 76 sentimeetri võrra kõrgemale nivoost nõus (joon. 115). See nivoode vahe jäi alati samaks, vaatamata sellele, kas toru hoiti vertikaalselt või kaldu (joon. 116).

Seega näitas Torricelli katse, et õhurõhk suudab ülal hoida elavhõbedasammast, mille kõrgus on umbes 76 sentimeetrit. Maa-keri ümbritsev atmosfäär rõhub seega maapinda niisama tugevasti kui 76 sentimeetri paksune elavhõbedakiht.



Joon. 115. Torricelli katse.



Joon. 116. Toru kallutamisel Torricelli katses ei muutu elavhõbedanivoode vahe.

Arvutame, kui suur oleks sellise elavhõbedakihi rõhk maapinnale.

Teame, et vedeliku rõhku mingile pinnale mõõdetakse selle pinna ühele ruutsentimeetrile toetuva vertikaalse vedelikusamba raskusega. Elavhõbedasamba kõrgus on 76 cm ja põhja pindala on 1 cm^2 . Seega on samba ruumala 76 cm^3 . Elavhõbeda erikaal on $13,6 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$. Järelikult kaalub niisugune elavhõbedasammas $76 \cdot 13,6 \text{ G} = 1033,6 \text{ G}$.

Seega

normaalse õhurõhu suurus on $1033 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}$ ehk $1,033 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.

Niisugune rõhk on võetud rõhu ühikuks. Seda nimetatakse normaalatmosfääriks ja tähistatakse tähtedega atm.

Varem õppisime rõhuühikuna tundma tehnilist atmosfääri (at).

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}, \text{ kuid } 1 \text{ atm} = 1,033 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}.$$

Seega on normaalatmosfäär pisut suurem rõhuühik kui tehniline atmosfäär.

Õhurõhu suurust väljendatakse sageli ka elavhõbedasamba sentimeetrites (cm Hg¹) ja millimeetrites (mm Hg), mõistes selle all niisuguse elavhõbedasamba kõrgust sentimeetrites või millimeetrites, mis tasakaalustab mõõdetavat õhurõhku.

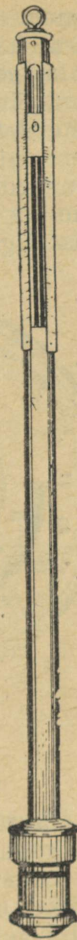
55. Baromeetrid. Kui määrata õhurõhu suurust erinevatel päevadel või erinevatel kõrgustel maapinnast, siis näeme, et õhurõhk ei ole alati ühesuurune. Nimelt sõltub õhurõhu suurus nii ilmastikust kui kõrgusest. Kui ilm muutub näiteks halvaks, siis õhurõhk väheneb. Ilusa ilmaga on õhurõhk suurem. Õhurõhu suuruse sõltuvusel ilmastikust on suur praktiline tähtsus, sest see võimaldab ennustada ilma.

Nagu me juba nimetasime, sõltub õhurõhu suurus ka kõrgusest. Mida kõrgemale tõusta, seda väiksemaks muutub õhurõhk. See võimaldab määrata näiteks lennukite lennukõrgust, mägede kõrgusi jne.

Õhurõhku mõõdetakse baromeetrite abil.

Lihtsaimaks baromeetriks on elavhõbebaromeeter (joon. 117). Elavhõbebaromeetri põhisaks on 80—90 cm pikkune ühest otsast kinine klaastoru, mis on täidetud elavhõbedaga ja pistetud oma lahtise otsaga elavhõbeda anumasse. Elavhõbede anum ja klaastoru on kinnitatud vertikaalse millimeeter- või sentimeeter-jaotustega joonlaua külge nii, et joonlaua nullpunkt ühtib anumasse oleva elavhõbeda nivooga. Klaastorus oleva elavhõbedasamba otsa kohalt saab lugeda õhurõhu suurust millimeetrites või sentimeetrites.

Kuna elavhõbebaromeetrit on tülikas kaasas kanda, siis laialdasemalt kasutatakse metall- e. aneroidbaromeetrit² (joon. 118). Õhurõhu muutumist näitab siin õhust osaliselt tühjaks pumbatud ja seejärel õhutihedalt suletud plekk-karp. Selle karbi kaas on valmistatud õhukesest lainelisest plekist, mistõttu ta paindub juba väikeste õhurõhu muutuste korral. Õhurõhu suurenemisel surutakse karbi laineline kaas enam karbi sisse, õhurõhu



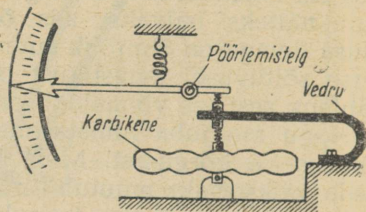
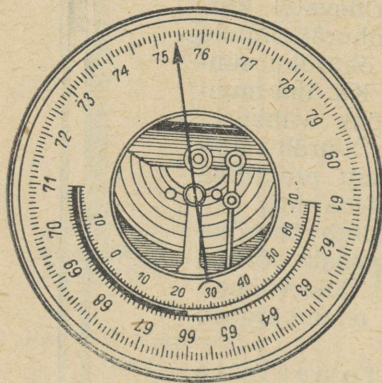
Joon. 117. Elavhõbebaromeeter.

¹ Hg — sümbol elavhõbeda tähistamiseks.

² «Aneroid» tähendab vedelikuta.

väheneb kerkib kaas aga üles. Kangide ja hammasrataste abil antakse karbi kaane nihkumine edasi osutile, mille asendi järgi saab lugeda õhurõhu suurust osuti all olevalt skaalalt. Skaalale on kantud õhurõhu näidud elavhõbedasamba millimeetrites. Metallbaromeetri näitude õigsust tuleb aeg-ajalt kontrollida elavhõbebaromeetri järgi.

Enne kui õhurõhu suurust määrata metallbaromeetri abil, tuleb baromeetrile sõrmega kergelt koputada, mis soodustab osuti nihkumist õigesse asendisse.



Joon. 118. Aneroidbaromeeter.

56. Õhurõhu muutlikkus. On teada, et õhurõhk ei ole ühes ja samas kohas alati ühesuurune, vaid ta muutub, ning isegi mõne tunni jooksul. Õhurõhu suurus kõigub 760 mm Hg ümber. Seda õhurõhku nimetatakse normaalõhuks. Tavaliselt muutub õhurõhk vahemikus 730 kuni 780 mm Hg. Madalaimat õhurõhku (687 mm Hg) mõõdeti 2. augustil 1891. a. Hiina merel. Kõrgeim õhurõhk (809 mm Hg) oli 23. jaanuaril 1900. a. Barnaulis.

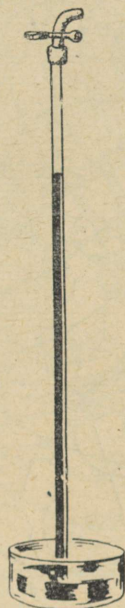
Atmosfääri piirkonda, kus õhurõhk on madalam kui naaber-aladel, nimetatakse madalrõhkkonnaks. Selles piirkonnas on pilves ja sajune ilm. Madalrõhkkonnad tekivad ookeanide ja merede kohal, kus õhk on rikas veeaurust. Madalrõhkkond ei püsi paigal, vaid ta liigub ookeanidelt ja meredelt mandritele ning kannab sinna niisket õhku koos vihmaga. Piirkonda, kus õhurõhk on kõrgem kui naaber-aladel, nimetatakse kõrgrõhkkonnaks. Seal on kujv, suvel kuum, talvel külm ilm. Kõrgrõhkkond tekib harilikult mandrite kohal, kus õhk on veeaurust vaene.

Ilma ennustamiseks peame teadma, kus asub madalrõhkkond, kus kõrgrõhkkond, mis suunas ja kui suure kiirusega nad liigu-

vad. Andmete saamiseks ilma kohta on maakera paljudes punktides loodud ilmavaatlusjaamad. Vastavas keskses — ilmajaamas — kantakse vaatlusjaamadest saadud andmed maakaardile. Näiteks on joonisel 121 toodud kaardil näha madalrõhkkonna asukoht (M) ja teised andmed ilma kohta (õhu temperatuur, tuule suund ja tugevus jne.). Need andmed võimaldavadki ennustada ilma.

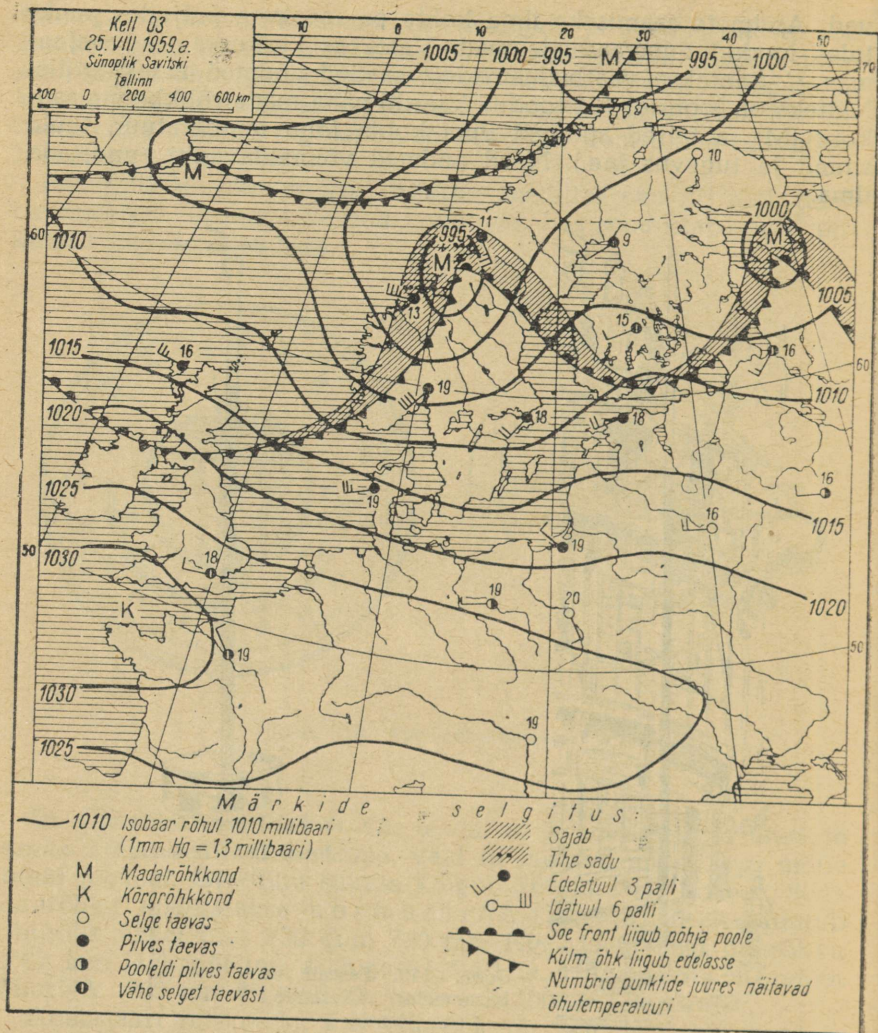


Joon. 119. Pascali vesibaromeeter. Ülesande 7 juurde.



Joon. 120. Ülesande 9 juurde.

- Harjutus 30.**
1. Kui suur on normaalne õhurõhk?
 2. Mitu mm Hg on normaalatmosfäär?
 3. Mitu mm Hg on tehniline atmosfäär?
 4. Miks kasutatakse baromeetris vedelikuna elavhõbedat, mitte aga vett?
 5. Õpilane, vastates tunnis, ütles: «Normaalrõhk on võrdne 760 millimeetri pikkuse elavhõbedasamba rõhuga.»
Milles eksis õpilane?
 6. Kas on oluline, et baromeetri toru oleks igal pool ühesuguse läbimõõduga?
 7. Pascal ehitas oma maja juurde vesibaromeetri (joon. 119). Kui kõrget veesammast selles baromeetris hoiab ülal normaalõhurõhk?

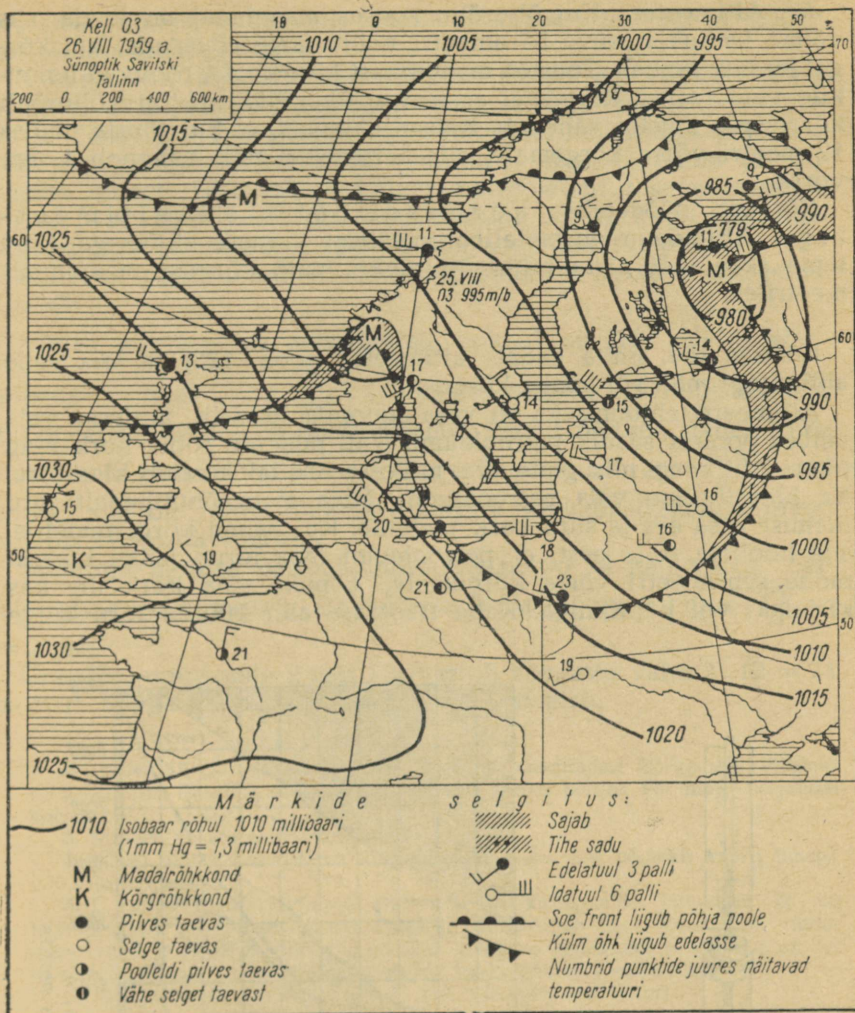


Joon. 121. Euroopa kaart ilma kohta (sünoptiline kaart) 25. augustil 1959. a. kell 3.

8. Kas on võimalik impumba abil saada vett kaevust, mille veetase on maapinnast madalamal kui 10 meetrit?

9. Torricelli katse korraldamisel kasutati joonisel 120 kujutatud toru, mille ülaosas on näpitsaga suletud kummivoolik. Mis juhtub, kui näpits avada?

10. Joonisel 121 ja 122 on toodud Euroopa kaardid kahel teineteisele järgneval päeval. Kaartidele on märgitud pidevate joontega kohad, mis ühendavad ühesuguse õhurõhuga kohti. Neid jooni nimetatakse isobaarideks (samarõhu jooned). Tutvu märkide tabeliga kaardil.



Joon. 122. Euroopa kaart ilma kohta 26. augustil 1959. a. kell 3.

Numbrid kaardi äärel isobaaride juures näitavad õhurõhu suurust vastaval joonel. Rõhud on antud millibaarides. 1 mm Hg \approx 1,3 millibaari. Numbrid punktide juures näitavad koha temperatuuri vaatlusmomendil.

Määrata kaartidelt:

1. missugune ilm on madalrõhkkonna läheduses;
2. mis suunas puhus tuul Tallinnas 25. augustil;
3. kas 25. või 26. augustil puhus Tallinnas tugevam tuul;
4. mis suunas liikus madalrõhkkond;
5. kui suure kiirusega liikus madalrõhkkond.

57. Altimeeter. Kui õhurõhu suurus maapinnal on teada, siis võime lennukis asuva baromeetri näidu järgi otsustada, kui kõrgel lennuk lendab. Tõustes maapinnast kõrgemale, rõhuvad lennukile vaid temast kõrgemal asetsevad õhukihid, mistõttu õhurõhk kõrgemale tõustes väheneb. Katsed näitavad, et kui tõusta umbes 12 meetri võrra kõrgemale, siis baromeetri näit väheneb 1 mm võrra.

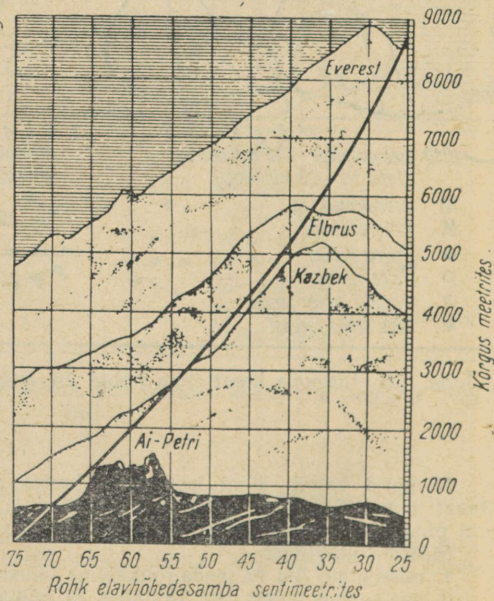
Kõrgust mõõdetakse kõrgusemõõtja ehk altimeetriga. Altimeeter on metallbaromeetriga sarnase ehitusega, kuid tema skaala ei näita mitte õhurõhku, vaid kõrgust maapinnalt meetrites.

Kodune töö. Ehita endale altimeeter (joon. 123) ja leia selle abil mingi mäe või hoone kõrgus.

Altimeetri ehitamiseks on vaja suuremat pudelit, millesse vala umbes poolest saadik petrooleumi. Vali pudelile sobiv kork ning puuri läbi korgi niisugune ava, millesse tihedalt mahub klaastoru. Ka klaastorusse vala petrooleumi. Hoia sõrm õhutihedalt toru ülemise otsa ees ja suru kork pudelile. Kui paned korgi pudelile, siis hoolitse selle eest, et petrooleumi tase torus jääks korgist mõne sentimeetri võrra kõrgemale. Lõpuks vala kork üle kas kirjalaki või parafiiniga. Kahe traataasa abil kinnita toru külge



Joon. 123. Omatehtud kõrgusemõõtja.



Joon. 124. Õhurõhu sõltuvus kõrgusest.

papiriba, millele eelnevalt kleebi millimeeterjaotustega paber, mis täidab skaala aset.

Kõrguste mõõtmise omatehtud altimeetriga. Viibides altimeetriga maapinnal, märgi skaalal petrooleumi tase torus. Tõuse seejärel koos kõrgusemõõtjaga mõõdetava mäe otsa või maja ülemisele korrusele. Seejuures hoia, et pudel ei soojeneks kätest. Ulal märgi jällegi petrooleumi taseme asukoht torus. Mõõtmisel peab õhu temperatuur olema kogu aeg ühesugune, sest et pudelisse jäänud õhk soojenemisel paisub.

Miks on petrooleumi nivoo maja ülemisel korrusel kõrgemal kui all?

Võttes arvesse, et petrooleumi erikaal on $0,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$ ja elavhõbeda erikaal $13,6 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, arvutame, mitmele elavhõbedasamba millimeetrile vastab kõrgusemõõtjalt loetud näitude vahe. Kuna elavhõbeda erikaal on petrooleumi erikaalust suurem $\frac{13,6}{0,8} = 17$ korda, siis on rõhu muutusele vastav elavhõbedasamba nivoo muutus 17 korda väiksem.

Muutugu näiteks petrooleumisamba nivoo 34 mm võrra. Sellele muutusele vastab elavhõbedasamba nivoo muutus $\frac{34}{17} = 2$ mm.

Õhurõhu muutusele 2 mm Hg vastab kõrguste vahe $2 \cdot 12 = 24$ meetrit. Seega on mõõdetav kõrgus 24 meetrit.

Harjutus 31. 1. Kuidas muutub õhurõhk maapinnast kõrgemale tõustes?

2. Kus on õhurõhk suurem, kas sügava kaevu põhjas või maja neljandal korrusel?

3. Milleks kasutatakse altimeetrit?

4. Millal näitab baromeeter suuremat õhurõhku, kas püsivalt kuiva ilmaga või saju korral?

5. L. Mere reisikirjeldusest «Kobrade ja karakurtide jälgedes» lk. 60 leiame tõusu kirjelduse Tjan-Sani mäestikus: «Algab tõus. Veel kord vinnatakse meid kõitega kaljulõhangust üles. Kõrguse esimeseks tunnuseks on lai tindiplekk pluusi taskul. Sulepea ei pea vastu õhurõhu alanemisele.»

Miks kõrgemale tõusmisel tungib tint täitesulepeast välja?

6. Määrata graafikult (joon. 124) ligikaudne õhurõhu suurus Kazbeki mäel.

7. Määrata graafikult (joon. 124) koha kõrgus maapinnast, kui õhurõhk seal on 720 mm Hg, maapinnal aga on õhurõhk normaalne.

8. Kui suur on õhurõhk Tallinna televisioonimasti ülemisel platvormil, mille kõrgus maapinnast on 192 meetrit? Maapinnal näitab baromeeter rõhku 762 mm Hg.

9. Võetakse kord 1 liiter õhku meretaseme kõrguselt, teinekord 8 kilomeetri kõrguselt. Kumb liiter õhku kaalub enam?

10. Mäe jalamil näitas baromeeter rõhku 750 mm Hg, mäe tipul aga 642 mm Hg. Kui kõrge on mägi?

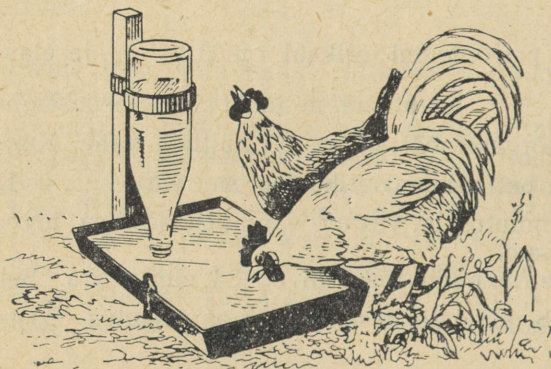
11. Määrata kaevanduse šahti sügavus, kui tema põhjas näitab baromeeter 830 mm Hg, maapinnal aga 760 mm Hg.

12. V klassi õpilane, sooritades kodust tööd geograafias, luges kodus aneroidbaromeetri näidu. See oli 742 mm Hg. Selleks et veenduda, kas ta

luges näitu õigesti, läks ta oma sõbra korterisse, kes elas sama maja alumisel korrusel ja kel oli kodus samuti baromeeter. See baromeeter näitas aga 2,5 mm võrra suuremat õhurõhku. Tekkis vaidlus, kumma baromeeter näitab õigesti. Vaidluse lõpetas VI klassi õpilane, kes ütles, et mõlemad baromeetrid näitavad õigesti.

Kuidas selgitas VI klassi õpilane baromeetrite näitude erinevust? Mitme meetri võrra oli üks baromeeter teisest kõrgemal?

Kodune töö. Valmista küülikutele või kanadele jooginõu, mida nad ei saa ümber ajada ja milles vee nivoo püsib alati ühekõrgusel.



Joon. 125. Jooginõu väikeloomadele või lindudele.

Jooginõu valmistamiseks täida pudel veega. Selleks et vesi välja ei voolaks, hoi a sõrm pudeli suu ees, pööra pudeli suu allapoole ja aseta see laiemasse anumasse vette. Pudeli kinnita vertikaalse laua külge (joon. 125).

Kui loomad anumast joovad, voolab uut vett pudelist juurde. Miks kogu vesi ei voola kohe pudelist anumasse?

58. Gaaside kokkusurutavus. Me teame oma kogemustest, et heinu, turbapuru, sulgi ja teisi kohedaid aineid võib kergesti kokku suruda. Tahkeid kehi ja vedelikke aga ei saa nimetamisväärselt kokku suruda isegi väga suurte rõhkude abil.

Kõige paremini lasevad end kokku suruda kõik gaasid, seega ka õhk. Kui näiteks pumbata jalgratta õhukummi 2—3 korda rohkem õhku, kui sinna mahub tavalisel õhurõhul, siis tuleb meil järjest tugevamini suruda pumbale, sest õhu rõhk kummi sees muutub samuti 2—3 korda suuremaks.

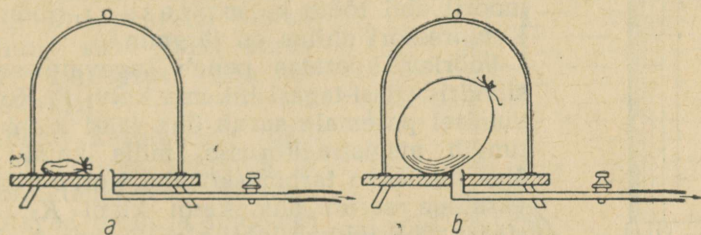
Kõikide gaaside kohta kehtib järgmine seadus.

Antud gaasikoguse ruumala vähendamisel mingi arv korda suureneb selle gaasi rõhk sama arv korda, kui gaasi temperatuur seejuures ei muutu.

Surudes näiteks 1000 liitrit gaasi ballooni, mille ruumala on 20 liitrit, väheneb gaasi ruumala 50 korda. Samal ajal suureneb aga selle gaasi rõhk sama arv korda, s. t. 50 korda. Kui enne kokkusurumist oli gaasi rõhk näiteks 1 at, siis balloonis on see 50 at.

See seaduspärasus kehtib mitte ainult gaaside kokkusurumise, vaid ka paisumise kohta. Kui lasta teatud kogus gaasi õhutühja anumasse, siis paisub see ja täidab ühtlaselt kogu anuma. Kui gaasi temperatuur seejuures ei muutu, siis väheneb gaasi rõhk nii mitu korda, kui mitu korda suureneb ta ruumala.

Gaasi paisumist võib näidata järgmise katsega. Asetame õhupumba kupli alla pooltühja õhupalli, mille ava on kinni seotud



Joon. 126. Õhupalli paisumine.

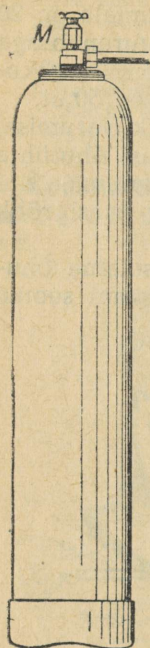
(joon. 126, a). Pumbates õhku kupli alt välja, märkame, et pall paisub (joon. 126, b). Õhurõhk kupli all vähenes ja ei tasakaalustanud enam palli sees oleva õhu rõhku. See põhjustaski palli paisumise.

59. Surugaaside kasutamine. Surugaase kasutatakse tehnikas ja igapäevases elus laialdaselt. Nii näiteks kasutatakse keevitamisel atsetüleeni koos hapnikuga, karastavate jookide valmistamisel kasutatakse süsihappegaasi jne.

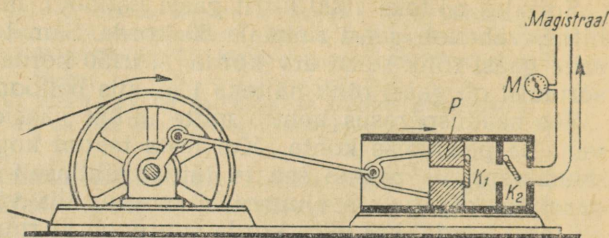
Gaase hoitakse tugevate seintega terasballoonides (joon. 127). Gaasi rõhk balloonis võib olla mitusada atmosfääri. Selleks et ballooni välimuse järgi otsustada, missugune gaas on balloonis, värvitakse hapnikuballoon siniseks, atsetüleeniballoon halliks ja süsihappegaasiballoon valgeks.

Gaasiballoonil külge on kinnitatud ventiil M, mille kaudu saab lasta gaasi pikkamööda balloonist välja. Balloonil külge võib kruvida ka metallmanomeetri, mis näitab gaasi rõhku balloonis. Rõhu järgi aga saab otsustada, kui palju on seal veel gaasi.

Väiksemates kogustes võib õhku kokku suruda õhutihendus-pumba abil. Suuremate suruõhu koguste saamiseks pannakse mingi jõumasina (aurumasina, sise põlemismootori või elektri-



Joon. 127.
Gaasi-
balloon.

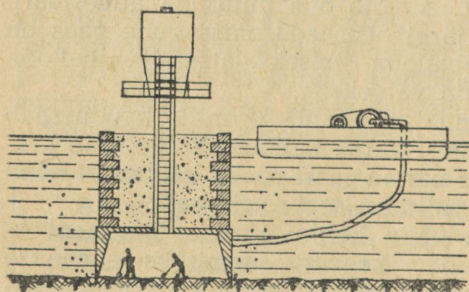


Joon. 128. Kompressori ehituse skeem. P — kolb, K_1 ja K_2 — klapid, M — manomeeter.

moori) abil tööle kompressor (joon. 128). Kompressori ehitus on järgmine.

Pöörlev hooratas paneb tugevate seintega silindris edasi-tagasi liikuma kolvi P . Kolvi liikumisel paremale surub õhk lahti klapi K_2 ja tungib magistraalitorusse, mille kaudu suruõhk juhitakse tarbimiskohale. Kolvi liikumisel vasakule surub õhk kinni klapi K_2 . Atmosfääri rõhk lükkab lahti klapi kolvis K_1 ja õhk väljast tungib selle kaudu kolvist paremale. Nii surub kolb iga edasi-tagasi käiguga ikka uued ja uued õhuhulgad magistraali või vastasse suruõhuballooni.

Suruõhku kasutatakse kessoonis töötamisel vee all. Kessoon on suur alt lahtine raudkast (joon. 129), mis lastakse jõe või mingi teise veekogu põhja. Et vesi ei tungiks kessooni, pumbatakse sinna õhku suure rõhu all. Õhurõhk kessooni sees peab olema niisama suur kui vee rõhk väljaspool kessooni. Vastava käigu kaudu pääsevad töölised kessooni, kus nad töötavad kuival: siluvad jõepõhja, paigaldavad kive ja betooni või teevad muid töid, mis on vajalikud sillasammaste, paisude ja muude veaaluste



Joon. 129. Töötamine kessoonis.

ehituste rajamisel. Kessoon jääb veekogu põhja ja sellele toetub kogu ehitus.

Mõnikord kasutatakse suruõhku ka nafta väljasurumiseks puuraugust. Selleks pumbatakse maa alla, kus leidub naftat, tugeva surve all õhku. Suruõhu mõjul voolab nafta puuraugust üles. Sageli on nafta leiukoh-tadesse maa alla kogunenud rikkalikult looduslikku gaasi, mis on tavaliselt väga suure rõhu all. Kui puurauk ulatub naftakihini, siis gaasi surve paiskab puuraugust välja tugeva naftajoa.

Suruõhku kasutatakse näi-teks veel pallides, jalgratta ja auto õhukummides. Suruõhu abil töötavad rongi ja autobussi pidurid, suruõhuvasarad ja liivapritsid.

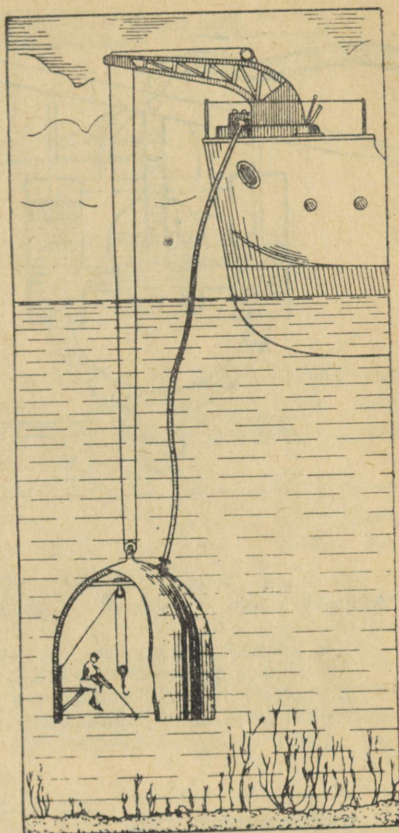
Harjutus 32. 1. Kumb on suurem, kas õhurõhk väljas või süsihappegaasi rõhk limonaadipudelis?

2. Kui suur peab olema õhurõhk tuukrikellas (joon. 130), kui see asub 20 m sügavusel vee all?

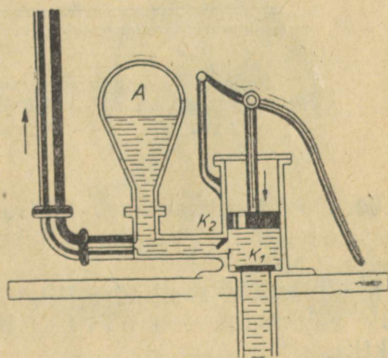
3. Hapnikuballoonis on gaasi rõhk 10 at. Ballooni maht on 30 liitrit. Kui suure ruumala võtaks balloonitais hapnikku enda alla normaalrõhul?

4. 50-liitrise mahuga terasballoon täideti atsetüleeniga, mille ruumala normaalrõhul oli 1 m³. Kui suureks tõusis gaasi rõhk balloonis, kui gaasi temperatuur ei muutunud?

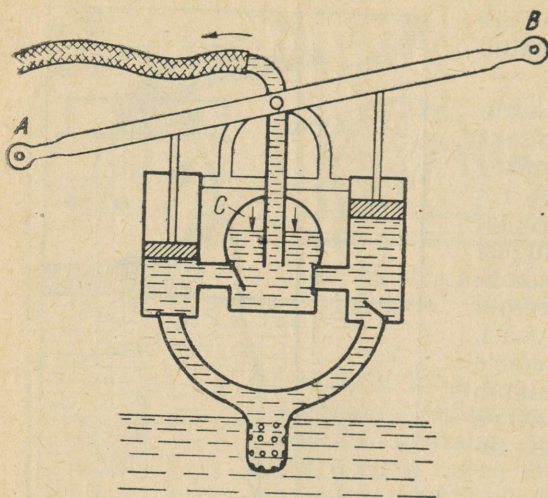
5. Joonisel 131 on kujutatud suru-pump. Kupli A alla jäänud õhu on vesi kokku surunud. Miks väljub niisuguse pumba torust pidev vee-juga?



Joon. 130. Tuukrikell.



Joon. 131. Pidevat veejuga andev surupump. Ulesande 5 juurde.



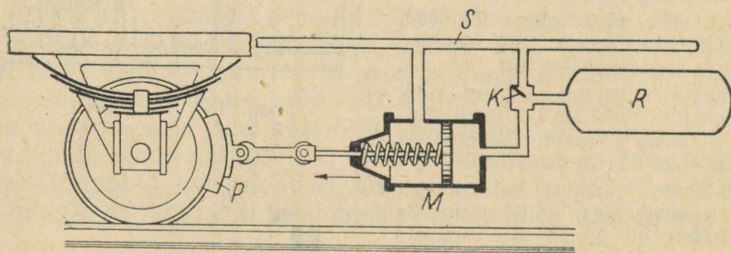
Joon. 132. Tuletõrje käsipritsi ehituse skeem. Ülesande 6 juurde.

6. Selgita joonise 132 põhjal tuletõrje käsipritsi ehitust ja töötamist. Millised klapid on suletud ja millised on avatud, kui kangi ots A liigub alla?

Kas tuletõrjeprits on imi- või surupump?

Mis tähtsus on suruõhul kuplis C?

7. Joonisel 133 on kujutatud vaguni õhkpidur. Selgita, kuidas töötab pidur avarii korral ja rongi pidurdamisel.

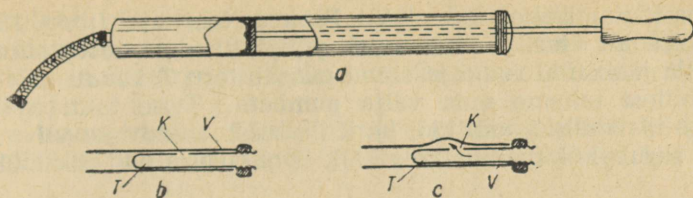


Joon. 133. Vaguni õhkpiduri skeem. Ülesande 7 juurde.

P — piduriklots, M — metallsilinder, S — magistraal, milles on suruõhk, R — suruõhu reservuaar, K — klapp.

60. Õhutihenduspump. Lihtsaim õhutihenduspump on jalgrattapump. Vaatleme lähemalt selle ehitust ja töötamist (joon. 134).

Metallseintega silindris liigub kolb, millel on tihendiks paindunud nahketas — kolvikübar. Pumba töötamisel on kaks takti.



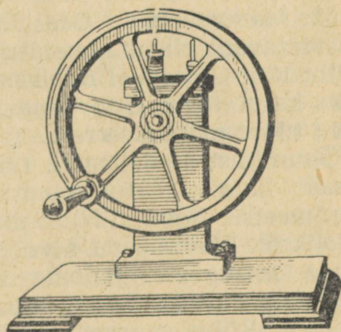
Joon. 134. Jalgrattapump ja selle osad. *a* — pumba läbilõige, *b* — jalgrattakummi ventiili läbilõige ja *c* — õhu tungimine läbi ventiili jalgrattakummi.

I takt. Kolb liigub paremale. Kolb lükkab enda eest õhku ära (joon. 134). Kolvist vasakule jääb hõredam õhk. Selle tagajärjel surub kolvist paremal olev õhk kolvikübara ääred silindri seinast eemale ja tungib kolvist vasakule.

II takt. Kolb liigub vasakule. Kolb surub pumbasilindris oleva õhu kokku. Kokkusurutud õhk surub kolvikübara ääred tihedalt vastu silindri seinu. Selle tagajärjel ei pääse õhk kolvist paremale. Mida tugevamini suruda kolvile, seda suuremaks kasvab õhu rõhk pumbasilindris ja ületab peatselt rõhu jalgrattakummis. Pumbas tugeva surve all olev õhk voolab seeläbi ventiili jalgrattakummi (joon. 134, c). Ventiil laseb õhku küll kummi, kuid ei lase teda sealt välja. Ventiiliks on kinnine toru *T*, mille külge on ava *K* (joon. 134, b). Toru *T* ümber on tükike elastset kummivoolikut *V*, mis tihedalt liibub vastu toru ega lase seega õhku kummist välja.

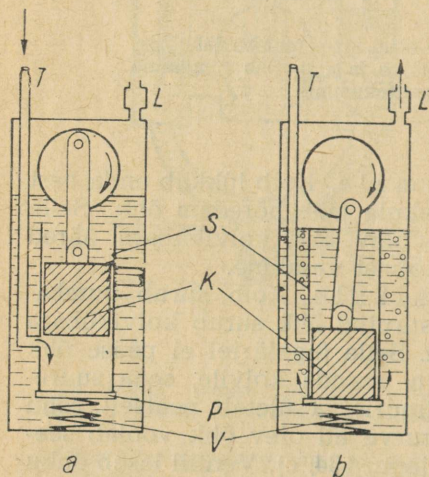
61. Õhuhõrenduspump. Anumatest õhu väljapumpamiseks kasutatakse õhuhõrenduspumpasid. Õhuhõrenduspumpasid on mitut tüüpi. Tutvume neist koolis kasutatava Komovski pumpabaga, mida võib kasutada nii õhutihendus- kui ka hõrenduspumbana.

Joonis 135 kujutab Komovski õhupumpa. Joonisel 136 on ta läbilõige. Komovski õhupumba põhiosaks on metallanum, milles on õli, ja selles silinder *S*. Ajades ratast ringi, paneme silindris üles- alla liikuma kolvi *K*. Silindri suleb vedru *V* külge kinnitatud põhi *P*. Silindri külge väljub toru *T*, mis vooliku abil ühendatakse anumaga, millest tahame õhku välja pumpata. Toru *L* kaudu pääseb õhk pumbast välja.



Joon. 135. Komovski pump.

Pumba töötamisel on kaks takti. Esimese takti ajal (joon. 136, a) liigub kolb alt üles. Vedru surub põhja tihedalt vastu silindrit. Kolvi alla jääb tühi ruum ja sinna pääseb toru *T* kaudu õhk anumas, millest tahame seda välja pumbata. Teise takti ajal liigub kolb ülalt alla (joon. 136, b). Kolb suleb silindrisse viiva toru otsa ja surub kokku õhu kolvi all. Kokkusurutud õhk lükkab



Joon. 136. Komovski pumba läbilõiked. *a* — esimene töötakt, kolb liigub üles, *b* — teine töötakt, kolb liigub alla.

põhja silindrist eemale, tungib mullidena läbi õli ning pääseb toru *L* kaudu välja.

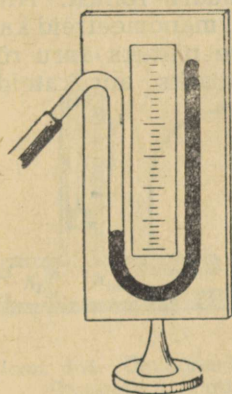
Vastavalt kasutatava õhupumba tüübile võib saavutada õhu suurema või väiksema hõrenduse. Komovski õhupumbaga võib tekitada anumast hõrenduse kuni 0,3 mm Hg. Kasutades Komovski õhupumpa aga õhutihendusena, võime saada rõhu kuni 4 at. Tänapäeval võib paremate õhupumpade abil saavutada hõrenduse kuni 0,000 001 mm Hg.

62. Manomeetrid. Gaaside ja vedelikkude rõhu mõõtmiseks kasutatavaid riistu nimetatakse manomeetriteks. Neid on mitut tüüpi. Eespool õppisime tundma vedelikkude rõhu mõõtmiseks kasutatavat U-toru-manomeetrit (§ 43). Käsitleme nüüd veel kaht tüüpi manomeetreid.

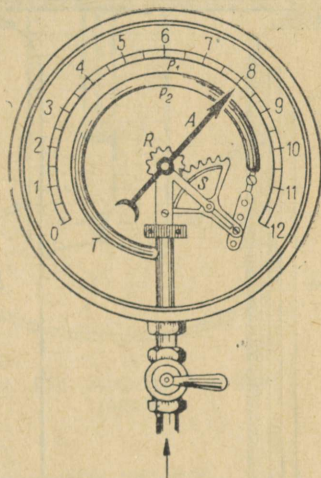
Õhurõhust madalamate rõhkude mõõtmiseks kasutatakse ühest otsast kinnist U-toru-manomeetrit, mis põhimõttelt meenutab baromeetrit (joon. 137). Selle toru kinnise haru täidab elavhõbe täielikult. Elavhõbeda nivood lahtises harus rõhub gaas või õhk. Kuna niisuguse manomeetriga mõõdetakse atmosfääri rõhust madalamat rõhku, siis on kumbki U-toru haru lühem kui 76 sentimeetrit. Rõhu suurust mõõdab elavhõbedasamba nivoode vahe toru kummaski harus.

Atmosfääri rõhust suuremaid rõhke võib mõõta samasuguse U-toru-manomeetriga, millega mõõdame rõhku vedelikkudes. Vedelik manomeetris peab olema võimalikult suure erikaaluga (elavhõbe).

Nagu teada, vastab rõhule 1 atm elavhõbedasamba kõrgus 76 cm. Tehnikas tuleb aga sageli mõõta suuremaid rõhke kui 1 atm



Joon. 137. Ühest otsast kinnine U-toru-manomeeter.



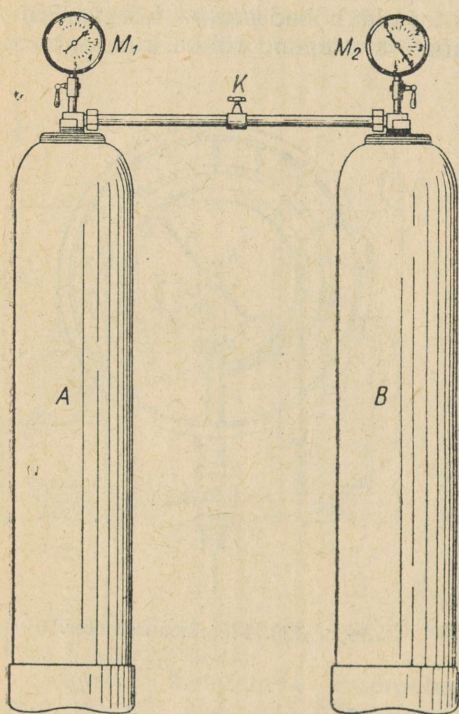
Joon. 138. Metallmanomeeter.

(kuni 10 atm ja enam). 10 atm rõhu mõõtmiseks peaks niisuguse manomeetri toru olema vähemalt $10 \cdot 76 \text{ cm} = 760 \text{ cm}$ pikk. On muidugi loomulik, et praktikas selliseid manomeetreid ei kasutata.

Suurte rõhkude mõõtmiseks vedelikkudes, aurudes või gaasides kasutatakse seepärast joonisel 138 kujutatud metallmanomeetrit. Metallmanomeetris juhitakse aur või gaas, mille rõhku tahetakse mõõta, ühest otsast suletud kõverasse metallist torusse *T*. Mida suurema rõhu all tungib gaas sellesse torusse, seda suuremat rõhku avaldab ta toru seintele. Kuna toru on kõver, siis on toru selle seina pindala, mis on pööratud väljapoole, suurem sissepoole pööratud seina pindalast. Järelikult on ka gaasi rõhumisjõud väljapoole pööratud pinnale P_1 suurem kui sissepoole pööratud pinnale P_2 . Seetõttu muutub rõhu suurenemisel toru sirgemaks, rõhu vähenemisel aga kõveramaks.

Toru suletud otsa külge on kinnitatud liigidid, mis toru otsa nihkeid edasi annavad hammastega varustatud sektorile *S*. Viimase hambad on kokkupuutes hammasratta *R* hammastega.

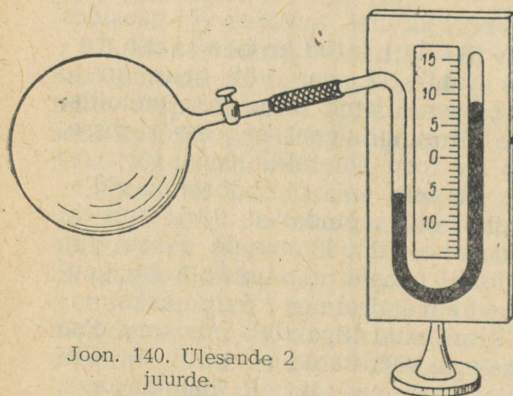
Hambulise sektori S pöördumisel pöördub ka hammasratas R ning seega ka osuti A . Viimase liikumist võib jälgida skaalalt, millele on kantud rõhu suurused tehnilistes atmosfäärides.



Joon. 139. Ulesande 1 juurde.

Atmosfääri rõhk on skaalal märgitud nulliga. Seega näitab niisugune manomeeter, kui palju on mõdetav rõhk suurem atmosfääri rõhust. Niisuguseid manomeetreid kasutatakse näiteks auru rõhu mõõtmiseks aurukateldes.

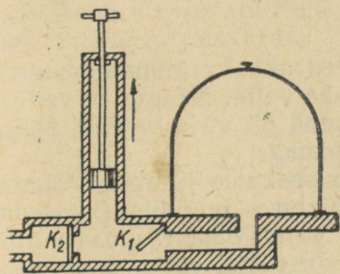
Harjutus 33. 1. Mõlemas terasballoonis A ja B (joon. 139) on hapnik, mille rõhku näitavad manomeetrid M_1 ja M_2 . Balloone ühendab toru, mille keskel olev kraan K on suletud. Mis juhtub gaasiga, kui kraan K avada?



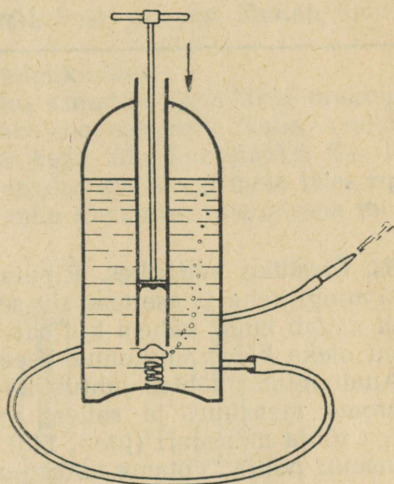
Joon. 140. Ulesande 2 juurde.

2. Kui suur rõhk on joonisel 140 kujutatud kerakujulises anumask?

3. Puhkpillimängija kohta, kes väga tugevasti puhub, öeldakse: «puhub pasuna sirgeks». Kas on sel ütlusel mingit alust? Millistel tingimustel oleks see õige?



Joon. 141. Õhuhõrenduspump.
Ulesande 4 juurde.



Joon. 142. Aiaprits. Ulesande 5 juurde.

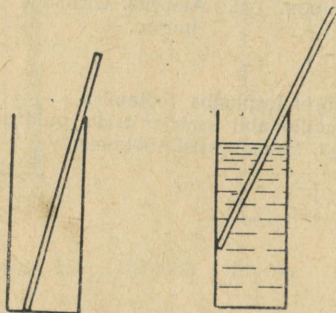
4. Selgita joonisel 141 toodud õhuhõrenduspumba töötamist.

5. Tutvu joonisel 142 käsipritsiga, mille abil saab pritsida puid ja pöösaid taimekahjureid hävitava vedelikuga. Seleta pritsi töötamist.

VEDELIKKU VÕI GAASI ASETATUD KEHALE MÕJUVAD
JÕUD

63. Üleslüke vedelikes. Riputame vedrukaalu (dünamomeetri) otsa mingi keha ja asetame siis selle keha vette. Näeme, et vedrukaal näitab nüüd vähem kui siis, mil keha oli veest väljas. Näib, nagu oleks keha muutunud vees kergemaks.

Analoogiline nähtus juhtub ka järgmise katse juures. Võtame suurema mensuuri ja sellest veidi pikema puupulga. Laseme pulga tühja mensuuri (joon. 143). Pulk vajub oma raskuse mõjul mensuuri põhja. Võtame nüüd pulga mensuurist välja ja täidame mensuuri veega. Kui nüüd pulk uuesti mensuuri lasta, siis ei vaju



Joon. 143. Tühjas mensuuris vajub pulk põhja. Vees aga jääb pulk põhjast kõrgemale.

ta enam mensuuri põhja, vaid jääb sellest kõrgemale. Kui pulgale sõrmega vajutada, siis puutub ta ots mensuuri põhja, kuid niipea, kui sõrm ära võtta, tõuseb pulk põhjast uuesti üles. Mingi jõud nagu lükkaks teda ülespoole.

Samasuguse nähtusega puutume kokku ka igapäevases elus. Kui võtta pangega vett lahtisest kaevust, ojast või mõnest suuremast veenõust, siis on pange kerge tõsta seni, kuni ta on vees. Niipea aga, kui pang tuleb veest välja, muutub ta äkki palju raskemaks. Kerge on vees tõsta ka näiteks kive, kuival on see hoopis raskem.

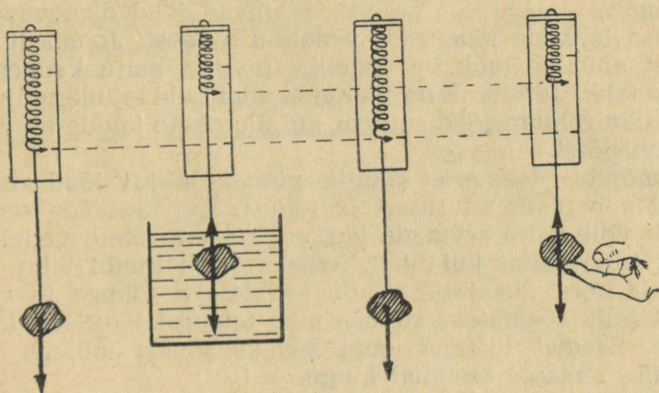
Vannis olles on meist igauks tähele pannud, et keha tundub kuidagi kergena ning jalad tahavad vägisi vee peale tõusta. Uju-

jad keeravad end puhkamiseks selili ning püsivad paigal põhja rajumata.

Kõik kirjeldatud ja veel paljud teised tähelepanekud meid ümbritsevast elust räägivad seega sellest, et **vesi tõukab temas olevaid kehi ülespoole**.

See nähtus ilmneb ka teistes vedelikkudes.

Vette või mõnda teise vedelikku asetatud keha kaal muidugi ei muutu, vedelik ainult võtab ühe osa selle keha kaalust enda kanda ning meile paistab, et keha läks kergemaks. Ka siis tundub meile, et keha läheb kergemaks, kui keegi meie käes ripuvat keha alt toetab. Keha kaal selle toetamise tulemusena muidugi ei muutu (joon. 144).

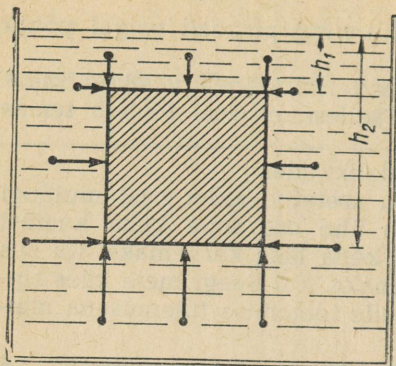


Joon. 144. Vedelikku asetatud keha kaal ei muutu. Vedelik võtab ainult osa keha kaalust enda kanda, nii nagu võtab osa keha kaalust enda kanda ka sõrm, kui toetada keha sõrmega. Sõrmega toetamine teatavasti keha kaalu ei muuda.

Miks tõukavad vedelikud nendesse asetatud kehi ülespoole? Sellele küsimusele vastamiseks tuletame meelde varemõpitud.

Teame, et vedelik avaldab rõhku anuma põhjale ja seintele. Samuti avaldab vedelik rõhku igale temas olevale kehale. Rõhk vedeliku sees oleva keha mingile pinnale oleneb selle pinna kaugusest vedeliku niivoost ja samuti vedeliku erikaalust. Rõhk vedeliku sees oleva keha pinnale on seda suurem, mida sügavamal asub see pind vedeliku niivoost.

Asetame nüüd mingi vedelikuga täidetud nõusse kuubikujulise keha (joon. 145). Vedelik rõhub selle paremale külgtahule niisama tugevasti kui vasakule ning esimesele külgtahule niisama tugevasti kui tagumisele, sest nad kõik on ühesuguses sügavuses. Seega kuubi neljale külgtahule mõjuvad jõud tasa-



Joon. 145. Vedelikku paigutatud kuubi-
kujulise keha külgedele mõjuvad rõhu-
misjõud tasakaalustavad üksteist. Alt
mõjuv jõud on aga suurem kui ülalt
mõjuv jõud, mistõttu lükatakse keha
vedelikus üles.

kaalustavad üksteist ning nad
ei pane keha liikuma. Kuubi
pealmisele ja alumisele tahule
mõjuvad jõud olenevad samuti

vastavate tahkude kaugusest vedeliku niivoost. Jooniselt on aga
näha, et alumine tahk on vedeliku niivoost palju kaugemal kui
ülemine tahk. Järelikult on ka kuubi alumisele tahule mõjuv rõhk
ja seega ka rõhumisjõud suurem kui ülemisele tahule mõjuv rõhk
ja rõhumisjõud.

Varemõpitust teame, et mingile pinnale mõjuv jõud ehk rõhu-
mine oleneb pinna suurusest ja rõhust. Kui kasutada seda tõsi-
asja, siis võib välja arvutada jõu, mille võrra rõhub vedelik kuu-
bile alt tugevamini kui ülalt. Selleks tuleb kuubi tahu pindala
korrutada kord ülemisele tahule avaldatava rõhuga ja siis alu-
misele tahule avaldatava rõhuga ning teisest korrutisest lahutada
esimene. Saadud tulemus ongi selleks jõuks, millega vedelik
surub üles temasse asetatud kuupi.

Olgu meil näiteks kuup küljepikkusega 5 cm. Asetame kuubi
vette nii, et tema ülemise tahu kaugus vee niivoost oleks 15 cm.
Arvutame jõu, millega vesi lükkab kuupi üles.

Varemõpitust teame, et rõhk vedeliku sees on võrdne vedeliku-
samba kõrguse ja vedeliku erikaalu korrutisega. Vee erikaal on
 $1 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$, järelikult rõhk kuubi ülemisele tahule on $15 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}$. Alumise
tahu kaugus vee niivoost on $15 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$ ja järelikult
rõhk alumisele tahule on $20 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2}$. Kuna kuubi ühe tahu pindala on
 $5 \cdot 5 = 25 \text{ cm}^2$, siis ülemisele tahule mõjuv jõud on $25 \text{ cm}^2 \cdot 15 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2} =$
 $= 375 \text{ G}$ ja alumisele tahule mõjuv jõud $25 \text{ cm}^2 \cdot 20 \frac{\text{G}}{\text{cm}^2} = 500 \text{ G}$.

Vahe $500 \text{ G} - 375 \text{ G} = 125 \text{ G}$ ongi jõud, millega vesi lükkab
üles kuupi.

**Vedeliku omadust suruda üles temasse asetatud keha
nimetatakse vedeliku üleslükkeks.**

Vedrukaalu külge seotud kehale mõjuva üleslükke suuruse saame teada, kui võrdleme vedrukaalu näite õhus ja vees. Nimelt on näidu vähenemine vees just niisama suur kui üleslüke.

64. Laboratoorne töö nr. 9. Vedelikku asetatud kehale mõjuva üleslükke uurimine.

Töö vahendid. Vedrukaal, mensuur uuritava keha ruumala mõõtmiseks, keha, niiti.

Töö käik. 1. Riputa keha niidi abil vedrukaalu otsa. Vedrukaalu näit (keha kaal) kirjuta vastavasse tabelisse (vt. allpool).

2. Leia antud keha ruumala mensuuri abil ja kirjuta tulemus tabelisse.

3. Loe vedrukaalu näit siis, kui keha on vees. Märki see tabelisse.

4. Leia punktis 1 ja punktis 3 leitud vedrukaalu näitude vahe ja märki see tabelisse.

Mõõtmistulemuste tabel.

Katse nr.	Keha kaal G	Keha ruumala cm ³	Vedrukaalu näit siis, kui keha on vees G	Vedrukaalu näitude vahe (üleslüke) G
1.				
2.				
3.				

5. Vii kirjeldatud katse läbi veel kahe kehaga. Mõõtmistulemused kirjuta tabelisse vastavalt ritta 2 ja 3.

6. Võrdle keha ruumala väljendavat kuupsentimeetrite arvu vedrukaalu näitude vahega (üleslükkega). Võrdlemise tulemus kirjuta vihikusse.

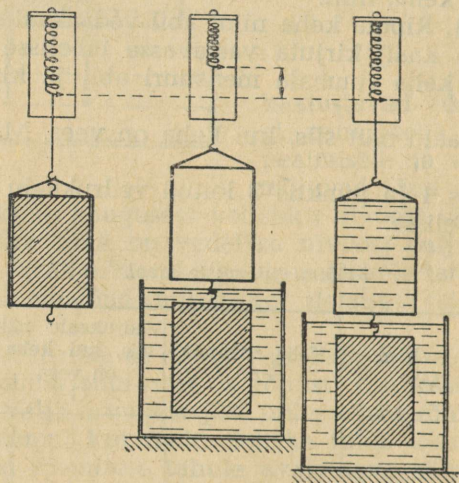
65. Arhimedese seadus. Teeme nüüd kindlaks üleslükke suuruse. Oma laboratoorsest tööst saime huvitava järelduse. Nimelt selgus, et keha ruumala ja vedrukaalu näitude vahe ehk üleslükke arvulised väärtused olid võrdsed (vt. laboratoorne töö punkt 6).

Laboratoorse töö käigus leidsime me ka keha ruumala. Kui võtta keha ruumalaga võrdne hulk vett, siis on selle vee kaal arvuliselt võrdne meie keha ruumalaga (sest 1 cm³ vett kaalub 1 G). Keha ruumala aga oli arvuliselt võrdne üleslükkejõuga. Seepärast võib öelda, et

kehale vedeliku poolt avaldatav üleslükkejõud on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumala suuruses.

See lause on õige üleni vedelikus oleva keha korral.

Seda järeldust võib kontrollida lihtsa katsega. Võtame silindrikujulise pangekese, millesse mahub täpselt silindriline keha, ja asetame nad vedrukaalu otsa (joon. 146). Märgime üles vedrukaalu näidu. Nüüd võtame silindrilise keha pangekesest välja ja riputame ta pange alla. Seejärel laseme silindrilise keha üleni vette. Vedrukaalu näit väheneb. Teisest klaasist kallame nüüd ettevaatlikult pangekesse vett. Kallamise ajal jälgime, et pangekese põhi ei vajuks vette. Vee kallamist jätkame seni, kuni vedrukaal näitab niisama palju kui algul. Ilmneb, et selleks tuleb pangeke vett täis kallata. Vedrukaal võtab



Joon. 146. Katse Arhimedese ämbrikesega.

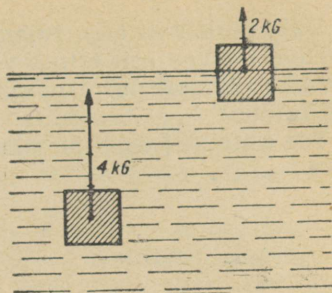
nüüd esialgse asendi sellepärast, et niisama tugevasti, kui vesi surub üles silindrilist keha ja temaga ühendatud pangekest, kisub panges olev vesi teda alla. Pangekeses oleva vee ruumala on aga võrdne vees oleva silindri ruumalaga. Siit saamegi järelduse, et vee üleslükke on võrdne vee kaaluga keha ruumala suuruses.

Laboratoorses töös (§ 64) nägime, et vee pind mensuuris tõusis, kui asetatakse keha vette. See vee tõus näitas meile keha ruumala suurust. Vee tõusu põhjuseks on asjaolu, et keha tõrjub oma kohalt vee välja. Väljatõrjutud vee ruumala on loomulikult niisama suur kui keha ruumala. Kuna aga keha ruumalaga võrdse vee hulga kaal on võrdne üleslükkejõuga, siis võib öelda, et

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

Ülaltoodud seaduspärasust nimetatakse Arhimedese seaduseks.

Joon. 147. Tervenisti vees olev keha tõrjub välja 4 dm³ vett ja talle mõjub üleslükkejõud 4 kG. Kui keha on ainult poolenisti vees, siis tõrjub ta välja 2 dm³ vett ja talle mõjub üleslükkejõud 2 kG.



Arhimedese seaduse väljaselgitamisel vaatlesime me keha, mis oli üleni vees. Arhimedese seadus jääb aga kehtima ka siis, kui keha on osaliselt vees. Kinnitame vedrukaalu külge mingi keha, märgime üles selle kaalu ja asetame ta siis osaliselt menuuris olevasse vette. Teeme kindlaks keha poolt välja tõrjutud vee kaalu ja vedrukaalu näidu vähenemise. Nende võrdlemisel selgub, et väljatõrjutud vee kaal on ka sel korral võrdne vedrukaalu näidu vähenemisega. Kui lasta keha kord rohkem, kord vähem vette ning seejuures võrrelda väljatõrjutud vee kaalu ja vedrukaalu näidu muutumist, siis võime veenduda, et

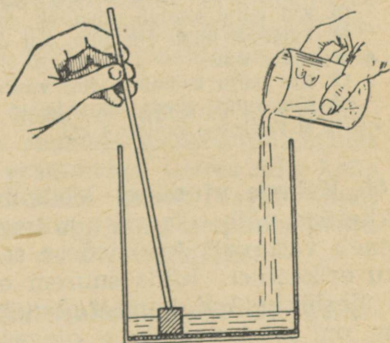
Arhimedese seadus kehtib mitte ainult üleni vees oleva keha kohta, vaid ka osaliselt vees oleva keha kohta.

Kodune töö. Vee üleslükkejõu uurimine.

Katseks on vaja suuremat klaaspurki, küllalt suurt ja tihedat korki, parafiinküünalt, teeklaasi, plekk-karpi ja peenikest puupulka.

Sulata plekk-karbis parafiini ja vala sula parafiinikiht eelnevalt soojendatud purgi põhjale. Sel teel muudame purgi põhja küllalt siledaks. Seejärel lõika korki ots terava noaga tasaseks ja hõõru ka see parafiiniga hästi siledaks.

Nüüd aseta korki sile ots purgi põhja katvale tahkestunud parafiinikihile. Vala siis teeklaasist vett ettevaatlikult purki. Selleks et veejuga ei uhuks korki kohalt ära, hoida seda puupulga abil kinni (joon. 148). Kui veekiht on tõusnud üle korki, siis ei ole tarvis korki enam kinni hoida, sest vesi oma raskusega surub korki vastu purgi põhja.

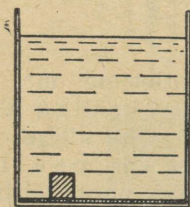


Joon. 148. Vee valamine purki, mille põhjal on kork.

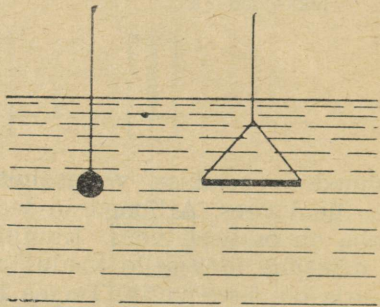
Vala purk vett täis. Näeme, et kork ei uju veepinnale, kuigi ta erikaal on vee erikaalust väiksem (joon. 149).

Miks tihedalt purgi põhjale asetatud korgile ei mõju vee üleslükkejõud?

Tee katsest joonis ja märgi nooltega korgile mõjuvad jõud.



Joon. 149. Kork ei kerki veepinnale.



Joon. 150. Vette asetatud kehad on mõlemad rauast ja kaaluvad 20 G.

Harjutus 34. 1. Miks vees olevale kuubile on alt mõjuv jõud suurem kui ülalt mõjuv jõud?

2. Mida me nimetame üleslükkejõuks?
3. Kui suur on üleslükkejõud?
4. Kus on kergem ujuda, kas jões või meres?
5. Miks ei tohi põlevat petrooleumi kustutada veega?
6. Kui suure jõuga tuleb hoida 100 G raskust korgitükki, et see oleks üleni vees?
7. Vette on asetatud raudkuul kaaluga 20 G ja niisama raske raudplaat (joon. 150). Kummale kehale mõjub suurem üleslükkejõud?
8. Kuidas saab kõige lihtsamini eraldada koort piimast? Miks?
9. Miks ujuvad rasv ja pekitükid supi peal?
10. Kui palju kaalub raudtükk, millele mõjub petrooleumis üleslükke 78 G?
11. Määrata keha ruumala, kui on teada, et tema kaal õhus on 50 G suurem kui vees.
12. Kui palju kaalub 1 dm³ vaske petrooleumis?
13. Kui suurt jõudu on vaja, et tõsta vees olevat veepange, mille maht on 12 l? Pang ise kaalub 4 kg.

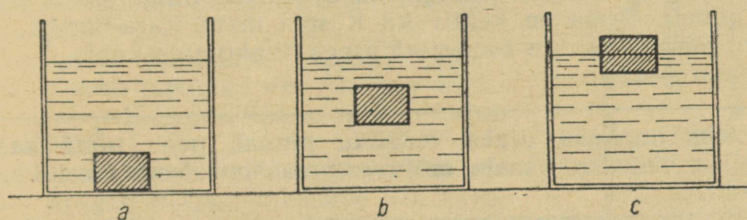
66. Kehade ujumine. Vedelikku asetatud kehale mõjuv üleslükkejõud võib olla väga mitmesuguse suurusega. Üleslükkejõud oleneb vastavalt Archimedesese seadusele keha ruumalast ja vedeliku erikaalust. Mida suurem on vedeliku erikaal, seda suurem on üleslükkejõud. Samuti oleneb üleslükkejõud sellest, mida suurem on keha vedelikus oleva osa ruumala. Üleslükkejõud on kõige suurem siis, kui keha on üleni vedelikus. Nimetame seda üleslükkejõudu maksimaalseks üleslükkejõuks.

Keha kaalu võime maksimaalse üleslükkejõuga võrreldes jaotada järgmiselt:

1. keha kaal on suurem kui maksimaalne üleslükkejõud;
2. keha kaal on võrdne maksimaalse üleslükkejõuga;
3. keha kaal on väiksem kui maksimaalne üleslükkejõud.

Püüame katseliselt kindlaks teha kolme sellise keha käitumise vedelikus. Võtame vedelikuks vee.

Kõigepealt vaatleme juhtu, kus keha kaal on suurem kui maksimaalne üleslükkejõud. Sellise keha ruumala kuupsentimeetrites peab olema arvuliselt väiksem kui keha kaal grammides. Seome



Joon. 151. Keha upub (a), kui ta kaal on suurem maksimaalsest üleslükkejõust; hõljub (b), kui ta kaal on võrdne maksimaalse üleslükkejõuga; ujub (c), kui ta kaal on väiksem maksimaalsest üleslükkejõust.

niisuguse keha niidi otsa ja asetame vette. Laseme nüüd niiti aegamööda järele. Näeme, et keha liigub anuma põhja poole, ühesõnaga, upub (joon. 151). Järelikult,

kui keha kaal on maksimaalsest üleslükkejõust suurem, siis keha vajub vees põhja ehk upub.

Laseme nüüd vette keha, mille kaal on võrdne maksimaalse üleslükkejõuga. Sellise keha ruumala kuupsentimeetrites on arvuliselt võrdne keha kaaluga grammides. Näeme, et keha vajub üleni vette, kuid võib paigale jääda nii veepinna lähedal, keskmises sügavuses ja samuti ka põhjas. Sel juhul öeldakse, et keha hõljub vedelikus (joon. 151, b).

Lõpuks vaatleme juhtu, kus keha kaal on väiksem kui maksimaalne üleslükkejõud. Sellise keha ruumala kuupsentimeetrites on arvuliselt suurem kui keha kaal grammides. Lastes selle keha vette, paneme tähele huvitavat asja. Keha nimelt vajub ainult osaliselt vette (joon. 151, c), osa kehast aga jääb veepinna peale. Niisuguse keha kohta öeldakse, et ta ujub vedelikus.

Järelikult,

kui keha kaal on väiksem vedeliku maksimaalsest üleslükkejõust, siis keha ujub selles vedelikus.

Keha, mis ühes vedelikus ujub, võib mõnes teises vedelikus uppuda. Nimelt ei ole üleslükkejõud ühele ja samale kehale erinevates vedelikes ühesugune.

Teeme järgmise katse. Võtame kaks klaasi. Ühe neist täidame veega, teise tugeva soolveega. Laseme esimesse klaasi kartulist lõigatud kuubikese. Näeme, et see upub. Lastes sama kuubikese teise klaasi, selgub, et nüüd kuubike jääb ujuma vedeliku peale. Põhjus seisab siin selles, et soolvee erikaal on puhta vee erikaalust suurem ja seega ka üleslükke on suurem.

Soolase vee suurema üleslükkega saabki selgitada seda, miks Surnumeres¹ ei ole võimalik uppuda. Selle veekogu soolasisaldus on umbes 27% tavalise mere 3% asemel. Suur soolaprotsent tõstab vee erikaalu tunduvalt suuremaks kui $1 \frac{G}{cm^3}$ ning seetõttu on siin üleslükke nii suur, et inimkeha ujub ilma pingutusteta sellise vee pinnal. Sama on kehtiv ka Kaspia mere Kara-Bogāzi lahe, Eltoni järve jt. suure soolasisaldusega veekogude kohta.

Kokkuvõtteks:

selleks et keha ujuks vedeliku pinnal, peab tema kaal olema väiksem temale mõjuvast maksimaalsest üleslükkejõust.

67. Laboratoorne töö nr. 10. Keha ujumise tingimuste uurimine.

Töövahendid. Mensuur, kaalud, kaaluvihtide komplekt, katseklaas-ujuk, konks, raudtraadi tükikesed, kuivatuspaber.

Töö käik. 1. Täida ujuk raudtraadi tükikestega ja sule siis see korgiga.

2. Kaalu ujuk kangkaaludel. Mõõtmistulemus kanna tabelisse (vt. allpool).

3. Täida mensuur pooleni veega ning lase siis ujuk konksu abil mensuuri. Ujuk vajub põhja. Määra ühtlasi ujuki poolt väljatõrjutud vee kaal (üleslükke) ja kirjuta tabelisse.

4. Võta ujuk välja, tühjenda traaditükkidest, kuivata kuivatuspaberiga ning korgi seejärel uuesti kinni.

5. Kaalu ujuk ja kanna tulemus tabelisse ritta nr. 2.

6. Lase ujuk mensuuri. Nüüd jääb ta veepinnale.

7. Vabasta ujuk konksust ja määra väljatõrjutud vee kaal. Tulemus kanna tabelisse.

Mõõtmistulemuste tabel.

Katse nr.	Ujuki kaal G	Väljatõrjutud vee kaal G	Ujuki asend (kas ujub või upub)
1.			
2.			
3.			

¹ Aravooluta soolajärv Jordaania.

8. Kolmandaks katseks pane ujukisse mõned traaditükid ja korda katset, märkides tulemused tabelisse ritta nr. 3.

9. Tee järeldus selle kohta, millal keha ujub ja millal upub.

Kodune töö. *Ujumise tingimuste uurimine.*

Katseks on vaja anumad veega, pudelikest, korki ja siledat puupulka.

Puuri korgist läbi nii suur ava, et sellesse mahuks tihedalt puupulk. Pudelissee vala nii palju vett, et pudel oleks suuremasse veenõusse asetatult üleni vee sees (joon. 152).

Tõmmates puupulka korgist rohkem välja, tõuseb pudelike vee pinnale. Surudes aga pulka pudelikese sisse, vajub pudel põhja.

Kas pudelikese kaal muutus, kui me pulka korgist välja tõmbasime või sügavamale pudelikese sisse surusime?

Mis muutus pudelikese juures pulga nihutamisel?

Kuidas sõltub kehale mõjuv vedeliku üleslükkejõud keha ruumalast?



Joon. 152. Koduse töö juurde.

68. Veetransport. Paneme suuremasse veenõusse puuklotsi. Klots jääb veepinnale ujuma. Sellest järeldame, et vee maksimaalne üleslükkejõud sellele klotsile on suurem kui klotsi kaal. Asetame nüüd ettevaatlikult klotsile väikese raskuse. Klots kannab seda raskust, kuid vajub seejuures ise sügavamale vette.

Kui sügavale vajub seejuures klots vette? Ilmneb, et klots vajub vette selliselt, et vee kaal vees oleva klotsiosa ruumala suurus (üleslükke) on võrdne klotsi ja klotsil oleva raskuse kaaluga. Kui klotsi kaal suureneb, siis peab muidugi suurenema ka vees oleva klotsiosa ruumala, sest ainult sel viisil suureneb klotsi ja temal olevat koormat tasakaalustav üleslükkejõud.

Eespool kirjeldatud katsest selgub, et vees ujuv keha võib kanda veel mingit täiendavat koormat. See koorem ei tohi muidugi olla nii suur, et ta klotsi uputaks. Püüame nüüd välja selgitada koorma suuruse, mida meie klots suudab kanda, ilma et ta ise seejuures upuks. Küsimuse lahendamiseks lähume maksimaalsest üleslükkejõust. Maksimaalne üleslükkejõud on võrdne vee kaaluga keha ruumala suuruses. Järelikult tuleb maksimaalse üleslükkejõu suuruse leidmiseks leida klotsi ruumala. Meie katsest selgus, et klotsi kaal on väiksem maksimaalsest üleslükkejõust (see on ujumise tingimus). Määrame oma klotsi kaalu. Edasi leiame maksimaalse üleslükkejõu ja klotsi kaalu vahe. Kui

nüüd klotsile lisada raskus, mis on võrdne leitud vahega, siis saaksime olukorra, kus klotsi kaal ja maksimaalne üleslükkejõud oleksid võrdsed. Eespoolõpitud teame, et klots hakkaks seejuures vees hõljuma. Et klots jääks aga veepinnale, peab temale asetatav raskus olema natuke väiksem leitud vahest.

Raskust, mida ujuv keha suudab kanda ilma uppumata, nimetatakse keha kandejõuks.

Nagu eeltoodud arutlusest järgneb, on kandejõud veidi väiksem maksimaalse üleslükkejõu ja ujuva keha kaalu vahest.

Seda ujuva keha omadust kasutatakse laialdaselt veetranspordis. Veetranspordivahendite ehk laevade ehitamisel tuleb silmas pidada kirjeldatud olukorda. Laev tuleb ehitada selline, et vesi tema ruumala suuruses kaaluks rohkem kui laev ise, s. t. et maksimaalne üleslükkejõud peab olema suurem kui laeva kaal. Sel juhul vajub ainult üks osa laeva kerest vette, teine osa aga jääb vee peale. Laeva veepealne osa muidugi väheneb laeva koormamisel mitmesuguste transporditavate esemetega.

Laeva veeluse osa ruumalaga võrdset veehulga kaalu ehk laeva poolt väljatõrjutud vee kaalu nimetatakse laeva veeväljasurveks. Kui laeva veeväljasurve on näiteks 10 000 tonni, siis tähendab see seda, et laev tõrjub välja 10 000 tonni vett, s. t. laeva veeluse osa ruumala on 10 000 m³ (sest 1 m³ vett kaalub 1 tonn).

Laev ei istu alati ühesugusel sügavusel vees. Laeva kaalu suurenemine suurendab ka laeva süvist, kaalu vähendamine aga vastavalt vähendab seda. On muidugi selge, et laeva kaalu ei saa liialt suurendada, siin tuleb teada laeva kandejõudu.

Laeva süvis oleneb aga peale kaalu veel vee omadustest. Teatavasti on vesi erinevates kohtades erineva soolasusega ja vastavalt sellele on erinev ka vee erikaal. Vee üleslükkejõud oleneb aga erikaalust ja on seda suurem, mida suurem on erikaal. Siit järeldub, et soolasemas vees on üleslüke suurem ja laev vajub vähem vette kui magedas vees.

Iga laeva jaoks on ette nähtud maksimaalne sügavus, milleni ta võib vette vajuda. See määrab muidugi ära ka laeva kandejõu. Kui me arvutame maksimaalselt vees oleva laevaosa ruumala, siis saame sellega teada ka üleslükkejõu (veeväljasurve). Kui nüüd sellest lahutada laeva kaal (ilma koormata), siis saame teada laevale pealevõetava kõige suurema koorma kaalu.

Laeva maksimaalne sügavus märgitakse laevakerel nn. süvisejoonega (joon. 153). Tavaliselt värvitakse laevakere ülalpool süvisejoont ühte värvi ning allpool süvisejoont teist värvi.

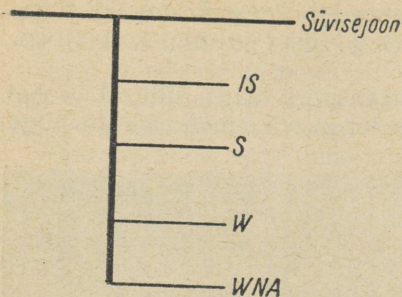
Kuna laev vajub erineva soolasusega vees erinevasse sügavusse, siis antakse süvisejoone juures veel erineva soolasusega vete jaoks ettenähtud maksimaalsed sügavused. Süvisejoon näi-

tab laeva maksimaalset sügavust magedas vees. Erinevaid sügavusi märkiv tähis kannab laadungimärgi nimetust (joon. 154).

Tänapäeva transpordis on veetransport väga tähtsal kohal. Laevadega veetakse kaupa nii meredel ja ookeanidel kui ka jõge-



Joon. 153. Mootorlaev «Loksa». Kuni süvisejooneni on laev värvitud ühte värvi, altpoolt süvisejoont aga teist värvi (harilikult punaseks).



Joon. 154. Laadungimärk. Kuna vee erikaalud ei ole suvel ja talvel ühesugused, siis antakse vajumissügavused eraldi suve ja talve kohta. IS — laeva sügavus India ookeanis; S — laeva sügavus soolases vees suvel; W — laeva sügavus soolases vees talvel; WNA — laeva sügavus Atlandi ookeani põhjaosas talvel.

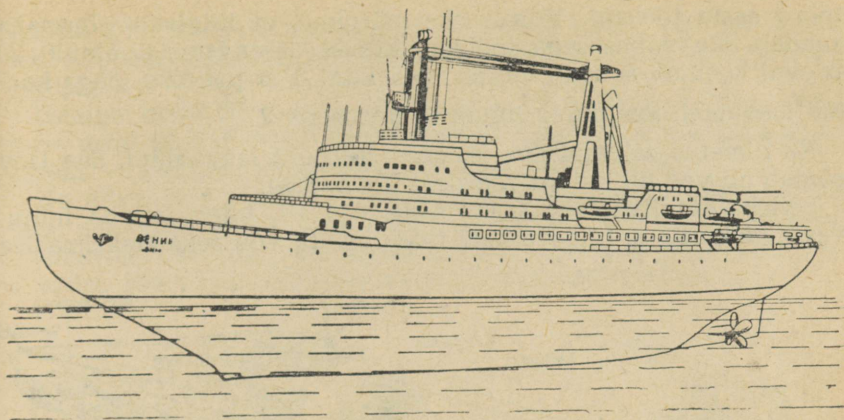
del ning järvedel. Meie maal pööratakse veetranspordile suurt tähelepanu. Intensiivselt kasutatakse kaubaveoks meie kodumaad ümbritsevaid meresid ja ookeane. On võetud kasutusele ka meie maad põhjast piiravad mered. Regulaarselt liiguvad laevad sellel nn. Põhja mereteel. Suur tähtsus üldises transpordis on meie jõelaevastikul. Paljud meie kodumaa suured jõed on ühendatud laevatatavate kanalitega. Kanalid aitavad ühendada ühtsesse süsteemi paljusid meie maa meresid, jõgesid ja järvi.

On arusaadav, et laev, mis kõlbab sõitmiseks näiteks Volgal või mõnel teisel jõel, ei kõlba sõiduks avaral ookeanil või karmil Põhja mereteel. Ookeani künnavad tänapäeval hiiglaslikud laevad. Sägeli kujutavad nad endast suuri tehaseid, ujuvbaase jne. Hiiglaslike tanklaevade kõrval nimetame seepärast meie maa ühte suuremat ujuvat tehast — vaalapüügilaevastiku lipulaeva «Slava». Sellel hiiglaslikul laeval töötatakse ümber ning säilitatakse umbes poole aasta jooksul Antarktise vetes püütud vaalad. 1959. a. lasti vette teine selline vaalapüügi baaslaev — «Ukraina».

69. Eriotstarbelisi laevu. Kui laeva hakatakse ehitama, siis on alati teada, missuguseks otstarbeks seda hiljem kasutatakse. Üks neist on ette nähtud näiteks söeveoks, teine heeringapüügiks, kolmas reisilaevaks, neljas sõjalaevaks jne. Lähemalt räägime siin kahest laevatüübist — jäälõhkujast ja allveelaevast.

Juba nimetus «jäälõhkuja» reedab selle laeva otstarbe. Selline laev on hädavajalik laevaühenduse pidamiseks polaarmedes. Eriti vajalikud on need laevad Põhja mereteel. Palju kuulsusrikkaid lehekülgi on kirjutanud meie maa merelaevanduse ajalukku sellised jäälõhkujad, nagu «Jermak», «Sedov», «Sibirjakov» jt.

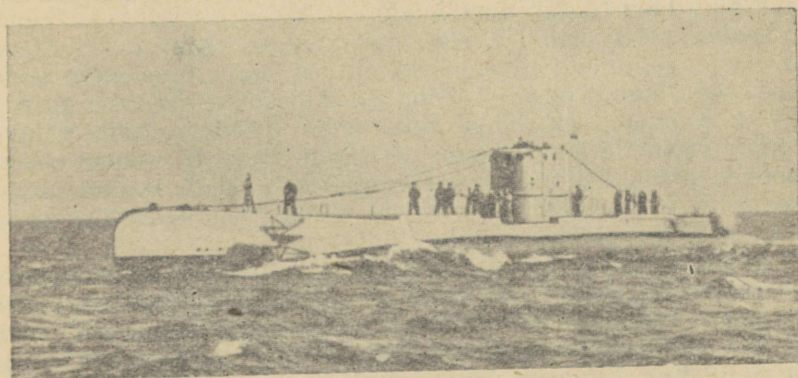
Kuidas siis töötab jäälõhkuja? Vaatleme joonist 155. Jooniselt näeme, et laeva nina ei lange mitte järsku vette, vaid võrdlemisi libamisi. Oma võimsate masinate jõul liigub jäälõhkuja, tänu oma sellisele ninale, ninaga jää peale. Piltlikult öeldes — laev ronib oma ninaosaga veest välja jää peale. Veest tasakaalustas vesi laeva nina raskuse. Nüüd aga seda tasakaalustajat enam ei ole,



Joon. 155. Aatomijäälõhkuja «Lenin».

sest see jäi jää alla. Ja tulemus — laeva tohtu raske nina rõhuv kogu oma raskusega jää servale. Jäälõhkujal «Jermak» on see jääle rõhuv raskus 800 tonni. Nina raskuse suurendamiseks pumbatakse veel erilistesse ballastikambritesse vett. Sellise raskuse mõjul jää murdub, laev sõidab edasi, ronib uuesti jääle ja surub selle katki. Mõnikord lõhutakse jääd ka nina löökidega vastu jääseina.

5. detsember 1957. a. tähistab uut etappi veetranspordis. Sel päeval lasti vette maailma esimene aatomimootoriga laev — nõukogude jäälõhkuja «Lenin» (joon. 155). Selle hiiglasliku laeva pikkus on 134 m, laius rohkem kui 27 m. Vabas vees liigub ta kiirusega $32 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Kütusevaru täiendamata võib «Lenin» teha tööd

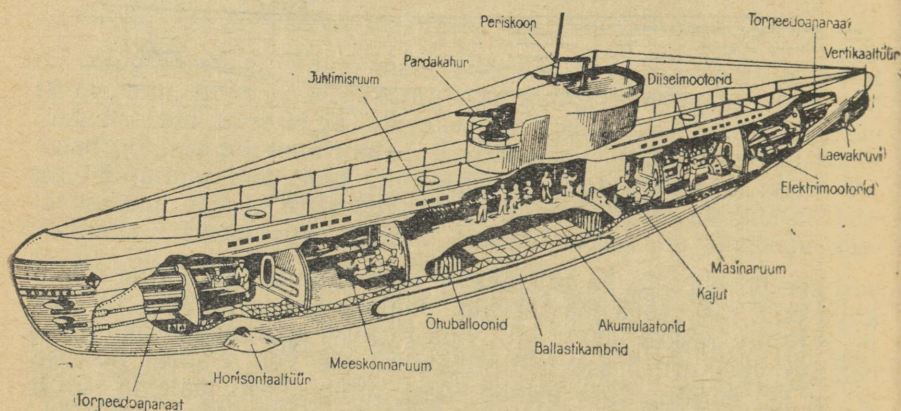


Joon. 156. Allveelaev.

terve aasta jooksul. Võrdluseks märgime, et hiiglane «Jermak» suudab täie võimsusega töötada kütust täiendamata ainult 20 päeva! «Lenin» suudab murda teed kuni 3 m paksuse jääga kaetud laevateel. Seejuures liigub ta kiirusega $2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Ka nimetus «allveelaev» iseloomustab üht laevatüüpi. See laev sõidab nii vee all kui ka vee peal (joon. 156).

Selleks et allveelaev saaks sõita vee all, tuleb ta viia hõljuvasse olekusse, s. t. laeva kaal tuleb muuta võrdseks maksimaalse



Joon. 157. Allveelaeva skeem.

üleslükkejõuga. Selleks lastakse vett nn. ballastikambritesse (joon. 157). Tõusmiseks veepinnale tuleb vesi nendest kambritest jällegi välja suruda. Seda tehakse suruõhu abil. Sel teel muudetakse laeva kaal maksimaalsest üleslükkejõust väiksemaks ning laev tõuseb veepinnale.

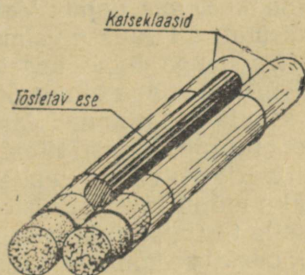
Veelune sõit seab laevale rea nõudeid. Kõigepealt ei saa laevalaale paigutada niisuguseid ehitusi nagu tavalistele laevadele. Laeva luugid peavad olema tihedalt suletavad. Vee all peab laev kasutama elektrimootoreid, sest diiselmootorid vajavad tööks õhku, mida laevas on aga kasinalt. Energiat saavad elektrimootorid akumulaatoritest. Neid tuleb aga sageli laadida. Laadimine toimub diiselmootorite abil ja selleks peab laev tõusma vee peale, kus on küllaldaselt õhku.

Asjaolu, et allveelaev saab liikuda vee all ja sukelduda paarisaja meetri sügavusele, võimaldab teda kasutada väga mitmesugusteks eesmärkideks. Ahvatlev perspektiiv liikuda nähtamatult vee all meelitas inimesi sellise laeva ehitamisele juba kauges minevikus. Esimesed katsed tehti Peeter I valitsusajal laevaehitustehase töölise Jefim N i k o n o v i poolt. Sellest alates kat-

setasid allveelaeva ehitamisega veel paljud teised andekad inimesed. Lõplikult saavutas allveelaev aga eluõiguse alles selle sajandi alguses.

Eialgu otsiti allveelaevale tööd ainult sõjalaevastikus. Alles meie maal on hakatud allveelaeva kasutama teaduslikeks eesmärkideks — meresügavuste üksikasjaliseks uurimiseks.

Ka allveelaeva juures kasutatakse kaasaegse tehnika ja teaduse saavutusi. USA-s on loodud esimesed aatomimootoriga allveelaevad. On selge, et aatomimootori rakendamine allveelaeval avardab tunduvalt selle laevaliigi kasutamisevõimalusi.

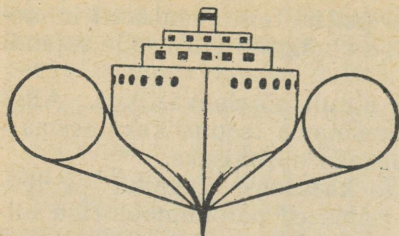


Joon. 158. Seade väikeste raskuste tõstmiseks veenõu põhjast.

70. Uppunud laevade ülestõstmine. Teeme järgmise katse. Võtame kaks väikest katseklaasi ja korgime nad tihedasti kinni. Seome siis need klaasid peenikese traadi või nõoriga teineteise kõrvale. Seejärel võtame klaasidega umbes ühepikkuse klaaspulga või mõne suurema naela ning laseme selle vette. Näeme, et klaaspulk (või nael) upub. Viime nüüd oma katseklaasid anuma põhja ja asetame seal klaaspulga või naela katseklaaside ühendustraate peale (joon. 158). Laseme katseklaasid käest lahti. Kuna kogu seadmele mõjuv üleslükkejõud on suurem seadme kaalust, siis tõusevad meie katseklaasid koos nende peal oleva koormusega üles.

Katset tuleb arvatavasti mitu korda korrata, enne kui klaasid koos koormaga jäävad pärast tõusmist vee peale ujuma! Nimelt tuleb selleks koormat vastavalt sobitada, sest koorma ebaõige asendi korral ta libiseb tõusmisel katseklaasidelt maha ja langeb põhja tagasi.

Selliseid õhuga täidetud anumaid võib kasutada tunduvalt raskemate esemete tõstmiseks ja mitte veepangest, vaid looduslike veekogude põhjast. Juhtub ju mõnikord, et laev vajub avamerel avarii tõttu merepõhja. Aegade jooksul on nii hukkunud palju laevu. Neid on aga ülalkirjeldatud viisil võimalik uuesti vee peale tõsta, remontida ja uuesti kasutusele võtta. Senini on merepõhjust üles tõstetud palju laevu.

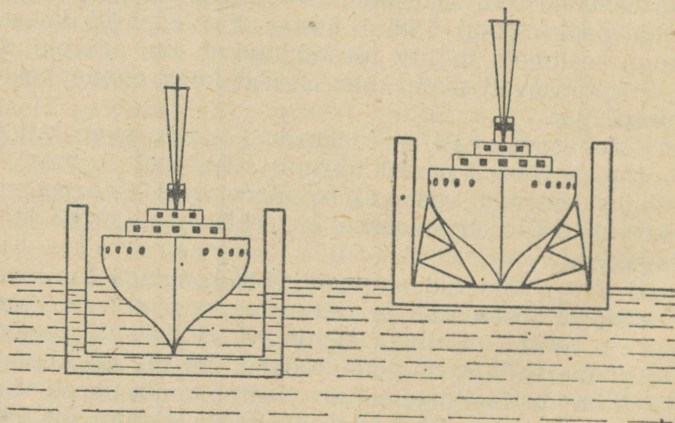


Joon. 159. «Sadko» tõstmise skeem.

Uheks suuremaks merepõhjust ülestõstetud laevaks on jäälõhkuja «Sadko», mis uppus Valges meres 1916. a. «Sadko» tõstmiseks kasutati 24 rauast valmistatud silindrit, mis kinnitati paarikaupa trossidega teine teisele poole laeva. Iga silindri ruumala oli 250 m³, kaal aga ainult 50 tonni. Selleks et silindreid laeva külge kinnitada, tuli nad lasta vett täis ning toimetada selliselt «Sadko» juurde. Pärast silindrite kinnitamist suruti vesi suruõhu abil silindritest välja, nende kaal vähenes ning nad hakkasid üleslükke mõjul tõusma, tõstes samal ajal ka laeva.

Ka selle tõstmise juures esines üsna mitu ebaõnnestunud tõstet. Kord jõudsid veepinnale ainult silindrilised pontoonid, kord vilksatas «Sadko» veepinnal, kuid libises siis pontoonide ühendustrossidelt ning vajus uuesti meresügavusse. Tuli alata uuesti otsast peale. Pingelise töö tulemusena tõsteti «Sadko» lõpuks siiski veepinnale, remonditi ning saadeti uuesti tööle — teed rajama laevakaravanidele.

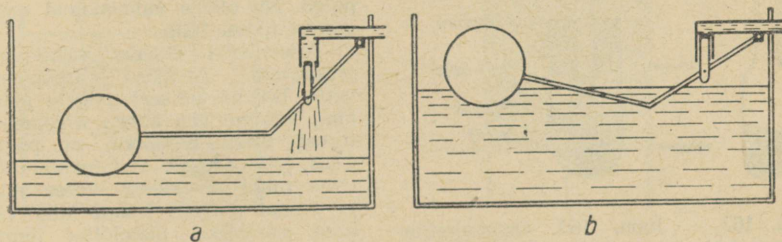
Mitte alati ei põhjusta laeva vigastused tema uppumist. Tänapäeval tunnevad meremehed paljusid võimalusi vigastustest tingitud uppumisohu vastu võitlemiseks. Seepärast jõuavad ka paljud vigastatud laevad tagasi sadamatesse. Siin aga tuleb neid parandada. Veealuste vigastuste parandamiseks



Joon. 160. Ujuvdokki töö skeem.

tuleb laev veest välja tõsta. Selleks sõidab laev nõndanimetatud ujuv-dokki. Dokk kujutab endast suurt kahekordsete seintega rauast karp. See karp on nii suur, et tema avatud otsast võib sisse sõita suur ookeanilaev. Selleks tuleb karp muidugi lasta nii sügavale vette, et laev saaks temasse sõita. Doki sügavamale laskmiseks lastakse tema seinte vahel olevatesse ruumidesse vett. Pärast seda, kui laev on dokki sisse sõitnud, pumbatakse vesi suruõhu abil seintevahelisest ruumist välja, üleslükke mõjul tõuseb dokk üles ning tõstab ka temas oleva laeva soovitud kõrgusele. Nii on laeva remontimist kerge läbi viia.

71. Üleslükkejõule põhinevaid seadmeid. Vedelike üleslükkejõudu kasutatakse tänapäeval veel paljudes kohtades. Vee üleslükkejõudu saab näiteks kasutada mitmesuguste veepaakide automaatseks täitmiseks. Selleks tuleb



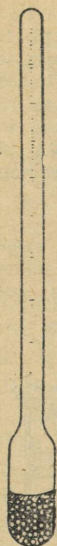
Joon. 161. a) vett on paagis vähe, ujuk on alla vajunud ning sulgur on vabastanud vee väljavooluava; vesi voolab paaki juurde; b) vee-pind on paagis tõusnud nii kõrgele, et sulgur on vee väljavooluava tihedasti kinni surunud ning vett paaki juurde ei pääse.

paaki asetada küllalt suur õhuga täidetud ujuk. Need ujukid valmistatakse harilikult plekist, mõnikord aga ka plastmassist. Niisuguse ujuki kaal on tunduvalt väiksem niisama suure veehulga kaalust. Seepärast ujub ta vee peal. Kui nüüd paagis vesi tõuseb, siis tõuseb ka ujuk. Ujuk on kinnitatud pika varda külge, viimase küljes on aga sulgur, mis suleb vee juurdevoolu (joon. 161).

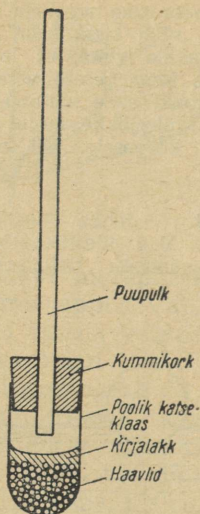
Sulgur kujutab endast metallpolti, mille otsas on kummist tihend. Kui vee-pind paagis uuesti alaneb, siis vajub ka ujuk alla, sulgur vabastab juurdevooluava ning uus vesi voolab paaki.

Arhimedese seadusele põhineb vedelike erikaalude määramise mõõteriista ehitus. Seda riista nimetatakse areomeetriks. Areomeeter kujutab endast silindrilist klaaskeha, mille alumine osa on jämedam (joon. 162). Et muuta areomeetri allosa raskemaks, selleks asetatakse sinna peenikesi haavleid. Raskemat allosa on vaja selleks, et areomeeter seisaks vedelikus püsti. Erinevate erikaaludega vedelikes vajub selline riist erinevasse sügavusse. Selle järgi saabki määrata vedeliku erikaalu. Nimelt on areomeetri ülemisele osale märgitud kriipsud ja nende juurde vastavad erikaalud. Kriipsud on tehtud selliselt, et areomeeter vajub vedelikku just tema erikaalule vastava kriipsuni. Kriipsu juurest saab aga lugeda vedeliku erikaalu.

Kuidas gradueerida areomeetrit? Vastus küsimusele on lihtne: gradueerimata areomeeter tuleb asetada järgemööda erinevate erikaaludega vedelikkudesse ning märkida iga kord areomeetriile sügavus, milleni ta vajus. Märgi juurde tuleb muidugi kirjutada ka vastava erikaalu väärtus.



Joon. 162. Areomeeter.



Joon. 163. Omavalmistatud areomeeter.

Kodune töö. Areomeetri valmistamine. Töö koosneb tegelikult kahest osast. Esimeses osas valmistame areomeetri, teises osas aga tema skaala.

Areomeetri valmistame poolikust katseklaasist, puupulgast ja kummikorgist. Poolikusse katseklaasi paigutame umbes poole katseklaasi ruumalani peenikesi haavleid (või lihtsalt liiva) ja valame need parafiini või kirjalakiga kinni. Katseklaasi korgime kummikorgiga tihedalt kinni ja pistame läbi korgi peene ühtlase jämedusega puupulga. Nii oleme valmistanud areomeetri (joon. 163).

Areomeetri skaala valmistame järgmiselt. Asetame areomeetri vette, laseme tal seal paigale jääda ning võtame siis käega areomeetri torust kinni niimoodi, et põidla küüs jääb täpselt veepinnale. Võtame nüüd areomeetri veest välja ja teeme pulgale küüne alla väikese sisselõike. Sisselõike juurde võib tööõpetuse tunnis põletada vee erikaalu väärtuse (1,0). Sama korraldame petrooleumi ja tugeva soolveega. Petrooleumi erikaalu saame

erikaalude tabelist, soolvee erikaal tuleb aga katseliselt määrata. Kui on käepärast veel mõni vedelik, siis võib ka selle erikaalu määrata ja areomeetritele kanda.

Märkus. Mõnikord võib juhtuda, et meie areomeeter vajub vette liiga sügavale või liiga vähe. Esimesel juhul tuleb haavleid vähemaks võtta, teisel juhul juurde panna. Kuna pärast haavlite kinnivalamist on nende hulka raske muuta, siis võib vajumise proovi teha enne haavlite kinnivalamist. Alles siis, kui areomeeter vajub vette nii, et umbes pool puupulgast on vees ja pool väljas, valame haavlid parafiini või lakiga kinni.

Harjutus 35. 1. Miks võib väita, et juhul, kui vee üleslükke on temasse asetatud keha kaalust suurem, siis ka keha ruumala kuupsentimeetrites on suurem keha kaalust grammides?

2. Mida nimetatakse maksimaalseks üleslükkejõuks?

3. Kui suur osa jäämäest on vee peal? vee all?

4. Parv on tehtud risttahukakujulistest prussidest. Prussi pikkus on 6 m, laius 25 cm ja paksus 12 cm. Kas kahekümnest sellisest prussist tehtud parv kannab 2,5 tonni raskust autot?

5. Diiselelektrilaeva «Leena» veeväljasurve on 12 600 tonni. Kui suur on selle laeva kandejõud, kui laev ilma koormata kaalub 6 446 tonni?

6. Teha katseliselt kindlaks paragrahvis 70 kirjeldatud katseklaaside maksimaalne tõstejõud. Kirjelda töö käiku.

7. Mis juhtuks elavhõbedadega täidetud pudelikesega, kui see asetada suuresse elavhõbedaanumasse?

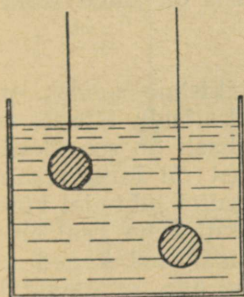
8. Veega ääreni täidetud pudel lastakse veepange. Kas pudel ujub või upub?

9. Vaata joonist 164 ja otsusta, kummale kehale mõjub suurem üleslükkejõud.

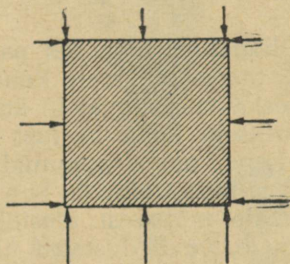
10. Mitme kuupsentimeetri võrra tõuseb veepind mensuuris, kui sinna panna ujuma 100 G raskune keha?

11. 1959. a. lõpul valmis meie maa suurim tanklaev — «Peking». Selle tanklaeva pikkus on ligi 200 meetrit ning ta on valmistatud tehnika uusimate saavutuste põhjal. Laeva veeväljasurve on 40 000 tonni ning kasulik last 30 000 tonni. Kui suur on selle laeva veealuse osa ruumala? Mitu tonni kaalub see laev ilma koormata (lastita)?

12. Laeva veealuse osa ruumala on 6 000 m³. Laeva kere koos mootorite ja muu sisseseadega kaalub 2 000 tonni. Kui suur on selle laeva kandevõime?



Joon. 164. Vette asetatud kehad on ühesuguse ruumalaga.



Joon. 165. Õhus olevale kuubikujulisele kehale mõjub alt suurem rõhumisjõud kui ülalt. Selle tulemusena tekib üleslükkejõud.

72. Üleslükke gaasides. Mitte ainult vedelikud, vaid ka gaasid rõhuvad nendesse asetatud kehadele. Gaaside erikaalud on aga palju kordi väiksemad vedelike erikaaludest, seepärast on ka gaaside rõhud palju väiksemad kui vedelike omad.

Vaatleme õhus olevat kuubikujulist keha (joon. 165). Õhk rõhub kuubi vasakule tahule niisama tugevasti kui paremale ning esitahule niisama tugevasti kui tagatahule. Ülemisele tahule aga rõhub õhk nõrgemini kui alumisele, sest õhusammas, mis rõhub ülemisele tahule, on väiksem kui alumisele tahule mõjuv õhusammas. Tekib rõhkude vahe, mida nimetatakse üleslükkeks. Kuna kõik kehad on üleni õhus, siis on ka õhu üleslükke alati maksimaalse suurusega.

Ülaltoodud jutt on meile juba tuttav. Kõike seda õppisime Arhimedese seaduse juures. Kordasime seda siin ainult seepärast, et

Arhimedese seadus kehtib mitte ainult vedelike, vaid ka õhu ja teiste gaaside kohta.

Üleslüke õhus on küll väike, kuid ta mõjutab siiski kaalumistulemusi. Ükski kaalumine õhus pole täpne, vaid on õhu üleslükke võrra väiksem. Kuna üleslükkejõud oleneb keha ruumalast, siis oleneb ka kaalumise viga keha ruumalast. Suurte ja kohevate kehade juures on see viga suhteliselt suurem kui tihedate kehade juures. Mõnikord küsitakse — kumb on raskem, kas kilogramm sulgi või kilogramm rauda? Paistab, et vastus on — mõlemad on üheraskused. Kuna me aga tunneme Arhimedese seadust, siis vastame natuke teisiti. Nimelt: õhus tunduvad nad üheraskusena, kui aga viia nad õhutühja ruumi, siis on suled raskemad. Miks me selliselt vastame?

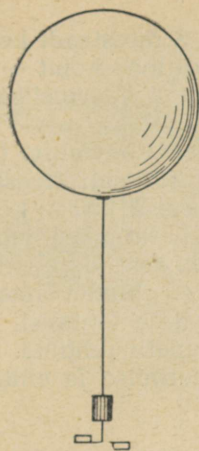
73. Õhupallid. Eelmises paragrahvis rääkisime sellest, et õhk avaldab temas olevatele kehadele üleslükkejõudu täpselt samuti nagu vesi temas olevatele kehadele. Tavaliselt on see üleslükkejõud väiksem keha kaalust ning seepärast on kõik maapinnal olevad kehad nagu «uppunud õhku». Üksikutel juhtudel võib aga keha õhus mitte uppuda. See toimub siis, kui keha kaal on väiksem temale mõjuvast üleslükkejõust. Niisugused kehad ei jää maapinnale, vaid tõusevad üles. Me teame aga, et üleval läheb õhk hõredamaks. See tähendab seda, et õhu erikaal kõrgemal on väiksem kui maapinna lähedal. Seepärast ei tõuse need kehad mitte lõpmata kõrgele. Nad tõusevad seni, kuni üleslükkejõud saab võrdseks keha kaaluga. Kui see on toimunud, siis keha kõrgemale enam ei tõuse.

Seda keha omadust kasutatakse õhupallide ehitamisel. Võetakse kerge ning vastupidav kest ning täidetakse see gaasiga, mille erikaal on õhu erikaalust väiksem. Kui kest on küllalt suure ruumalaga, siis kaalub kest koos gaasiga tunduvalt vähem kui sama kogus õhku. Seetõttu võib taoline keha tõusta üles ning kanda isegi väikest koormat. Selliseid õhust kergema gaasiga täidetud kehi nimetataksegi õhupallideks.

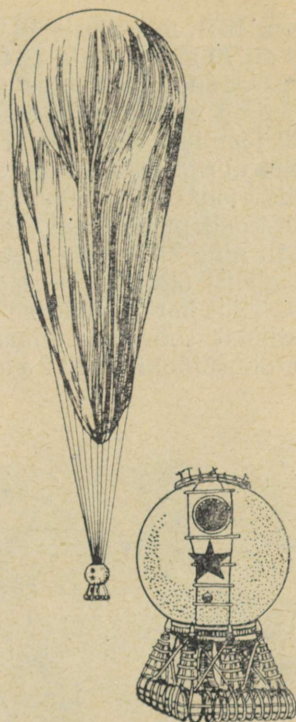
Õhupallide kestad tehakse tänapäeval kas kummist või mõnest muust õhukindlast ja kergest materjalist. Pallide täitmiseks kasutatakse kas vesinikku, valgustusgaasi või mõnda teist õhu erikaalust väiksema erikaaluga gaasi.

Maailma esimene õhupall täideti sooja õhuga. Sellise palliga tõusis õhku vene kohtukirjutaja Krjakutnõi aastal 1731. Tema lend ei kestnud muidugi kuigi kaua ning ei toimunud ka eriti kõrgel. Seda seepärast, et sooja õhuga täidetud palli tõstejõud ei olnud eriti suur ning õhk hakkas seal pealegi kohe jahutama. Jahtunud õhk muutus aga palli ümbritseva õhuga üheraskuseks ning pall langes koos oma sõitjaga maapinnale tagasi.

74. Õhupallide kasutamine. Õhupallide omadust õhus üles tõusta kasutatakse väga mitmesugusteks otstarveteks. Iga päev lastakse terves maailmas üles sadu ja tuhandeid õhupalle selleks,



Joon. 166. Meteoroloogiline õhupall.



Joon. 167. Stratostaat «CCCP».

et uurida ilmastikutingimusi kõrgemates õhukihtides ja selle abil ennustada ilma. Need on maapinnal umbes 1,5—2,5 m läbimõduga kummipallid, mis on täidetud vesinikuga. Niisugused pallid on niisama suurest õhuhulgast tunduvalt kergemad ning tõusevad seepärast kiiresti üles. Palli külge kinnitatakse väike raadiosaatja, mis saadab signaale tuule kiiruse, õhurõhu ja temperatuuri kohta mitmesugustes kõrgustes (joon. 166).

Üles tõustes pallid paisuvad, sest õhurõhk muutub kõrgemal väiksemaks. Paisumisel venitatakse kummikesta ikka rohkem ja rohkem välja, lõpuks kest lõhkeb ning tema jäänused koos raadiosaatjaga kukuvad alla.

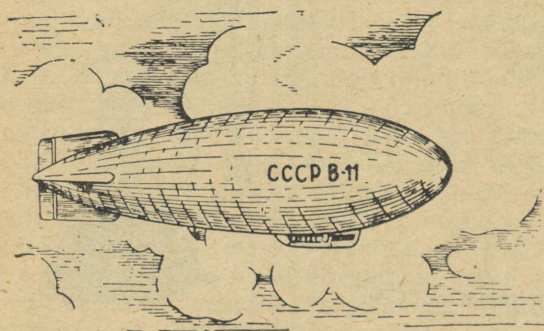
Õhupalle kasutatakse ka sõjaasjanduses. Vanasti kasutati neid vaatlejate ülesaatmiseks. Suures Isamaasõjas kasutati õhupalle võitluseks vaenlase lennukite vastu. Selleks lasti üles õhupallid tugevate terastrosside abil. Lennuk, sattunud vastu selliseid trosse, purunes ja langes alla enne eesmärgile jõudmist.

Õhupalle on kasutatud ka stratosfääri alumiste kihtide uurimiseks. Selliseid õhupalle nimetatakse stratostaatideks. 30. septembril 1933. aastal startis meie maal stratostaat «CCCP»

(joon. 167), mis tõusis 19 000 m kõrgusele. Stratostaadi kesta kõrgus oli 70 m, ruumala 24 500 m³. Stratostaadi meeskond — Prokofjev, Godunov ja Birnbaum — tegi tõusul rea väärtuslikke vaatlusi ning maandus siis õnnelikult.

30. jaanuaril 1934. aastal startis stratostaat «Osoaviahim I» stratofääri uurimiseks talvistes tingimustes. Stratostaadi meeskond — Fedissejenko, Vassenko ja Ussõškin — tõusis 22 000 m kõrgusele. Meeskond pidas maaga sidet radio abil. Laskumisel juhtus aga avarii ning kolm julget stratosfääriuurijat hukkusid.

Tavalisi õhupalle — aerostaate — ei olnud võimalik juhtida. Tuul kandis neid siia-sinna vastu reisijate tahtmist. Et sõita reisijatele soovitud suunas, tuli õppida õhupalli juhtima. See viis uue õhusõiduki *dirizaabli* — konstrueerimise ja ehitamiseni.



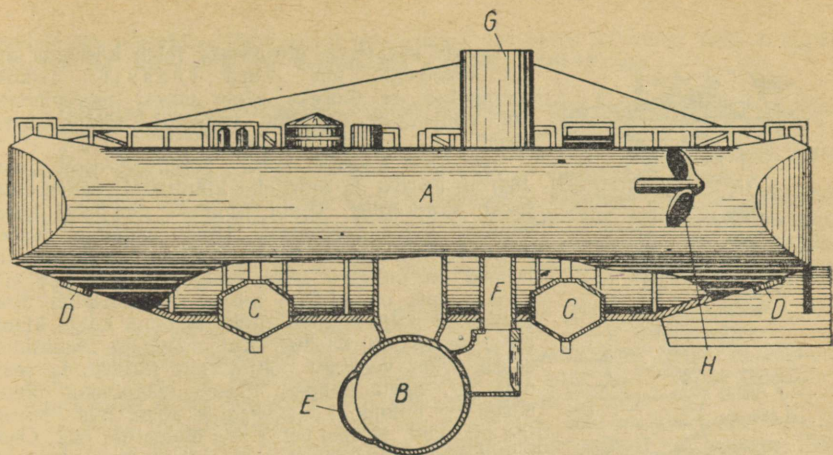
Joon. 168. Dirizaaabel.

Dirizaaabel kujutas endast suurt sigarikujulist õhupalli, mille tagaosa oli varustatud kõrgus- ja pöördetüüridega (joon. 168). Palli külge olid kinnitatud mootorid propelleritega. Need seadmed võimaldasid juhtida õhupalli vajalikus suunas. Reisijate jaoks olid õhupalli alla ehitatud vastavad ruumid. Laskumisel ei lastud dirizaaablit gaasist tühjaks, vaid laskumine toimus mootorite, tüüride ja palli sees asuvate eriliste reservuaaride tühjasklaskmise abil. Tänapäeval selliseid õhusõidukeid enam ei kasutata.

75. Batüskaaf. Meresügavuste uurimiseks kasutatakse «veealuseid õhulaevu» — batüskaafe.

Suurtesse meresügavustesse laskumise üheks peamiseks takistuseks on vee suur rõhk. Ühe kilomeetri sügavusel vees on rõhk $100 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$, 4 km sügavusel $400 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$, 7 km sügavusel $700 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$ ja 11 km sügavusel juba $1100 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$.

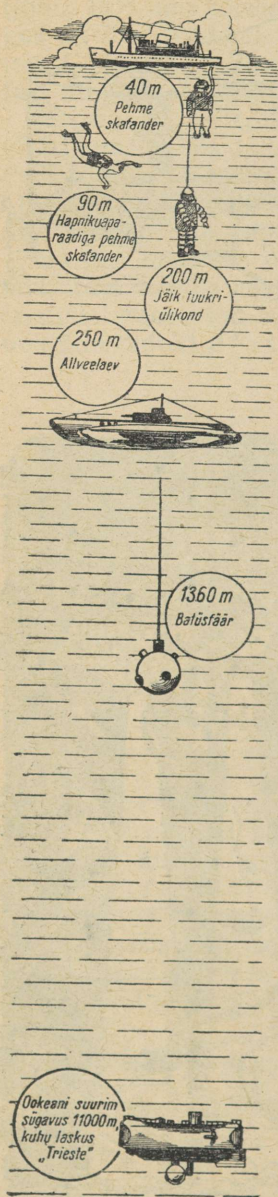
Enne batüskaafide leiutamist kasutati meresügavuste uurimiseks raskeid tuukri ülikondi, allveelaevu ja batüsfaäre. Tuukriülikondades jõuti ainult 200 m sügavusele. Allveelaevad sõidavad kuni 250 m sügavusel. Batüsfaärid — tugevate seintega teraskuulid — lasti merre ja tõmmati välja pikkade trosside abil. Need on laskunud 1300–1400 m sügavusele.



Joon. 169. Batüskaaf «Trieste», mis 1960. a. algul laskus 10 919 m sügavusele. Batüskaaf koosneb ujukist A ja selle alla kinnitatud tugevast teraskuulist B vaatlejate jaoks. Ujuki all-ossa on kinnitatud ballastikambrid C ja võimsad prožektorid D. Umbruse vaatlemiseks on teraskuulil aken E. Vaatlejad pääsevad teraskuuli läbi torukujulise käigu F, mis ulatub läbi ujuki teraskuulist kuni batüskaafi tornini G. See käik suletakse pärast vaatleja sisenemist sellise tugevusega, et tohutu rõhk kaant lahti ei lükka ega purusta. Merepõhjas edasilikumiseks on batüskaafil kaks laevakruvi H, mis pannakse tööle elektrimootorite abil.



Teraskuule-batüsfääre võiks teha küllalt paksude seintega, nii et nad võiksid laskuda ka 11 km sügavusele (ookeani kõige suurem sügavus). Ei ole aga kerge teha nii pikka trossi. Juba palju lühem tross katkeb oma raskuse mõjul!



Joon. 170. Mitmesuguste erinevate seadmetega saavutatud meresügavuste skeem.

Suurte sügavuste uurimiseks tuleb kasutada sellist teraskuuli, mis ilma trossita laskuks merepõhja ja tõuseks sealt uuesti merepinnale. Sel põhimõttel töötabki veealune sõiduk batüskaaf.

Batüskaaf koosneb kahest põhilisest osast (joon. 169) — ujukist ja selle alla kinnitatud tugevaseinalisest teraskuulist. Ujuki ruumala on palju kordi suurem kuuli ruumalast. Ujuk mahutab umbes 100 000 liitrit kerget bensiini. Kuna kerge bensiini erikaal on peaaegu kaks korda väiksem vee erikaalust, siis on ujukile mõjuv maksimaalne üleslükkejõud palju suurem ujuki ja tema külge kinnitatud teraskuuli kaalust. Kui niisugune veesõiduk asuks mõne veekogu põhjas, siis tõuseks ta sealt üles nii, nagu õhupall tõuseb maapinnalt õhku. Seega on merepõhi batüskaafile sama mis õhupallile maapind, ja vesi sama mis õhupallile õhk. Õhupallid on täidetud õhust kergema gaasiga, batüskaafi ujuk aga veest kergema vedelikuga!

Tugevas teraskuulis ujuki all asuvad mõõteaparaadid, muud seadmed ja vaatlejad. Teraskuuli läbimõõt on umbes 2 meetrit. Et teraskuul peaks vastu suurtele rõhkudele, on tema seinad tehtud 9 cm paksused. Arvutused näitavad, et niisuguse paksusega teraskuul võiks laskuda kuni 20 km sügavusele. Suurimaks ookeani sügavuseks on aga «ainult» 11 km.

Kuulis olevad vaatlejad saavad ümbrust vaadelda kuuli seinas oleva tugeva akna kaudu. Umbruskonna valgustamiseks on ujuki alumise seina külge kinnitatud võimsad lambid — prožektorid.

Laskumiseks merepõhja kinnitatakse batüskaafi külge mitu tonni metallhaavleid ja ka suuremaid metallitükke. Selle nn. ballasti mõjul muutub batüskaaf raskemaks temale mõjuvast maksimaalsest üleslükkejõust ja hakkab seepärast vajuma merepõhja poole.

Merepõhjast uuesti ülestõusmiseks lastakse osal ballastil langeda batüskaafilt merepõhja. Selle tulemusena muutub batüskaafi kaal temale mõjuvast üleslükkejõust väiksemaks ning batüskaaf hakkab tõusma uuesti üles. Tõusmine on seda kiirem, mida rohkem ballasti on heidetud merre.

Batüskaafi suureks ealiseks batüsfääridega võrreldes on ka see, et batüskaaf võib merepõhjas edasi liikuda. Selleks on ta varustatud kahe laevakruviga, mis pannakse tööle elektrimootorite abil. On muidugi selge, et batüskaaf ei lasku mitte vahetult vastu merepõhja, vaid jääb sellest mõne meetri kõrgusele. Nii on vaatlustingimused paremad ning sõiduk saab mootorite abil edasi liikuda.

Batüskaafid loodi alles mõned aastad tagasi. Meresügavustesse ei ole nendega veel kuigi paljudel kordadel laskunud, kuid juba nende väheste katsete tulemusena on selgunud nende suured eelised teiste meresügavuste uurimiseks kasutatud

seadmetega võrreldes. Tänapäeval on nendega (batüskaaf «Trieste» 1960. a. algul) laskutud ka ookeani kõige suuremasse sügavusse (10 919 m).

Harjutus 36. 1. Stratostaadi «CCCP» kesta oli 3200 m³ vesinikku. Kui suur oli selle vesinikuhulga tõstejõud?

2. Stratostaat «CCCP» kesta ruumala oli 24 500 m³. Miks valmistati stratostaadi kest nii suur, kui kasutati ainult 3200 m³ vesinikku?

3. Sageli tuleb atmosfääri kihtide uurimiseks kasutada hinnalisi aparate. Need lastakse üles mitte ühe, vaid mitme õhupalli abil. Sel korral aparaatur ei kuku maapinnale, vaid langeb tagasi küllalt aeglaselt. See on aga vajalik aparatuuride purunemise vältimiseks. Kuidas selgitada sellist aeglast tagasilangemist?

4. 1960. a. kevadel laskus batüskaaf «Trieste» 10 919 m sügavusele. Kui suur on rõhk selles sügavuses?

5. Batüskaafi teraskuul on arvestatud laskumiseks kuni 20 000 m sügavusele. Kui suur on rõhk sellises sügavuses? Kui suur jõud mõjub batüskaafi teraskuulile selles sügavuses, kui kuuli pindala on 18 m²?

6. Miks tõuseb batüskaaf seda kiiremini, mida rohkem ära heita ballasti?

7. Miks täidetakse õhupalli kest gaasiga, mille erikaal on väiksem õhu erikaalust? Kas ei ole parem jätta õhupall tühjaks, kuna tühi õhupall kaaluks veelgi vähem?

8. Miks ei täideta batüskaafi kesta õhu või mõne teise gaasiga?

9. Miks laste õhupallid ei tõuse üles, kuid need õhku täis puhuda?

10. Miks ei tõuse batüsfaarid ise veepinnale, vaid neid tuleb tõsta trossi abil? Mida võib järeldada nende ruumala kohta?

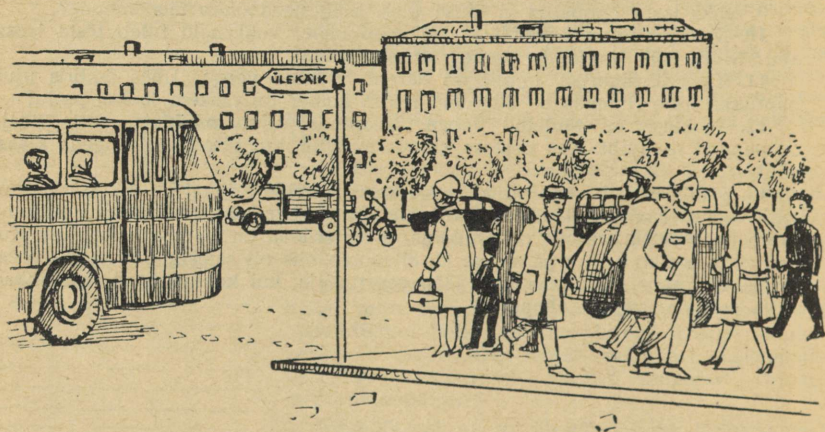
11. Kaks ühesuurust ämbrit on ääreni täidetud veega. Ühes ämbris ujub puutükk, mille ruumala on 300 cm³. Kumb ämber on raskem ja kui palju?

12. Teeklaas on täidetud veega. Veepinnal ujub puuklots, mille peale on pandud raudviht. Kas veetase klaasis muutub, kui viht lasta langeda klaasi põhja?

13. Kaukaasias kasvab puu nimega samšiit, mille erikaal on 1,2 korda suurem vee erikaalust. Samšiidist valmistatud risttahukas seoti kokku niisama suure kuivast pärnapuust risttahukaga, mille erikaal on $\frac{2}{3}$ vee erikaalust. Kui nad vette asetati nii, et pärnapuu jäi allapoole, siis oli samšiidipakust $\frac{2}{15}$ veest väljas. Kui suur osa pärnapuust jääb veest välja, kui kokkuseotud risttahukad vette asetada, samšiit allapoole?

MEHHAANILINE LIIKUMINE

76. Mehhaaniline liikumine. Kõige enam levinud füüsikaliseks nähtuseks on liikumine. Liikumisega puutume kokku iga päev. Tänaval liiguvad inimesed, autod, mootorrattad (joon. 171). Õhus liiguvad lennukid, vees laevad jne.



Joon. 171. Tänaval liiguvad inimesed, autod, jalgratturid.

Kui me istume näiteks sõitvas rongis, siis liigume koos vagu- niga maapinna ja temal asetsevate esemete suhtes, vaguni ja vagu- nis leiduvate esemete suhtes oleme aga paigal.

Ainult keha enda järgi ei saa me otsustada, kas ta liigub või mitte. Selleks peab olema veel mingi teine keha. Kui vaadeldava keha kaugus sellest teisest kehast muutub, siis öeldakse, et vaa- deldav keha liigub selle teise keha suhtes.

Rongi seismisel jaamas võib mõnikord tähele panna järgmist huvitavat nähtust. Kui istuda seisvas rongis akna all ja vaadata kõrvalteel vastassuunas sõitvale rongile, siis tundub, et liigub hoopis meie rong. Varsti aga vilksatab vaguni aknast mööda

kõrvalteel sõitva rongi viimane vagun. Näeme jaama, ja alles siis selgub, et sõitis hoopis vastutulev rong, meie oma aga seisab ikka veel paigal.

Kui kahest rongist üks liigub teise suhtes, siis on vagunis oleval inimesel raske kindlaks teha, kumb rong liigub maapinna suhtes, kumb on paigal. Et seda kindlaks teha, tuleb vaadata kas maapinnale või mõnele maapinna suhtes paigalseisvatele esemele, näiteks jaamahoonele või telefonipostile, ning siis on meil kohe selge, missugune rong liigub, missugune on paigal.

Üks keha võib aga liikuda korraga ka mitme keha suhtes. Kui näiteks inimene jalutab mööda jõge sõitval laeval, siis liigub ta nii laeva kui ka maapinna suhtes.

Toodud näidete põhjal võib öelda, et

liikumine on keha asukoha muutumine mingi teise keha suhtes.

Sellist keha, mis oma asendit mingi teise keha suhtes ei muuda, nimetatakse selle teise keha suhtes paigalseisvaks. Näiteks on rongis istuv inimene paigal raudteevaguni suhtes.

Vaatleme nüüd paigalseisvaid kehi. Meile näib, et maja, milles elame, seisab paigal. Kas ta aga seisab paigal kõikide kehade suhtes? Maapinna suhtes on ta tõepoolest paigal, sest ta ei muuda oma asendit maapinnal asetsevate esemete suhtes. Teame aga, et Maa pöörleb ümber oma telje, sooritades 24 tunniga ühe täispöörde. Koos Maaga ja kõigega, mis sellel on, sooritab ka meie maja igas ööpäevas ühe ringi ümber Maa telje, liikudes seejuures mööda ringjoont, mille raadius on umbes 3200 km, ja läbides ühe ööpäeva jooksul umbes 20 000 km. Kui me istuksime majas liikumatult paigal, siis sooritaksime ikkagi igas ööpäevas koos majaga 20 000 km pikkuse reisi. Kuid Maa liigub veel ka ümber Päikese, sooritades täistiiru ühe aastaga ja jäädes kogu aeg Päikesest umbes 150 miljoni kilomeetri kaugusele.

Vaadeldes niiviisi mis tahes keha, ei leia me kusagil niisugust, mille kohta võiksime öelda, et see on kõikide kehade suhtes paigal, s. t. on absoluutselt paigal.

Kõik kehad on suhtelises liikumises.

Iga paigalseis on suhteline.

Absoluutselt paigalseisvaid kehi pole olemas.

Harjutus 37. 1. Too näiteid suhtelise liikumise ja paigaloleku kohta.

2. Merel sõitval laeval jalutab inimene. Milliste kehade suhtes ta liigub?

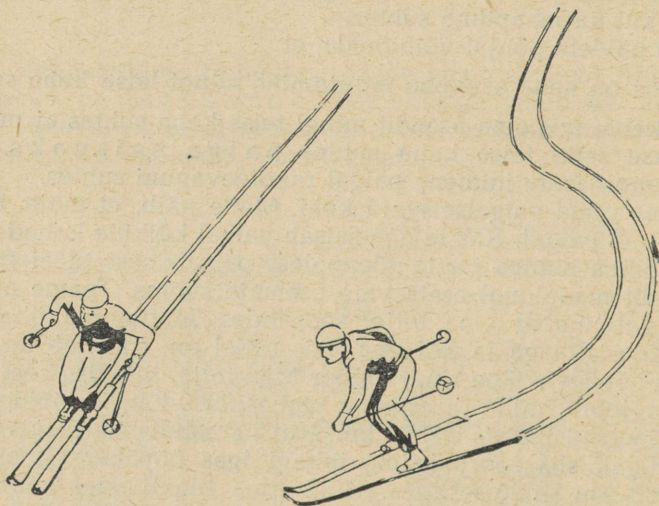
3. Sõitva rongi vagunis istub inimene. Milliste kehade suhtes ta liigub, milliste suhtes on paigal?

4. Päike liigub taevavõlvil idast läände. Millises suunas pöörleb Maa, kui eeldada, et Päike seisab paigal?

5. Kas auto kere liigub rataste ülemise osa suhtes edasi või tagasi?

6. Mispärast kiirel jalgrattasõidul tundub tuul olevat alati vastu?
 7. Metroo eskalaator (liikuv trepp) liigub üles. Kas on võimalik, et eskalaatoril liikuv reisija oleks maapinna suhtes paigal?
 8. Kas on võimalik selline olukord, kus kaks keha liiguvad maapinna suhtes, teineteise suhtes on aga paigal?

77. Sirgjooneline ja kõverjooneline liikumine. Kui vaadelda pilvitus taevast kõrgel lendavaid reaktiivlennukeid, mis jätavad enda järele valged jäljed, siis võime kohe nende jälgede järgi otsustada, kas lennuk lendas sirgjooneliselt või muutis oma liikumise suunda.



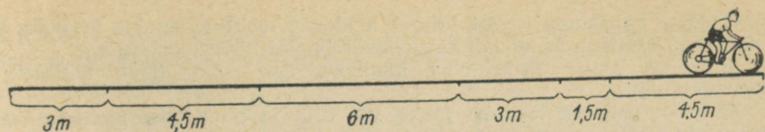
Joon. 172. Suusajäljed lumel.

Talvel võime tihti tähele panna järgmist pilti. Kaks suusatajat kihutavad mäest alla. Üks jätab oma taha sirgjoonelised jäljed, teine aga joonistab suuskadega lumele toredaid kaari (joon. 172). Me ütleme: «Üks suusataja liikus sirgjooneliselt, teine kõverjooneliselt.»

Kõverjooneliselt liigub näiteks ka lauvalt kiiresti mahatõugatud kuulike, visatud kivi jne.

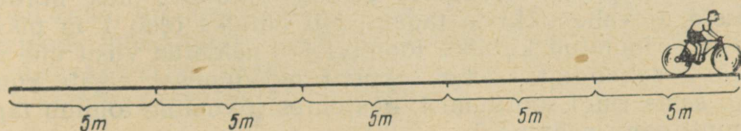
78. Ühtlane ja mitteühtlane liikumine. Kui sõita jalgrattaga halval teel, siis tuleb aeg-ajalt pidurdada, seejärel uuesti tugevasti pedaalile vajutada jne. Sõit kujuneb mitteühtlaseks, s. t. võrdsetes ajavahemikkudes (sekundis, minutis) me ei läbi võrdseid teesei.

Joonisel 173 on kujutatud mitteühtlaselt liikuva jalgratturi poolt igas sekundis läbitud teosed.



Joon. 173. Mitteühtlasel liikumisel läbib jalgrattur igas sekundis mittevõrdsed teosad.

Teisiti on aga lugu siis, kui sõita tasasel asfaltteel. Sel juhul me võime liikuda ühtlaselt, s. t. läbida võrdsetes ajavahemikes võrdsed teosad (joon. 174).



Joon. 174. Ühtlasel liikumisel läbib jalgrattur igas sekundis võrdsed teosad.

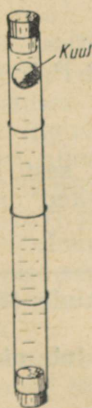
Liikumist, kus keha võrdsetes ajavahemikkudes läbib mittevõrdsed teosad, nimetatakse mitteühtlaseks liikumiseks.

Liikumist, kus keha, mis tahes võrdsetes ajavahemikkudes läbib võrdsed teosad, nimetatakse ühtlaseks liikumiseks.

Teeme järgmise katse.

Võtame klaastoru, mis on ühest otsast suletud korgiga, ja täidame toru veega. Laseme nüüd torusse metallkuulikese (joon. 175) ning jälgime kuulikese liikumist torus, püüdes seejuures kindlaks teha, kas kuulike liigub ühtlaselt või mitteühtlaselt. Seda võime teha järgmiselt.

Võtame pendli ja paneme selle võnkuma. Iga kord, kui pendel jõuab äärmisesse asendisse, lööb üks õpilane käega lauale ja teine märgib samal ajal kriidiga kuulikese asukoha torus. Pärast seda mõõdame märkide vahed torul ja teeme kindlaks, kas liikumine on ühtlane või mitteühtlane.



Joon. 175. Kuulike langeb vedelikus ühtlaselt.

Harjutus 38. 1. Too näiteid sirgjoonelise ja kõverjoonelise liikumise kohta.

2. Too näiteid ühtlase ja mitteühtlase liikumise kohta.

3. Jälgi võimaluse korral kõrgel lendavat reaktiivlennukit ja püüa kindlaks teha, kas lennuk lendab sirgjooneliselt või kõverjooneliselt.

4. Kuidas saab reisija teha kindlaks, kas rong liigub ühtlaselt või mitteühtlaselt?

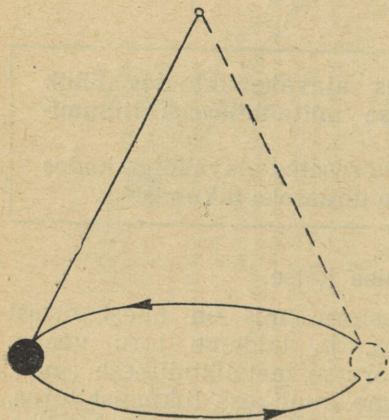
5. Viska paberist laevuke jõkke või ojja ja püüa teha kindlaks, kas ta liigub ühtlaselt või mitteühtlaselt. Kuidas seda teha?

6. Jälgi mõne sportlase jooksu staadionil ja püüa teha kindlaks, kas ta jookseb ühtlase tempoga (ühtlane liikumine) või on tema jaoks mitteühtlane?

7. Jälgi mingi masina osade liikumist selle töötamisel. Millised osad liiguvad sirgjooneliselt, millised kõverjooneliselt? Milliste osade liikumine on ühtlane, milliste osade liikumine aga mitteühtlane?

8. Kas kellaosuti ots liigub ühtlaselt või mitteühtlaselt?

79. Perioodiline liikumine. Esineb liikumisi, mis korduvad võrdsete ajavahemikkude tagant. Nii näiteks teeb 1 m pikkuse niidi otsa riputatud kuulike joonisel 176 näidatud viisil ühe ringi umbes 2 sekundiga. Kahe sekundi möödumisel algab kuulike jällegi sama ringi sooritamist, kusjuures liikumine toimub täpselt niisamuti nagu eelminegi.



Joon. 176. Kuulike kulutab ühe ringi tegemiseks alati ühe ja sama aja.

Ka kiige võnkumine on perioodiline liikumine, sest et see kordub ikka uuesti ja uuesti ning kõik kiige võnked on ühesugused.

Liikumisi, mis korduvad võrdsete ajavahemikkude järel, nimetatakse perioodilisteks.

Ajavahemikku, mille möödumisel liikumine kordub, nimetatakse perioodiks.

Perioodi tähistatakse tähega T .

Perioodiline liikumine koosneb reast üksteisele järgnevatest

tsüklistest. Ringliikumisel on tsüklik üks ring, pöörlemisel pööre ja võnkumisel võnge.

Vaatleme lihtsamaid perioodilisi liikumisi.

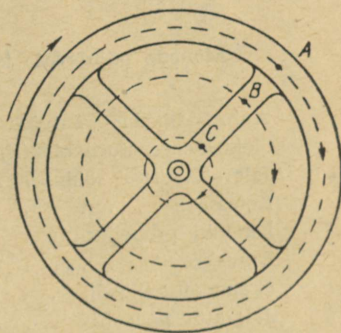
1. Ühtlane ringliikumine. Üheks looduses sageli esinevaks perioodiliseks liikumiseks on ringliikumine. Ringliikumise juures liigub keha tervikuna mööda ringjoont.

Joonisel 176 on kujutatud niidi otsas rippuv koormus, mis liigub mööda ringjoont. See koormus läbib mis tahes võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed teosad, s. t. ta liigub ühtlaselt.

Ühtlase ringjoonelise liikumises on näiteks karussellil sõitjad, kellaosutite otsad, Kuu oma liikumises ümber Maa jne.

Ühtlase ringliikumise perioodiks on ajavahemik, mille jooksul keha, liikudes mööda ringjoont, sooritab ühe täisringi.

Perioodi mõõdetakse ajaühikutes (sekundites, tundides jne.). Nii on maakera iga punkti perioodiks 24 tundi, kella minutiosuti otsa liikumise perioodiks 1 tund jne.



Joon. 177. Kõik ratta punktid liiguvad mööda ringjooni, kusjuures nende punktide perioodid on võrdsed.

2. Pöörlemine. Peale ringjoonelise liikumise esineb sageli nii looduses kui ka tehnikas sellist liikumist, kus keha kõik punktid liiguvad mööda ringjooni keha läbiva telje ümber. Sellist liikumist nimetatakse pöörlemiseks. Pöörlevaid kehasid on palju. Nii pöörlevad masinate rattad, maakera, lennuki propeller, laeva kruvi jne. Ka hooratta liikumine kujutab pöörlemist (joon. 177). Pöörlemisel on keha kõikide punktide perioodid võrdsed. Seda ühist perioodi nimetatakse pöörlemisperioodiks.

Perioodiliste liikumiste kirjeldamisel kasutatakse sageduse mõistet.

Sagedus on tsüklike arv ajaühikus.

Sagedust tähistatakse tähega f .

Automootori vāntvõll sooritab 40 pöoret sekundis. Seega on vāntvõlli sagedus $f = 40 \frac{P}{\text{sek.}}$ (loe: pöoret sekundis).

Teades mingi perioodilise liikumise sagedust, on lihtne leida ta

perioodi. Kui näiteks hooratta sagedus $f = 2 \frac{p}{\text{sek.}}$, siis ühe pöörde vältus ehk periood $T = \frac{1}{2}$ sek. Kui auto väntvõlli sagedus $f = 40 \frac{p}{\text{sek.}}$, siis ta periood $T = \frac{1}{40}$ sek.

Näeme, et

$$\text{periood} = \frac{1}{\text{sagedus}}$$

ehk

$$T = \frac{1}{f}$$

Harilikult antakse masina pöörete arv minutis ehk lühidalt $\frac{p}{\text{min.}}$

Mõnede pöörlevate kehade pöörete arvud ($\frac{p}{\text{min.}}$)

Auto «Pobeda» väntvõlli maksimaalne pöörete arv	3600
Elektrigeneraatoril elektrijaamas	3000
Jalgratta rattal sõidul	100—150
Ketassael	3000
Lennuki propelleril	1500
Laevakruvil	130
Grammofoniplaadil	78 või 33
Jalgratta pedaalil	kuni 45

Harjutus 39. 1. Ketassae pöörete arv on $3000 \frac{p}{\text{min.}}$. Kui suur on sae pöörete arv sekundis?

2. Ratta pöörlemisagedus on $4 \frac{p}{\text{sek.}}$. Kui suur on selle ratta pöörlemisperiood?

3. Ratta pöörlemisperiood on 0,2 sek. Kui suur on selle ratta pöörlemisagedus?

4. Kremli Spasski torni kella minutiosuti ots läbib ühe minuti jooksul 37 cm. Kui pika tee läbib minutiosuti ots ühe tunni jooksul?

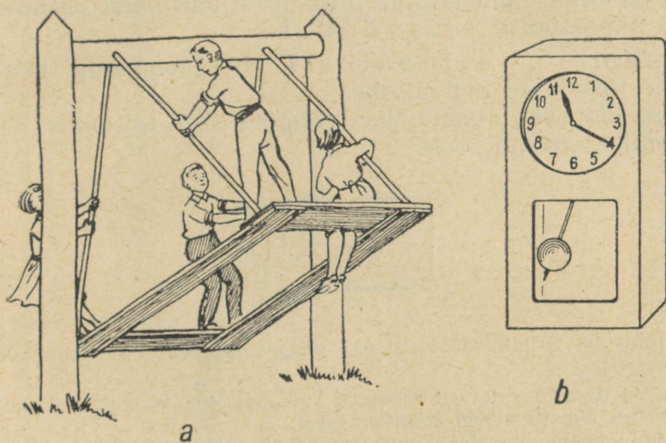
5. Vaatle kodus elektriarvesti (voolumõõtja) kettakese liikumist. Tee kindlaks kettakese pöörlemisperiood ja sagedus. Selleks mõõda kella sekundiosuti abil aeg, mis kulub kettakesel 20—30 pöörde sooritamiseks. Edasi arvuta pöörlemisperiood ja sagedus.

6. Tõmba jalgratta kummile kriidiga märk. Aseta märk ratta ja maapinna kokkupuute kohale ja tõmba maapinnale märgi kohta joon. Siis lükka jalgratast edasi, kuni märk satub jälle maapinnale. Tõmba uuesti maapinnale joon. Mõõda ära kahe maapinnale tõmmatud joone vahe ja arvuta, mitu pööret sooritab ratas 1 km pikkusel sõidul.

7. Kui suur on kella sekundi- ja tunniosuti pöörlemisperiood?

8. Kui suur on Maa pöörlemisperiood?

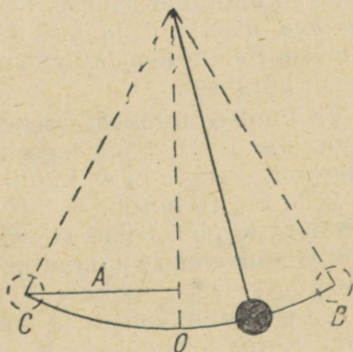
3. Võnkumine. Tutvume nüüd niisuguse perioodilise liikumise liigiga, kus keha liigub oma tasakaaluasendist kord ühele, kord teisele poole. Sellist perioodilist liikumist nimetatakse võnkumiseks. Võngub näiteks seinakella pendel (joon. 178, b), heliseva muusikariista keel, kiik (joon. 178, a), puuks tuules jne.



Joon. 178. Kiige ja seinakella pendli võnkumine on perioodiline liikumine.

Vaatleme kiige liikumist. Selleks et kiik hakkaks liikuma, peame viima kiige tasakaaluasendist välja. Pärast väljaviiva jõu lõppemist hakkab kiik oma tasakaaluasendi poole tagasi liikuma, läbib selle ja liigub teisele poole peaaegu niisama kõrgele kui liikumist alustades.

Võnkumise omadusi võime lähemalt uurida pendli abil. Keha, mis on riputatud niidi otsa ja mis võib võnkuda raskusjõu mõjul, nimetatakse pendliks (joon. 179). Kui pendel ei võngu,



Joon. 179. Pendli võnkumine.
A — amplituud.

siis ripub ta nii, et niit on vertikaalne. Seda pendli asendit nimetataksegi tasakaaluasendiks (asend O).

Võnkuva keha suurimat kaugust tasakaaluasendist nimetatakse võnkeamplituudiks. Joonisel 179 on amplituudiks punkti B (või ka C) kaugus tasakaaluasendist O. See kaugus on joonisel märgitud lõiguga A.

Võnkuva keha poolt läbitud teed ühest äärmisest asendist teise ja tagasi nimetatakse täisvõnkeks.

Võnkumise perioodiks T on ajavahemik, mis kulub kehal ühe täisvõnke tegemiseks.

Võnkesageduseks nimetatakse võngete arvu sekundis.

Võnkumisel kehtib seos

$$f = \frac{1}{T}$$

Harjutus 40. 1. Pillikeel teeb 400 võnget sekundis. Kui suur on keele võnkeperiood?

2. Säase tiivad sooritavad sekundis ligikaudu 400 võnget. Kui palju aega kulub sääsel ühe tiivalöögi sooritamiseks?

3. Tuule käes võnkudes kulub puuladval üheks täisvõnkeks 2 sek. Kui suur on ladva võnkesagedus?

4. Valmista endale pendel. Selleks kinnita mõni ese (mutter, kruvi) niidi otsa ja seo niit mõne kindla keha külge. Vii pendel tasakaaluasendist välja ja lase siis lahti. Mõõda aeg, mis kulub pendlil kümne täisvõnke sooritamiseks, ning leia pendli võnkeperiood ja -sagedus.

5. Määra seinakella pendli võnkesagedus ja -periood.

6. Too näiteid võnkumise kohta nii looduses kui ka tehnikas.

80. Laboratoorne töö nr. 11. Pendli võnkeperioodi määramine.

Töövahendid. Statiiv, niit, metallkuulike, milles on väike auk, ajamõõtja, mõõdulint.

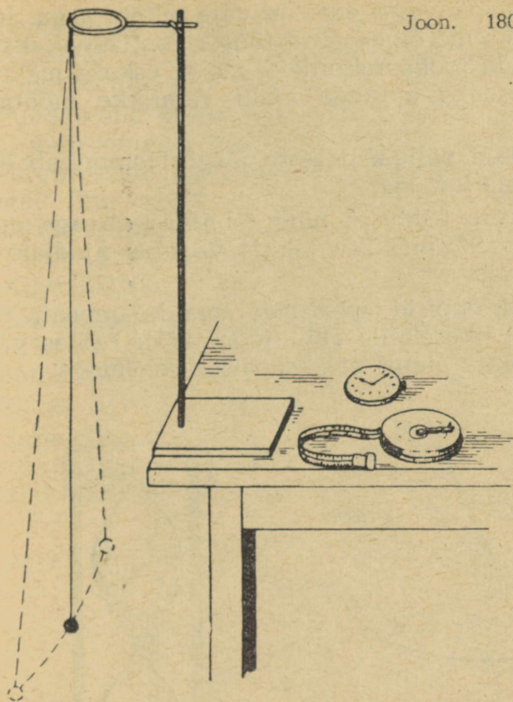
Töö käik. 1. Aseta laua äärelle statiiv, mille ülemise otsa külge on kinnitatud rõngas. Seo niidi ühte otsa sõlm. Läbi kuulis oleva ava pista niit ja lase kuul kuni sõlmeni. Saadud pendel riputa statiivi rõnga külge nii, et kuulike ripuks põrandast 1–2 cm kõrgusel.

2. Vii kuulike tasakaaluasendist umbes 10 cm võrra kõrvale ja lase ta siis lahti. Samaaegselt fikseeri ajamõõtjaga kuulikese lahtilaskmise aeg. Lase kuulikesel võnkuda äärmisest asendist teise ja tagasi 10 korda.

3. Määra kindlaks ühe täisvõnke aeg, s. o. võnkeperiood. Selleks jaga võngeteks kulunud aeg võngete arvuga.

4. Korda katset kuulikesega, mis kaalub esimesest rohkem.

5. Tee pendel lühemaks ja määra ka selle lühema pendli võnkeperiood. Korda katset kaks või kolm korda.



6. Andmed märgi tabelisse ning tee järeldused pendli võnkumise kohta.

Mõõtmistulemuste tabel

	Pendli pikkus	Võngete arv	Võngete sooritamise aeg	Võnkeperiood	Võnkesagedus
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

Kas pendli võnkeperiood oleneb pendli pikkusest?
Kas pendli võnkeperiood oleneb pendli massist?

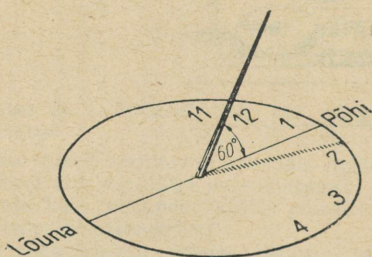
81. Pendli võnkumise seadused. Laboratoorsest tööst selgus, et mida lühem on pendel, seda kiiremini ta võngub ja seda lühem on ta võnkeperiood. Samuti nägime, et kuulikese mass ei avalda mõju võnkeperioodile. Seega, pendli võnkeperiood oleneb pendli pikkusest, kuid ei olene pendli massist; võrdsete pikkustega pendlite võnkeperioodid on võrdsed.

82. Aja mõõtmine. Igapäevases elus on vaja mõõta aega. Ilma aega mõõtmata ei oskaks me õigeaegselt tõusta kooliminekuks, ei oleks võimalik fikseerida jooksurekordeid, me ei oskaks määrata tööpäeva pikkust, ei saaks teostada kõiki vajalikke mõõtmisi tehnikas jne.

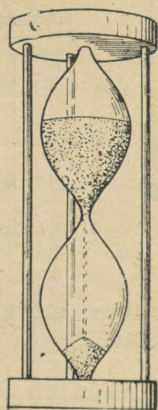
Vanasti läksid inimesed põllule päikese järgi. Hommikuti äratas siis inimesi kukk oma lauluga.

Meresõidul ja arenevas teaduses ning tehnikas oli aga aega vaja määrata väga täpselt, mistõttu tekkis vajadus kindlate ja täpsete ajamõõtjate järele.

Vanad kultuurrahvad õppisid aega määrama kõigepealt päikese järgi. Seda tehti päikese kellaga abil (joon. 181). Päikese kellaga järgi sai aga aega määrata ainult päikese paistmise ilmega.



Joon. 181. Päikese kell.



Joon. 182. Liivakell.

Võrdsete ajavahemike kindlaksmääramiseks kasutati liiva- või veekella (joon. 182). Selleks oli anum, kust väikese ava kaudu liiv (või vesi) voolas teise anumasse. Iga kord, kui ülemine anum oli liivast (või veest) tühjaks voolanud, oli möödunud kindel ajavahemik. Ka praegugi kasutatakse tihti selliseid liivakelli mitmesuguste ajavahemike kindlaksmääramiseks valududel ja laboratooriumides.

Hiljem õppis inimene aega määrama perioodiliselt toimivate nähtuste järgi. Sellisteks nähtusteks on Maa pöörlemine ümber telje ja pendli võnkumine. Kuna võrdsete pikkustega pendlite võnkeperioodid on võrdsed, siis saab seda nähtust kasutada võrdsete ajavahemike saamiseks.

Pendli võnkumise seadused avastas ja kasutas neid esimesena pendelkella ehitamisel 1657. aastal suur hollandi füüsik-matemaatik Christian Huygens (loe: hõigens).

Pendelkella peaosaks on pendel, mis pannakse võnkuma hammasrataste süsteemi ja üleskeeratud vedru, ülestõstetud vihi või elektri abil.

Pendelkella käigu reguleerimiseks on pendli otsas kruvi, mille abil saab muuta pendlit kas lühemaks või pikemaks. Sellega koos muutub pendli võnkesagedus ning kell hakkab käima kas aeglasemalt (kui pendel muutus pikemaks) või kiiremalt (kui pendel muutus lühemaks).

Tasku- ja käekellades võngub pendli asemel ratas.

Ajamõõtmise põhiühikuks on sekund (sek.).

Sekundilisi ajavahemikke saame kaunis õigesti mõõta pendli abil, mille pikkus on 1 m (täpsemalt 99,39 cm). Niisugune pendel kulutab ühest äärmisest asendist teise liikumiseks aega ühe sekundi. Sellist pendlit nimetatakse sekundpendlikuks.

Sekundist 60 korda suurem ajaühik on minut, minutist 60 korda suurem on tund. Ööpäevas on 24 tundi. Selle ajaga sooritab Maa ühe täispöörde ümber oma telje.

1 ööpäev	= 24 tundi
1 tund	= 60 minutit
1 minut	= 60 sekundit

Harjutus 41. 1. Milline liikumine on perioodiline? Too näiteid.

2. Millised suurused iseloomustavad pöörlemist ja võnkumist ning milline seos valitseb nende suuruste vahel?

3. Mitu sekundit on ööpäevas?

4. Mitu minutit on 1,5 tundi?

5. Mitu sekundit on 10 minutit?

6. Mitmendik ööpäevast on üks sekund?

7. Millist loodusnähtust võib kasutada õige kellaaja määramisel?

8. Kell käib ööpäeva jooksul ette 2 minutit. Kui palju on sellise kellaga mõõdetud ajavahemik — 30 minutit — lühem tõelisest?

9. Üks «silmapilk» (aeg, mille jooksul toimub silma pilgutamine) kestab ligikaudu 0,4 sekundit. Mitu «silmapilku» on ühes minutis?

10. Mitmendiku ringjoonest läbib kella tunniosuti ots poole tunni jooksul, 15 minuti jooksul?

11. Kui pika maa läbis Nõukogude Liidu kuurakett poole tunni jooksul, kui 1 sekundi jooksul läbis ta 11,2 km?

12. Ants heitis õhtul voodisse ja pani äratuskella helisema kella seitsmeks hommikul. Siis meenus talle äkki, et ta peab tõusma kell 6. Tuba oli juba pime, ainult helendava numbrilauaga kell säras öölaual. Kuidas sai Ants panna kella helisema tund aega varem, kui ärataja osuti ei helenanud?

13. Vedru otsa on kinnitatud raskus. Venitame vedru välja ja laseme ta siis lahti. Raskus koos vedruga hakkab liikuma. Milline liikumine see on, kas perioodiline või mitteperioodiline?

14. Nööri otsas rippuv veepang võngub pendlina. Kas muutub pendli võnkeperiood, kui pangest vesi välja valada ja sinna asetada liiva? Kui võimalik, siis soorita see katse.

Kodune töö. Ehita endale koju õue päikesekell (vt. joon. 181). Selleks: 1) tõmba 60—80 cm pikkuse nõõri otsa kinnitatud naela või puutükiga maapinnale ringjoon; 2) aseta kompass ringjoone keskpunkti ja tõmba kompassi nõõla suunas maapinnale ringjoone diameeter; 3) löõ 1,5 m pikkune puust kepp ringjoone keskpunktis maasse nii, et ta asetseks maapinnale põhja-lõuna suunas tõmmatud joonega 60° nurga all. Nurka saab kindlaks määrata malli abil; 4) märgi ringjoonele maapinnal kepi varju asukohad igal täistunnil (täistunnid määra tavalise kellaga); 5) kontrolli järgmisel päeval, kas päikesekell näitab õigesti aega.

83. Ühtlase liikumise kiirus. Sirgel asfaltteel liiguvad sõiduauto «Volga», mootorrattur ja jalgrattur. «Volga» sõidab ühe tunniga 100 km, mootorrattur 50 km, jalgrattur aga 25 km.

Üheks liikumist iseloomustavaks suuruseks on ajaühikus (näiteks tunnis) läbitud tee pikkus. Seda suurust nimetatakse keha liikumise kiiruseks.

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

Ajaühikuks on tund, minut, sekund.

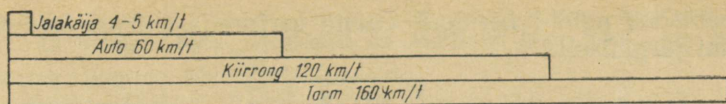
Järelikult oli sõiduauto «Volga» kiirus $100 \frac{\text{km}}{\text{t}}$ (loetakse «kilomeetrit tunnis»), mootorratturil $50 \frac{\text{km}}{\text{t}}$ ja jalgratturil $25 \frac{\text{km}}{\text{t}}$.

Peale kiirusühiku $\frac{\text{km}}{\text{t}}$ kasutatakse sageli ka kiirusühikut $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$ (meetrit sekundis) ja $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ (sentimeetrit sekundis).

	Mõningaid kiirusi ($\frac{\text{km}}{\text{t}}$)		
Tigu	0,036	Kiirrong	100—120
Jalakäija	4—5	Torm	160—180
100 m rekordjooksja	36	Lennuk	400—700
Ratsahobune	60	Reaktiivlennuk	1000—2000
Jänes	65	Kuurakett	31 320
Hurdakoer	90	Maa ümber Päikese	108 000
Auto	60—120		

Selleks et paremini kiirusi võrrelda, kujutame mõningaid neist diagrammil (joon. 183).

Jalakäija läheks Tallinnast Tartu (ligikaudu 200 km) 5—6 päevaga, hobune 3 päevaga, rong 3 tunniga, reisilennuk 1 tunniga, reaktiivlennuk 10—12 minutiga, kosmoserakett aga 18 sekundiga.



Joon. 183. Ühe tunni jooksul läbivad kehad erinevad teepikkused.

Kuidas arvutada kehade liikumise kiirust? Selgitame seda järgmise ülesande abil.

Mootorrattur sõidab 2 tunniga 100 km. Kui suur on ta liikumise kiirus?

Lahendus. Kui mootorrattas sõitis 2 tunniga 100 km, siis ühe tunniga sõitis ta $\frac{100}{2} = 50$ km. Ühe tunni jooksul läbitud vahemaa näitabki aga kiirust. Eeltoodust selgub, et kiiruse saame,

kui keha poolt läbitud tee pikkuse jagame läbimise ajaga.

Seega

$$\text{kiirus} = \frac{\text{tee pikkus}}{\text{aeg}}$$

Kui on teada liikumise kiirus, siis saame arvutada ka keha poolt antud ajavahemiku jooksul läbitud tee pikkuse.

Ülesanne.

Kui pika tee läbib 3 tunniga sõiduauto «Volga», mille kiirus on $80 \frac{\text{km}}{\text{t}}$?

Lahendus. 1 tunniga läbib auto 80 km.

3 tunniga läbib auto $3 \times 80 \text{ km} = 240 \text{ km}$.

Vastus. Auto läbib 3 tunniga 240 km.

Kiiruse ja läbitud tee pikkuse järgi saab arvutada ka liikumise aja.

Ülesanne. Kui palju aega kulub jalgratturil 50 km vahemaa läbimiseks, kui ta sõidab kiirusega $25 \frac{\text{km}}{\text{t}}$?

Lahendus. 25 km sõidab jalgrattur 1 tunniga.

50 km aga $\frac{50}{25} = 2$ tunniga.

Vastus. Jalgratturil kulus 50 km läbimiseks 2 tundi.

Füüsikas tähistatakse tee pikkust tähega s , aega tähega t ja kiirust tähega v .

Kasutades neid lühendeid võime kirjutada kiiruse arvutamise valemi järgmiselt:

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

Harjutus 42. 1. Auto sõidab poole tunniga 40 km. Kui suur on auto kiirus $\frac{\text{km}}{t}$ -des? $\frac{\text{m}}{\text{sek.}}$ -tes?

2. Auto kiirus on $36 \frac{\text{km}}{t}$. Kui pika tee sõidab see auto 10 sekundiga? 1 minutiga?

3. Tallinnast Moskvasse on ligikaudu 1000 km. Kui palju aega kulub reisilennukil selle vahemaa läbimiseks, kui reisilennuki kiirus on $200 \frac{\text{km}}{t}$; reaktiivlennukil, mille kiirus on $800 \frac{\text{km}}{t}$?

4. Välk lõi puusse vaatlejast 2640 m kaugusel. Müristamine kostis 8 sekundit pärast välku. Arvuta hääle kiirus õhus.

5. Üks auto sõidab kiirusega 20 m/sek, teine kiirusega 72 km/t. Kui palju aega kulub kummalgi autol 1 km vahemaa läbimiseks?

6. Mitu kilomeetrit läbib laev kahe tunniga, kui laeva kiirus on 15 m/sek?

7. Kumma kella minutiosuti ots liigub kiiremini, kas taskukella või seinakella?

8. 1927. aastal lendas parv kiivitajaid üle Atlandi ookeani Briti saarestikust Põhja-Ameerikani, lennates 3600 km ööpäevas. Määra lindude lennukiirus.

9. Raudteerööpa pikkus on 20 m. Reisija luges rööbaste jätkukohtadel vaguni ratastele edasiantavaid tõukeid. Kui suur oli rongi kiirus, kui reisija luges ühe minuti jooksul 50 tõuget?

10. Kuidas on võimalik mõõta veevoolu kiirust?

84. Keskmise kiirus. Tallinnast Narva on umbes 200 km. Rong sõidab selle maa ära 5 tunniga. Arvutame kiiruse, millega rong sõidab Tallinn—Narva vahemaa.

$$\text{Kiirus} = \frac{\text{läbitud tee}}{\text{kulunud aeg}}$$

$$\text{Seega rongi kiirus } v = \frac{200 \text{ km}}{5 t} = 40 \frac{\text{km}}{t}$$

Sellise kiirusega ei sõida rong pidevalt, sest sõidu jooksul peab tühjast rong jaamadest, sõidab märke, mäest alla jne. Arvutatud kiirust nimetatakse rongi liikumise keskmiseks kiiruseks.

Tavaliselt me arvutamegi keskmist kiirust, sest täiesti ühtlast liikumist looduses ei esine. Enam-vähem ühtlaseks võib pidada ainult taevakehade liikumist.

Harjutus 43. 1. Moskva allmaarong läbib 6,7 km pikkuse jaamade vahemaad 10 minutiga. Kui suur on rongi keskmine sõidukiirus?

2. Inimene kõnnib kiirusega $1,5 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$, tigu roomab kiirusega $1,5 \frac{\text{mm}}{\text{sek.}}$. Mitu korda liigub inimene teost kiiremini?

3. Reaktiivlennuk Tu-114 lendas vahemaandumiseta Moskvast New Yorki 12 tunniga. Mitu kilomeetrit on Moskvast New Yorki, kui lennuki keskmine kiirus oli $950 \frac{\text{km}}{\text{t}}$?

4. Nõukogude Liidu kuurakett läbis Kuu ja Maa vahemaa 384 000 km 2 ööpäevaga. Arvuta kuuraketi keskmine liikumiskiirus.

5. Kasvu algperioodil kasvab bambus ööpäevas 1 m. Üks Indoneesias kasvav seeneliik kasvab minuti jooksul 5 mm. Võrrelda nende taimede kasvamise kiirusi.

6. Pääsuke võib lennata kiirusega $60 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Millise teepikkuse ta läbiks 10 tunni jooksul?

7. Kuidas oleks võimalik kindlaks teha maanteel liikuva auto kiirust, kui sa istud autos ja sul on sekundiosutiga kell? Tee seda esimesel võimalusel ja kirjuta tulemus üles.

8. Kuidas saaks kindlaks teha, kui palju vett läbib väikese kraavi ristlõike ühe tunni jooksul? Tee seda esimesel võimalusel ja kirjuta tulemus üles.

9. Iseliikuv kombain C-4 töötas 8 tundi keskmise kiirusega $6,5 \frac{\text{km}}{\text{t}}$. Kombaini haarde laius on 4 m. Kui suurelt maa-alalt koristab kombain vilja, kui tööaeg moodustas 80% kogu tööl oleku ajast?

10. Millise aja jooksul täitub 10-liitrine veepang kraanist, mille ristlõike pindala on 2 cm^2 , kui vee voolukiirus on $1 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$?

85. Hõõrdumine. Lükkame puuklotsi mööda lauda liikuma. Ta liigub mingi vahemaa, jääb aga peagi seisma.

Ka uisutaja, kes võtab siledal jääl küll tublisti hoogu, jääb ikkagi pärast mõneagset libisemist seisma.

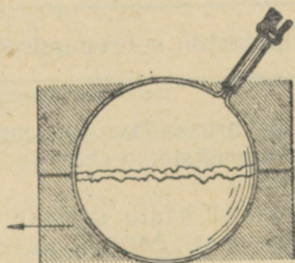
Selgub, et alati, kui üks keha liigub mööda teise pinda, siis mõjub liikuvale kehale liikumist takistav jõud. See jõud on alati vastassuunaline liikumisele.

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

Mis siis põhjustab hõõrdejõu tekkimist libisemisel?

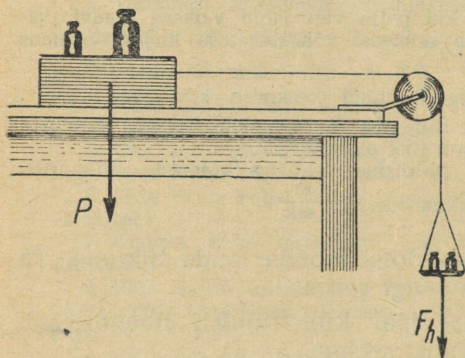
Kui vaadelda kokkupuutuvate kehade pindu luubiga, siis sel-

Joon. 184. Liugumisel jäävad pinnakonarused üksteise taha kinni ja takistavad liikumist (suurendatud).



gub, et need ei ole hoopiski siledad, vaid konarlikud (joon. 184). Liikumisel jäävad pindade konarused üksteise taha kinni. See takistabki liikumist.

86. Hõrdeseadused. Uurime, millest sõltub hõrdejõud. Selleks korraldame järgmise katse. Asetame lauale sileda lauakese, mille otsa on kinnitatud plokk. Lauakesele asetame klotsi, mille külge seome nööri. Nöör läheb üle ploki, tema teises otsas ripub kaalukauss, millele võib panna vihte (joon. 185). Asetame kaalukaussile vihte seni, kuni klots hakkab väikese tõuke mõjul ühtlaselt liikuma. Tõuke andmine on algul vajalik seetõttu, et hõõrdumine paigalseisul on suurem kui libisemisel. Keha liigub ühtlaselt siis, kui hõõrdejõud F_h on võrdne liikumapaneva jõuga F . Liikumapanevaks jõuks on aga vihtide ja kaalukaasi kaal.



Joon. 185. Katseseade hõõrdejõu kindlaksmääramiseks.

Asetame klotsile kaaluvihte. Selle tulemusena suureneb rõhumisjõud P vastu lauakest. Selleks et nüüd panna klotsi ühtlaselt liikuma, tuleb asetada kaalukaussile rohkem vihte, s. t. tuleb suurendada liikumapanevat jõudu F . Kuna aga ühtlasel liikumisel liikumapanev jõud F on võrdne hõõrdejõuga F_h , siis selgub katsest, et

rõhumisjõu suurenemisel suureneb ka hõõrdejõud.

See on ka arusaadav, sest suurem rõhumine surub pinnakonarusid rohkem üksteise sisse ja liikumine on seetõttu enam takistatud.

Jätame klotsi kaalu samaks, asetame aga klotsi ja lauakese vahele liivapaberi. Mõõtes nüüd hõõrdejõudu, näeme, et see on tunduvalt suurenenud. Seega

hõõrdejõud oleneb ka pindade siledusest.

Jätame klotsi kaalu endiseks, asetame ta aga liivapaberile serviti. Paneme klotsi ühtlaselt liikuma ja mõõdame hõõrdejõu. Selgub, et hõõrdejõud ei muutu, s. t.

hõõrdejõud ei olene kokkupuutepinna suurusest.

87. Hõõrdetegur. Nagu eelmisest paragrahvist selgus, oleneb hõõrdejõud rõhumisjõust. Mõõdame eespool kirjeldatud klotsile mõjuva hõõrdejõu. Selleks suurendame vihtide abil klotsi kaalu kahekordseks. Veendume, et selle tulemusena muutub kahekordseks ka hõõrdejõud. Kui leida hõõrdejõu ja rõhumisjõu kaalu järgis esimesel ja teisel mõõtmisel, siis saame ühe ja sama arvu.

Hõõrdejõu ja keha rõhumisjõu suhe on kahe antud keha puhul jääv suurus ja seda nimetatakse hõõrdeteguriks.

$$\text{Hõõrdetegur} = \frac{\text{hõõrdejõud}}{\text{rõhumisjõud}}$$

ehk

$$k = \frac{F_h}{P}$$

Kui näiteks hõõrdejõud on 1 kG ja keha kaal 4 kG, siis hõõrdetegur.

$$k = \frac{F_h}{P} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Mõningaid hõõrdetegureid libisemisel.

Teras mõõda terast	0,17	Teras mõõda jääd	0,02
Raud mõõda rauða	0,3	Teras mõõda kõva pinda	
Raud mõõda pronksi	0,18	(klaas)	0,2—0,4
Nahkrihm mõõda malmi	0,28	Puit mõõda jääd	0,035

Harjutus 44. 1. Mis on hõõrdetegur ja millest oleneb ta suurus?

2. Miks kalosside tallad ja autokummid on varustatud erilise krobelse muustriga?

3. Kas oleks võimalik sõlmi siduda, kui hõõrdumist ei esineks?

4. Miks on roostetanud nõelaga raske õmmelda?

5. Miks puistatakse jäätunud kõnniteedele liiva? Miks veduri rataste ette lastakse talvel libedal ajal eriliste torukeste abil liiva?

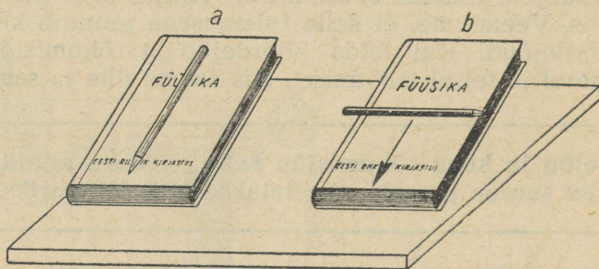
6. Miks pole võimalik kirjutada pliiatsiga klaasile või parafiiniga immutatud paberile?

7. Mida tehakse selleks, et kirves seisaks paremini varre otsas?

8. Auto koos koormaga kaalub 5 tonni. Milline on auto mootori tõmbejõud, kui hõõrdetegur on 0,03?

9. Leida keha kaal, kui hõõrdetegur on 0,4 ja hõõrdejõud 10 kG!

88. Hõõrdumine veeremisel. Seame raamatule kaldu nii, et sellel püsiks piki kallet pliiats (joon. 186, a). Pannes sama pliiatsi aga kaldega risti, veereb see mööda raamatut alla (joon. 186, b). Sellest katsest näeme, et veeremisel on hõõrdumine väiksem kui libisemisel.



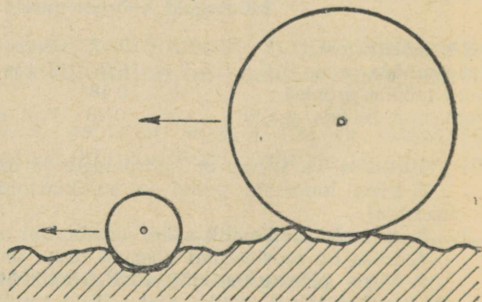
Joon. 186. Kui panna pliiats raamatule piki kallet, siis jääb ta paigale. Kui panna aga pliiats raamatule risti kaldega, siis hakkab pliiats liikuma.

Hõõrdumine veeremisel on sellepärast väiksem, et keha veereb pinna konarustest takistamatult üle. Jooniselt 188 on näha, kuidas suurema läbimõõduga ratas veereb väikestest konarustest üle, väike ratas aga langeb nendesse sisse. Seega peaks hõõrdumine suurema läbimõõduga ratta veeremisel olema väiksem kui väiksema läbimõõduga rattal. Seda näitab ka katse.

Järelikult,

mida suurem on veereva keha raadius, seda väiksem on hõõrdumine.

Joon. 187. Suure läbimõõduga ratas veereb konarustest üle, väikese läbimõõduga ratas langeb aga nendesse sisse.



Katsed näitavad samuti, et hõõrdumine veeremisel on seda suurem, mida suurem on keha kaal.

89. Hõõrdumise tähtsus looduses ja tehnikas. Hõõrdumine omab suurt tähtsust nii looduses kui ka tehnikas.

Kui puuduks hõõrdumine veduri rataste ja rööbaste vahel, siis ei saaks vedur rongi paigalt nihutada. Rattad küll pöörleksid, kuid rong paigalt ei liiguks. Kui hõõrdumine autorataste ja maapinna vahel on väike (libe tee), siis hakkavad auto rattad koha-peal ringi käima ja auto ei liigu paigast. Selle vältimiseks visatakse veorataste alla liiva või puuoksi, mis suurendab hõõrdumist. Talvel pannakse hõõrdumise suurendamiseks mõnikord autorataste ümber ketid.

Kui puuduks hõõrdumine, siis ei saaks liikuda inimesed ega loomad, meil ei seisaks käes kindad ega jalas kingad jne. Ka naelad ja kruvid ei püsiks seinas ja liikuvat autot ei oleks võimalik pidurdada.

Sageli on aga hõõrdumine ka kahjulik nähtus.

Hõõrdumine on kahjulik näiteks ratta laagrites ja libisevate masinaosade vahel, sest hõõrdumise ületamine nõuab asjatut tööd ja ka masinaosad kuluvad kiiresti.

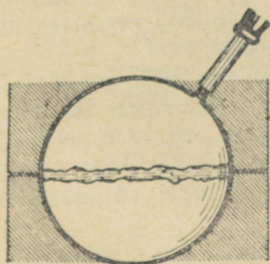
Vastavalt sellele, kas hõõrdumine on kasulik või kahjulik, püütakse hõõrdumist kord suurendada, kord vähendada.

Kui jalgratas on halvasti määritud, siis sõidul ta «kriuksub» ja temaga on raskem sõita kui hästi määritud jalgrattaga.

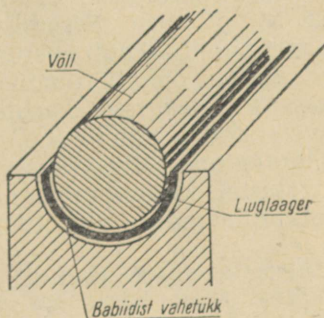
Miks määrimine vähendab hõõrdumist?

Määre täidab hõõrduvate pindade ebatasasused ja valgub õhukese kihina nende vahele nii, et pinnad ei puutugi nagu enam üksteise vastu (joon. 188). Määre vähendab hõõrdumist 8—10 korda.

Kuna õlitatud pindade puhul pinnad ei puutu üksteise vastu, siis sellega vähendabki õlitamine pindade kulumist.



Joon. 188. Määre pindade vahel vähendab hõõret.

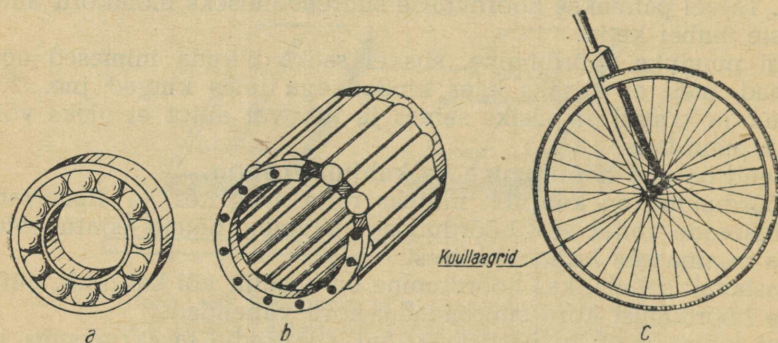


Joon. 189. Liuglaager.

Joonisel 189 on kujutatud liuglaager. Hõõrdetegurite tabelist näeme, et hõõrdumine erinevatest ainetest pindade vahel on väiksem kui samast ainetest pindade vahel. Seepärast valmistatakse masina laagrid teisest materjalist kui võll ise.

Sageli on liuglaagri vahetükid valmistatud babiidist (seatina, tina, antimoni ja vase sulam), mille hõõrdetegur vastu terast on väike.

Hõõrdumine veeremisel on teatavasti tunduvalt väiksem kui liugumisel. Seepärast püütakse kõikjal, kus see vähegi võimalik, asendada liugumine veeremisega. Selleks kasutatakse kull- või rull-laagreid.



Joon. 190. Kuullaager, rull-laager ja jalgratta ratas.

Kuullaager koosneb kahest nn. kanderõngast ja nende vahele paigutatud teraskuulikestest (joon. 190, a). Rulllaagritel on kuulikeste asemel rullikesed (joon. 190, b). Sellise laagri sisemine rõngas ühendatakse kindlalt ratta teljega, välimine aga laagrikausiga. Ratta pöörlemisel veereb sisemine rõngas mööda kuulikesi, kuulikesed omakorda aga mööda välist rõngast. Mingisugust libisemist kuullaagri juures enam ei esine. Rulllaagri puhul toimub veeremine rullikestel.

Kuullaagrites on hõõrdumine 20—50 korda väiksem kui liuglaagrites. Rulllaagreid kasutatakse seal, kus rõhk laagritele on suur (veoautod, vagunid jne.) ja kus kuullaagrid oma väikese kokkupuutepinna tõttu võiksid kergesti puruneda. Jalgratastel ja mootorratastel, kus surve laagritele on tunduvalt väiksem, kasutatakse kuullaagreid (joon. 190, c).

Harjutus 45. 1. Miks määratakse masinate liikuvaid osi?

2. Millist määret kasutatakse väljas töötavate masinate osade määrimiseks suvel? talvel?

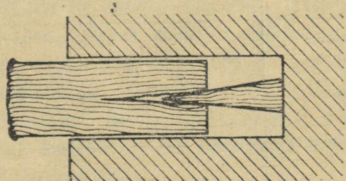
3. Auto liigub tühjalt kiiremini kui koormaga. Miks?

4. Miks määrimata masinaosad kuluvad kiiremini kui määritud?

5. Koormatud vankriga järsust mäest allasõitmisel seotakse mõnikord üks vankri ratas kinni, et ta ei pöörleks. Miks?

6. Miks kingsepp kasutab kingataldade õblemisel vahatatud niiti või nõöri?

7. Et puupunn püsiks hästi kiviseinas, lüüakse ta auku koos kiiluga (joon. 191). Miks ei saa niiviisi sisselöödud puupunni seinast kergesti välja tõmmata?



Joon. 191. Ülesande 7 juurde.

8. Milles seisneb sõidukite (auto, vaguni, mootorratta) pidurdamine?

9. Palgi liigutamiseks asetatakse palgi alla tihti ümmargused puujupid. Miks?

10. Miks looreha rattad on suure läbimõõduga?

11. Miks seebiga määratud kruvi on kergem puusse keerata kui määrata kruvi?

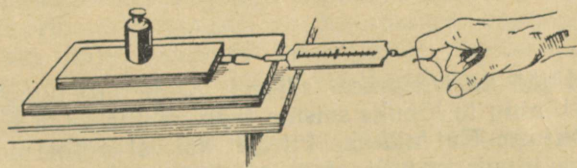
12. Miks elusat kala on raske käes hoida?

88. Laboratoorne töö nr. 12. Hõõrdeteguri määramine.

Töövahendid. Dünamomeeter, koormuste komplekt, puust risttahukas ja selle aluslaud (joonlaud).

Töö käik. 1. Kaalu risttahukas ja märgi tulemus tabelisse lahtrisse «Rõhumisjõud P».

2. Aseta risttahukas horisontaalsele aluslauale ja tõmba teda dünamomeetri abil võimalikult ühtlaselt mööda aluslauda (joon. 192). Sel viisil mõõdad tõmbejõu, mis keha ühtlasel liikumisel on võrdne hõõrdejõuga. Tulemus märgi tabelisse.



Joon. 192. Hõõrdeteguri määramine.

3. Koorma risttahukat ühe lisakoormusega koormuste komplektist ning korda punktis 1 ja 2 kirjeldatud tööd. Risttahukas kaalu koos lisakoormusega.

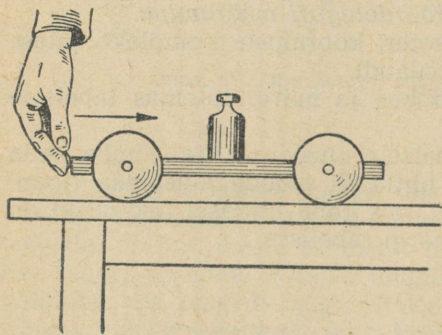
4. Analoomiliselt toimi kahe ja kolme lisakoormuse korral. Tulemused märgi jällegi tabelisse.

5. Arvuta mõõtmise tulemuste tabeli andmete alusel hõõrde-
tegur.

Mõõtmistulemuste tabel

Mõõtmise jrk. nr.	Rõhumisjõud P (risttahuka kaal + risttahuka peal oleva koormuse kaal)	Hõõrdejõud F_h	Hõõrde-tegur k $k = \frac{F_h}{P}$
1.			
2.			
3.			
4.			
		Keskmine	

91. Kehade inerts. Asetame horisontaalsele lauale vankrikese. Vankrike jääb paigale. Liikuma hakkab vankrike alles siis, kui me teda lükkame või tõmbame (joon. 193). Ka rong seisab paigal seni, kuni vedur teda ei tõmba. Toodud näidetest selgub, et keha liikumapanemiseks on vaja talle mõjuda mingi jõuga. Iseenesest keha liikuma ei hakka.



Joon. 193. Vankrike ei hakka liikuma ilma põhjusega.

Kehad ei jää ka iseenesest seisma. Alati, kui mingi keha kiirus väheneb ning ta lõpuks seisma jääb, võime leida selle seismajäämise põhjuse. Kui näiteks kiiresti sõitval autol mootor välja lülitada, siis liigub ta küll veel mingisuguse teepikkuse edasi, kuid ta kiirus väheneb seejuures pidevalt. Lõpuks jääb auto seisma. Väljalülitatud mootoriga auto seismajäämise üheks põhjuseks on hõõrdumine. Seisva mootoriga auto poolt läbitud tee ei ole aga alati ühepikkune. Asfaltteel liigub auto palju kaugemale kui kruusakattega maanteel.

Kruusateel on hõõrdumine suur, asfaltteel väiksem, märjal asfaldil ning jäätunud teel aga veel väiksem. Seepärast liigubki auto kruusateel lühema maa kui asfaltteel.

Kui õnnestuks hõõrdumine auto rataste ja tee vahel ning õhu takistav mõju täiesti kaotada, siis ei jääks väljalülitatud mootoriga liikuv auto üldse seisma, vaid liiguks mööda sirgjoonelist teed endise kiirusega.

On aga arusaadav, et hõõrdumist täiesti kaotada ei saa. Küll aga võib saavutada seda, et liikuva keha kiirus ei muutu. Selleks tuleb mõjuda liikuvale kehale hõõrdejõuga võrdse, kuid vastasuunalise jõuga. Teame, et sellised jõud tasakaalustavad teineteist. Niisugused jõud ei pane aga seisvat keha liikuma ega põhjusta ka liikuva keha seismajäämist. Seepärast ei lülitagi autojuht auto mootorit välja, kui ta tahab sõita ühesuguse kiirusega. Ta vaid reguleerib mootori tööd selliselt, et mootori tõmbejõud tasakaalustaks hõõrdejõu ja õhutakistuse.

Näeme, et ükski keha ei hakka iseenesest liikuma ega jää ka iseenesest seisma. Liikuv keha ei muuda iseenesest ka oma liikumise suunda. Seda kehade omadust nimetatakse *inertsiks*¹.

Inertsitõttu ei saa jääll kiiresti sõitev uisutaja või mäest allalaskuv suusataja äkki seisma jääda ega sooritada oma teel järske pöördeid.

Kui kehale ei mõju mingit jõudu (või kui talle mõjuvad jõud on tasakaalus), siis seisab keha paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt.

Selle, kogemustele rajatud seaduse, avastas kuulus itaalia füüsik Galileo Galilei (1564—1642).

Vaatleme, millest sõltub kehade inerts.

Kui tõugata ühe ja sama jõuga kord paigalseisvat tühja vagonetti ja teinekord samasugust telliskividega koormatud vagonetti, siis hakkab tühi vagonett liikuma tunduvalt kiiremini kui kividega koormatud. Samuti on koormatud vagonetti raskem pidurdada kui tühja. Kerge on kinni püüda visatud laste kummipalli, kuid on väga raske püüda ja kinni pidada niisama kiirelt liikuvat rasket kivi.

Nende ja paljude teiste katsete põhjal võime veenduda, et mida suurema massiga on keha, seda suuremat jõudu on vaja ta liikumapanemiseks ja ka seismajätmiseks. Seega

keha inerts on seda suurem, mida suurem on keha mass.

¹ Sõna «inerts» tuleneb ladinakeelsest sõnast *inertia*, mis tähendab tegevusetust ehk laiskust.

Kingsepp võib põlvele asetatud alasil taguda tallanahka, ilma et põlvel oleks vasarahoopidest valus. Raske alasi ei hakka oma suure inertsit tõttu vasara hoopide mõjul liikuma ega anna seepärast hoope põlvele edasi.

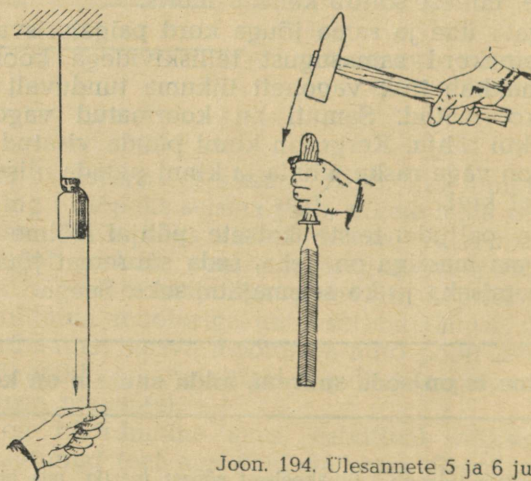
Looduses ja tehnikas kohtame me inertsinähtusi väga sageli. Kehade inerts ilmneb eriti hästi liikumise kiiruse ja suuna järsul muutumisel. Kui näiteks kiiresti sõitvat autot, rongi või trammi püütakse äkki seisma jätta, siis see ei õnnestu, sest inertsit mõjul liigub sõiduk veel mingi teepikkuse võrra edasi.

Seda tuleb arvestada igal sõidukijuhil, sest muidu võib juhtuda õnnetusi. Seda tuleb teada ka jalakäijatel. Ei tohi ootamatult astuda sõiduki ette, sest lühikesel teepikkusel ei suuda sõiduki juht oma masinat pidurdada.

Sõidukis olevad reisijad liiguvad sõiduki pidurdamisel tahtmatult edasi endise kiirusega ja endises suunas. Sõiduriista äkilisel liikumise peatumisel aga püüavad esemed ja reisijad säilitada paigalseisu ja nihkuvad seepärast sõiduriista liikumisele vastasuunas. Kurvil kalduvad reisijad sõiduriista selle seina poole, mis on kurvi välisel küljel, sest nad püüavad liikuda ühtlaselt mööda sirgjoont.

Raskekaalulistele rongidele antakse raudteel nõndanimetatud «roheline tänav». See tähendab, et rongid lastakse peatamatult läbi väiksematest vahejaamadest. Raske rongi seismajätmine ja uuesti liikumapanemine kõikides vahejaamades vajaks rongi suure inertsit tõttu palju aega ja jõudu.

Mootorite vāntvõllid varustatakse käigu ühtlustamiseks raskete hooratastega. Ajal, mil vāntvõllile ei mõju mootorilt ülekantav jõud, pöörleb see edasi oma ja hooratta inertsit mõjul.



Joon. 194. Ulesannete 5 ja 6 juurde.

Harjutus 46. 1. Kuidas kasutatakse kehade inertsi luuale, labidale, vasarale, kirvele jne. varre otsa panemiseks?

2. Õngitsemisel tuleb kala mõnikord õhus õngekonksu otsast lahti, kuid sageli langeb siiski kaldale. Miks?

3. Miks õngelatt peab olema hästi painduv?

4. Kilogrammiline viht või mõni muu raske ese on kinnitatud niidiga statiivi külge joonisel 194 näidatud viisil. Kumb nõõr, kas ülemine või alumine, katkeb niidi järsul tõmbamisel? aeglasel tõmbamisel? Miks?

5. Joonisel 194 on kujutatud nõrgalt käepideme otsa kinnitatud viil. Mis juhtub siis, kui me löõme vasaraga viili käepidemele?

6. Kuidas puusepp reguleerib hõõvlipakus tera asendit? Millise füüsikaseadusega on see selgitatav?

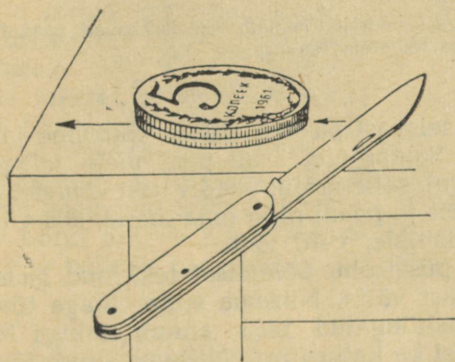
7. Miks eraldub kloppimisel vaibast tolm?

8. Miks ei saa jalgrattur kiirel sõidul järsku muuta liikumise suunda?

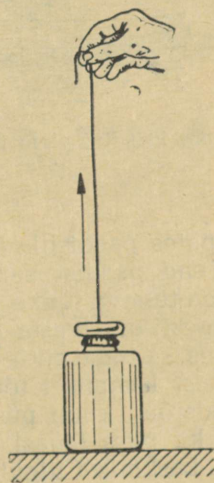
9. Miks hooga saab hüpata kaugemale kui hoota?

10. Tsirkuses asetatakse raske alasi jõumehe rinnale ja lüüakse siis raske vasaraga alasile. Miks jõumees ei saa seejuures vigastada?

11. Üksteise peale on asetatud kaks viiekopikast raha (joon. 195). Noaga kiirelt alumisele rahale lüües eemaldub see, kuna ülemine raha langeb alumise raha kohale. Seda aga ei juhtu aeglase löõgi puhul. Miks?



Joon. 195. Ülesande
12 juurde.



Joon. 196. Ülesande
13 juurde.

12. Millal on auto mootor rohkem koormatud, kas liikuma hakates või ühtlaselt liikudes?

13. Miks on võimalik eemaldada raputamisega lund riietelt?

14. Miks ei tohi ületada sõiduteed liikuva transpordivahendi eest selle läheduses?

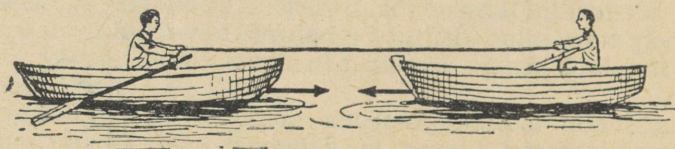
15. Miks puruneb joonisel 196 kujutatud viisil kinniseotud niit järsul tõmbamisel?

16. Tuua näiteid inertsi esinemise kohta nii kasuliku kui ka kahjuliku nähtusena.

92. Kehade vastastikune mõju. Kui üks keha mõjub teisele mingi jõuga, siis muutub kas teise keha kuju või tema liikumise kiirus.

Kehade mõju on vastastikune, see tähendab — kui üks keha mõjub teisele, siis teine keha mõjub ka esimesele. Kui näiteks lüüa seatinast vasaraga vastu seatinatükki, siis deformeeruvad nende vahel mõjuvate jõudude toimetel nii seatinatükk kui ka vasar.

Kui siduda paadi külge nõör, asuda ise teise paati ja tõmmata nõõri, siis hakkavad paadid liikuma teineteise poole (joon. 197). Me rakendasime nõõri kaudu jõudu küll teisele paadile, kuid samal ajal rakendas teine paat jõudu ka paadile, milles asusime meie ise. Mõlemad jõud on võrdsed, kuid vastassuunalised ja kumbki neist on rakendatud erinevatele kehadele: üks — teisele paadile, teine paadile, milles asusime.



Joon. 197. Kui paate ühendavast nõõrist tõmmata, siis hakkavad paadid liikuma teineteise suunas.

Hüpates paadisilla ääres seisvast paadist sillale, tõukame jalgedega end paadist eemale. Samal ajal saab paat meie jalgadelt niisama tugeva tõuke ja liigub selle mõjul paadisillast eemale. Kui me õigesti ei arvesta kaugust ja paadi ning oma massi, siis võime hüpates sattuda mitte paadisillale, vaid vette.

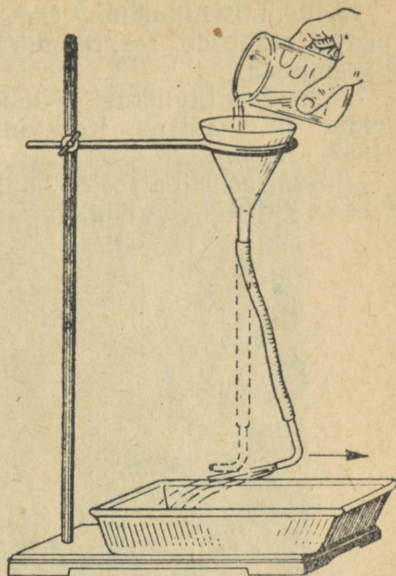
Püssist laskmisel tõukab püssirohu põlemisel tekkinud gaaside rõhumisjõud kuuli püssirauast välja. Niisama suure jõuga tõugatakse ka püss tagasi. Tagasitõugatud püss annab laskuri õlale tõuke. Laskmisel liigub tagasi ka kahuritoru. Niisama suure jõuga, millega mürsk välja tõugatakse, tõugatakse kahuritoru tagasi.

Seega

jõud, milledega kaks keha vastastikku teineteist mõjutavad, on alati võrdsed ja vastassuunalised, kusjuures üks neist on rakendatud ühele, teine aga teisele kehale.

Selle seaduse avastas suur inglise füüsik Isaac Newton (1642—1727) (loe: isaak njuuton). See seadus kannab mõju ja vastumõju seaduse nime.

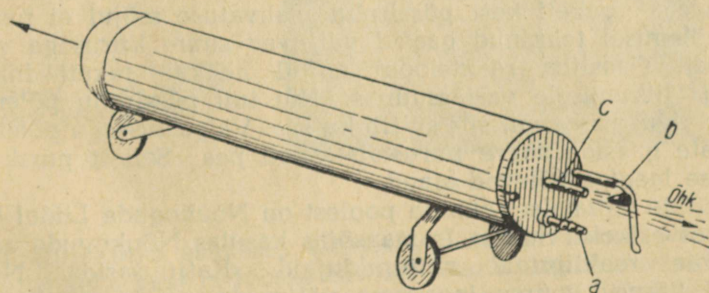
Mõju ja vastumõju seaduse abil saab selgitada ka vooliku tagasiliikumist, kui voolikust voolab välja veejuga (joon. 198). Asetame statiivi rõngasse klaaslehtri, mille otsas ripub kummivoolik. Viimane lõpeb kõvera toruga. Valame lehtrisse vett. See voolab vooliku otsas oleva kõvera toru kaudu välja. Niisama suur jõud, mille mõjul kõverast torust voolab välja vesi, mõjub ka toru seinal. Selle tagajärjel kaldub toru koos voolikuga veeja voolamisele vastassuunas. Voolikut kallutatavat jõudu nimetatakse reaktsioonijõuks ehk vastumõjuks.



Joon. 198. Kui vooliku otsa kinnitatud torust voolab välja veejuga, siis hakkab toru koos voolikuga liikuma veeja väljavoolule vastassuunas.

Nii nagu veejuga, avaldab reaktsioonijõudu ka gaasijuga kehale, millest ta väljub. Selle mõjul liigub keha tagasi.

Korraldame katse ratastele asetatud plekist ballooni, mille tagaseinas on kaks torukest (joon. 199). Ühe toru ava suleme korgiga, mida hoiab kang. Kangi otsa seome niidiga kinni, et ballooni valitsev tugev rõhk korki ava eest ära ei suruks. Nüüd pumpame teise toru kaudu ballooni õhku. Seejärel põletame läbi korki hoidva kangi sidumisnööri. Õhujoa reaktsiooni mõjul hakkab balloon veerema (joon. 199).

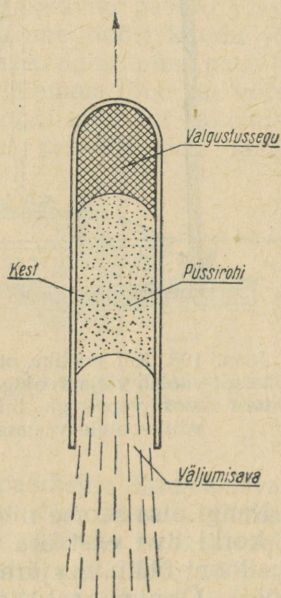


Joon. 199. Reaktiivvanker: a) õhu sissepumpamise ventiil, b) korki hoidev kang, c) õhu väljavoolu ava.

93. Reaktiivliikumine. Gaasijoa reaktsiooni kasutatakse tänapäeval raketide, reaktiivmürskude ja reaktiivlennukite liikumapanemiseks.

Üheks reaktiivliikumise teooria rajajaks oli silmapaistev vene leidur ja teadlane Konstantin Eduardovištš Tsiolkovski (1857—1935).

Lihtsam gaasijoa reaktsiooni mõjul liikuv seade on valgusturakett. Selle läbilõige on kujutatud joonisel 200.



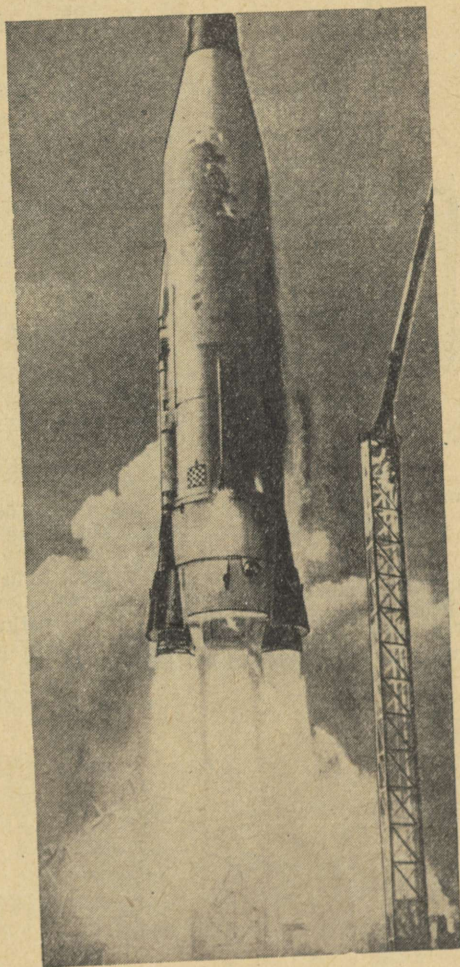
Joon. 200. Valgusturakett liigub gaasijoa reaktsiooni mõjul.

Raketis süüdatakse püssirohi. Kuna raketi seinad on küllalt tugevad, siis raketi kest püssirohu plahvatuse mõjul ei purune, vaid põlemisel tekkinud gaasid väljuvad suure kiirusega väljumisavast. Gaasijoa reaktsiooni mõjul hakkab raket liikuma gaasijoa liikumisele vastassuunas. Kui tuli püssirohu põlemisel jõuab valgustusseguni, siis süttib ka see. Valgustussegu põlemisel tekkivate gaaside surve purustab raketi pea. Sellest purskuvad värvilise leegiga põlevad ained.

Rakettide ehitamise tehnika poolest on Nõukogude Liidul kogu maailmas esikoht. Suures Isamaasõjas kasutas Nõukogude armee kaardiväe reaktiivseid miinipildujaid «Katjuušasid». Nende mürsud liikusid mürsu tagaosast väljuvate gaaside reaktsiooni mõjul.

Nõukogude Liidus on ehitatud rakette, mida võib saata suure täpsusega mitme tuhande kilomeetri kaugusele.

Rakettide abil alustas Nõukogude Liit lende väljapoole maa-
kera — maailma- ehk kosmilisse ruumi. Selleks kasutatakse
mitmeastmelisi rakette. Alguses töötab raketi esimene
aste, mis viib raketi teatud kõrgusele ja annab talle teatud kii-



Joon. 201. Gaasijugade
reaktsiooni mõjul hakkab
rakett liikuma üles.

ruse. Kui kütus esimeses astmes on ära tarvitatud, siis eraldub
raketist selle kest ja töösse hakkab raketi järgmine aste. Viimane
raketi aste võib saavutada sellise kiiruse, et püsivalt tiirelda
kunstliku kaaslasena ümber maakera. Selleks on vaja kiirust
umbes $8 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$. Esimene Maa kunstlik kaaslane («Sputnik») lasti

välja Nõukogude Liidust 4. oktoobril 1957. a. Selleks kasutati mitmeastmelist raketti.

Mitmeastmelise raketi abil on saavutatud kiirus, mis viib raketi maakera ümbrusest kui tahes kaugemale maailmaruumi. Selleks tuleb raketile anda kiirus vähemalt

$11,2 \frac{\text{km}}{\text{sek.}}$. 1959. a. septembris saadeti

meie kodumaalt Kuu pinnale raadio-saatja ja mõõduriistadega varustatud esimene kosmiline raket, mis viis Kuule Nõukogude Liidu vimpli. Lend Kuule kestis umbes kaks ööpäeva ja raket langes arvutuste teel ettenähtud ajal ettenähtud punkti Kuu pinnal.



Joon. 202. Ulesande
1 juurde.

Harjutus 47. 1. Joonisel 202 on kujutatud anum, millest ulatuvad välja vastassuunaliste avadega torud. Mis juhtub, kui anumasse valada vett?

2. Üks Atlandi ookeanis elavaid kalu tõmbab endasse vett ja surub siis tugeva veejoa endast välja. Selgita, miks liigub kala seetõttu edasi.

3. Kas reaktiivlennukid saavad liikuda õhutihjas ruumis?

4. Kas saab üks keha anda teisele tugevama hoobi, kui ta ise suudab taluda?

5. Laskmisel tuleb püssikaba tihedasti vastu õlga suruda. Miks?

6. Tõnu tõmbab dünamomeetri rõngast, Jüri konksust selle teises otsas. Mõlemad tõmbavad 5 kG tugevuselt. Kui palju näitab dünamomeeter?

7. Kummagi käe tõmbejõud on 10 kG. Kas suudetakse käte vahel katki tõmmata nõõri. mis katkeb 15 kG jõu mõjul?

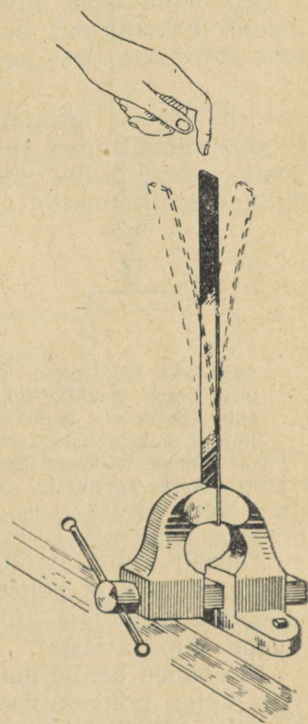
94. Hääle tekkimine. Oma kogemustest teame, et peaaegu kõiki liikumisi saadab mingisugune hääl. Auto sõitmisega kaasneb näiteks hääl, mis tekib mootori töö, kummide ja teepinna vahelise hõõrdumise ja auto kere võnkumise tulemusena. Kui inimene jookseb mööda teed, siis saadab seda liikumist tema sammude müdin. Kui tõmmata pinguliolevat traati tema keskkohalt, siis hakkab see edasi-tagasi võnkuma. Ka selle liikumisega kaasneb hääl. Selliseid näiteid võib meid ümbritsevast elust leida igal sammul.

Mis on siis hääl? Sellele küsimusele vastamiseks uurime lähemalt mõnda keha, mille liikumise tulemusena kuuleme häält. Võtame rauasae lehe ja kinnitame selle üht otsa pidi kruustangide vahele. Kui nüüd saelehe ülemist otsa enda poole tõmmata ja siis lahti lasta, hakkab saeleht edasi-tagasi võnkuma (joon. 203). Ühtlasi kuuleme madalat häält.

Kinnitame nüüd saelehe keskkohalt kruustangide vahele ja kor-dame oma katset. Näeme, et saeleht võngub kiiremini kui esimesel juhul. Saelehe pikkust vähendades kiirendame me tema võnkumist, see-juures tekkiv hääl muutub aga kõr-gemaks.

Saelehe võnkumine paneb lii-kuma ka saelehte ümbritsevad õhu-osakesed, s. t. õhk hakkab saelehe võnkumise mõjul samuti võnkuma. Niisugune võnkuv õhk jõuab meie kõrvani, mõjub meie kõrva kuul-menahale ja põhjustabki hääle kuul-mise.

Meie kõrv kuuleb häält aga mui-



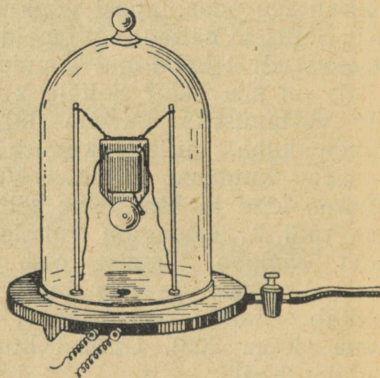
Joon. 203. Saelehe võnkumisega kaasneb hääl.

dugi ainult siis, kui on olemas mõni võnkuv keha, mis paneb õhu võnkuma. Kui sellist võnkuvat keha ei ole, siis häält ei teki. Kehi, mille võnkumise tulemusena tekib hääl, nimetatakse hääleallikateks.

Hääleallikateks võivad olla väga mitmesugused kehad. Kõik need kehad aga peavad seejuures teatava sagedusega võnkuma. Võtame näiteks helihargi ja lööme teda kummist vasarakesega. Vaikselt kuulates võime pärast lööki kuulda helihargi häält. Puudutame nüüd võnkuva helihargiga niidi otsa seotud väikest kuulikest. Kuulike hüppab helihargist eemale, tuleb siis raskuse mõjul uuesti tagasi. See kuulikese edasi-tagasi hüppamine (joon. 204) on selgitav sellega, et võnkuv helihargi haru lööb perioodiliselt vastu kuulikest. Järelikult võib kuulikese käitumise järgi öelda, et meie helihark võngub.



Joon. 204. Niidi otsas ripuv kerge kuulike hüppab heliseva helihargi juurest eemale sellepärast, et võnkuv helihark lööb vastu kuulikest.



Joon. 205. Kui õhk õhupumba kupli alt välja pumbata, siis kumminööri-dega ülesriputatud elektrikõlisti hääl jääb pidevalt nõrgemaks ning kustub lõpuks hoopis, sest pole õhku, mis võnkumist edasi annaks.

Täpselt samuti võib näidata kuulikesega, et pingulitõmmatud traat võngub, et helisev tass samuti võngub jne. Selleks et tass hakkaks võnkuma, tuleb teda sõrmega ettevaatlikult lüüa (sõrmega «nipsu» lasta).

Me elame häälte maailmas. Kogu meid ümbritsev keskkond on täis kõige mitmekesisemaid hääli. Õhk suudab seega meie kõrvani kanda ühel ja samal ajal mitme erineva keha poolt tekitatud häälevõnkumisi. Meie suudame sellest häältehulgast eraldada meile tuttavate inimeste hääli, muusikariistade helisid jne.

Hääel on füüsikaline nähtus, millel peamiselt põhineb inimeste omavaheline suhtlemine. Seepärast on ka arusaadav, miks inimesi huvitab hääel ja tema omadused. Ainult häälenähtusi põhjalikult tundes võib seda füüsikalist nähtust otstarbekalt kasutada igapäevases elus.

95. Hääle levimine. Eelmises paragrahvis rääkisime sellest, et hääle kuulmist põhjustab meie kõrvale mõjuv õhuosakeste võnkumine. See võnkumine saab aga alguse mõnelt võnkuvast kehast.

Kõigest eelpool öeldust järgneb, et hääle jõudmiseks meie kõrvani peab võnkumine levi ma hääleallikast meieni. Kui kiiresti hääel levib? Kas hääel levib ainult õhus? Need on küsimused, mis huvitavad kõiki. Püüame neile vastata.

Võtame õhuhõrenduspumba ja riputame kumminööridega tema kupli alla elektrikõlisti (joon. 205). Paneme kõlisti helisema. Helin on kupli alt selgesti kuulda. See helin antakse kellakupli võnkumise näol edasi kella ümbritsevale õhule ja sealt õhuhõrenduspumba kuplile. Võnkuvast õhu mõjul hakkab ka kuppel võnkuma. Kuid kuppel on ka väljastpoolt ümbritsetud õhuga. Võnkuv kuppel paneb selle õhu võnkuma, see omakorda aga mõjub meie kõrvale.

Hakkame nüüd õhku kupli alt välja pumpama. Helin jääb seejuures ikka vaiksemaks ja vaiksemaks ning kaob lõpuks hoopis. Miks? Nimelt sellepärast, et nüüd ei ole kõlisti ümber enam õhku, mis võnkuma hakkaks ja omakorda hõrenduspumba kupli võnkuma paneks.

Järelikult,

hääel ei levi vaakuumis.

Paneme pika laua ühele otsale käekella. Seistes laua teise otsa juures, ei kuule me kella tiksumist. Kui aga kõrv panna vastu lauda, siis kuuleme selgesti tiksumist. Järeldus: puu juhiv hääel. Samuti võib kindlaks teha, et hääel juhivad hästi metallid, vesi ja veel paljud teised kehad.

Halvasti juhivad hääel kork, vatt, vilt, suled ja teised nendega sarnased kehad. Seepärast kasutatakse neid materjale helikindlate ruumide ehitamisel.

96. Hääle levimise kiirus. Jälgides kaugelt näiteks vasaralööke, paneme tähele, et hääel põhjustavad liigutused ei lange ühte meie poolt kuuldava häälega. Alati kuuleme hääel hiljem.

Põhjuseks on siin asjaolu, et

hääle levimiseks kulub aega.

Hääle levimiskiiruse määramiseks tuleb leida hääle poolt läbitud tee ja selleks kulunud aeg. Täpsete mõõtmistega on tehtud kindlaks, et hääle kiirus õhus on keskmiselt $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Lisaks sellele märgime hääle levimise kiiruse veel mõnes teises keskkonnas:

vees	—	1440	$\frac{\text{m}}{\text{sek}}$
rauas	—	5170	$\frac{\text{m}}{\text{sek}}$
betoonis	—	2200	$\frac{\text{m}}{\text{sek}}$
kummis	—	60	$\frac{\text{m}}{\text{sek}}$



Joon. 206. Selleks et kindlaks teha hääle levimise kiirust, tuleb mõõta hääle poolt läbitud tee ja selleks kulunud aeg. Vasaraga mehest 1 km kaugusel olev vaatleja mõõdab stopperiga aja löögi nägemise momendist kuni hääle kuulmise momendini. Hääle kiiruse saame, kui 1 km jagame mõõtmisel saadud ajaga.

Laialt on rahva seas levinud järgmine võte välgu kauguse kindlaksmääramiseks. Pärast välgu nägemist loetakse aegamööda numbreid: üks, kaks, kolm... kuni muristamiseni. Viimane loetud arv jagatakse kolmega, tulemus ongi välgulöögi kaugus kilomeetrites. See meetod põhineb tõsiasjal, et hääle levib kolme sekundiga umbes ühe kilomeetri. Kui nüüd loendada sellise sagedusega, et iga järgmise arvu ütlemiseks kulub umbes 1 sekund, siis loendamise tulemusena saame teada välgu puhul tekkinud hääle levimise aja. Selle jagamisel kolmega saame hääle poolt läbitud tee kilomeetrites.

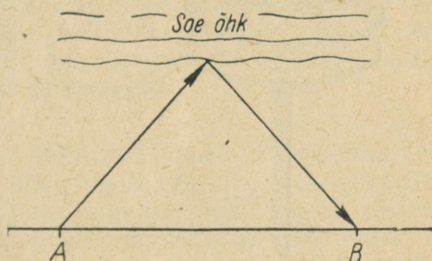
97. Hääle peegeldumine. Kui minna mõnest suuremast hoonest umbes paarkümmend meetrit eemale ja hõigata valjusti mingi sõna, siis paneme tähele huvitavat asja — keegi nagu kordaks meie poolt öeldud sõna ning me kuuleme seda vahetult pärast oma hõiget. Sellist hõike kordumist paneme tähele ka mõne teise takistuse (mets, muldvall) ees hõigates. Kord toimub see kordamine ainult lühema, kord pikema ajavahemiku järel.

Ülalkirjeldatud nähtuse põhjuseks on hääle peegeldumine nendelt takistustelt. Peegeldunud häält nimetatakse *kajaks*.

Hääle peegeldumine toimub ka igas kinnises ruumis. Hääl peegeldub tagasi ruumi seintelt, laelt ja põrandalt. Tavalistes eluruumides aga ei märka me mingit kaja, sest me tajume kahte häält eraldi ainult siis, kui nende vahe on vähemalt 0,1 sek. Et hääle ja tema kaja vahe oleks selline, peab peegeldav pind olema hääleallikast vähemalt 17 m kaugusel, sest siis kulub häälel takistuseni jõudmiseks 0,05 sek. ning tagasitulekuks niisama palju aega, seega kokku 0,1 sek. Tavaline ruum on aga niivõrd väike, et peegeldunud hääl sulab ühte esialgse häälega, mispärast ongi hääled tubades tugevamad kui väljas (väljas pole lähedalolevaid peegeldavaid pindu).

Suurtes ruumides võib aga kaja muutuda segavaks. Kaja võib jõuda tagasi küllalt tugevalt ja selliselt, et ta segab järgnevat häält. Niisugustes ruumides on raske aru saada kõnest, muusikast jne. Seepärast tuleb teatri- ja kontserdisaalid ning teised suured ruumid ehitada selliselt, et ei tekiks kaja, mis segaks ettekandeid.

Joon. 207. Hääleallikast punktis A levib hääl noolega näidatud suunas. Kohanud oma teel soojemaid õhukihte, peegeldub hääl nendelt ning satub maapinnale punktis B. Punktide A ja B läheduses on hääl kuulda, vahepeal asub aga vaikusevöönd.



Hääl võib peegelduda ka erineva temperatuuriga õhukihtidelt. Kui näiteks ülemised õhukihid on soojemad kui alumised, siis hääl, mis põrkub vastu soojemaid kihte, peegeldub sealt tagasi. Selle nähtusega saab selgitada asjaolu, et tekkekohal on hääl kuulda, sellest veidi kaugemal aga pole, sellele piirkonnale aga järgneb ala, kus hääl on jälle kuulda (joon. 207).

98. Häälte liigitamine. Meid ümbritsevad hääled on väga mitmesugused, sest neid põhjustavad erinevad võnkumised. Vastavalt häälte iseloomule jaotame hääled järgmisteks rühmadeks:

1. mürad;
2. paugud;
3. helid.

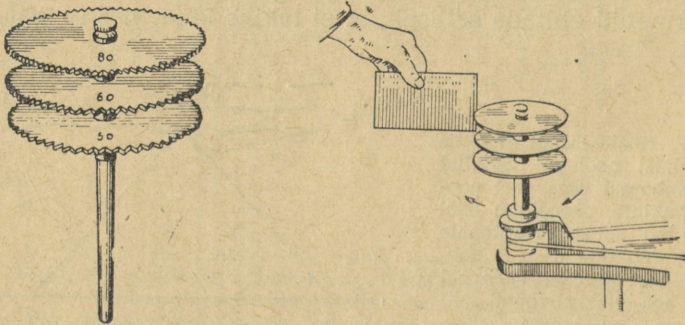
Müra tekitavad korrapäratult võnkuvad kehad. Tihti on mürade juures tegemist korraga paljude hääleallikatega.

Pauk on lühiajalise, kuid väga tugeva võnkumise tulemusena tekkinud hää.

Korrapäraselt võnkuv keha tekitab hääle, mida nimetatakse heliks. Helidega tegeldakse muusikas. Helisid tekitatakse eriliste instrumentidega ehk muusikariistadega. Iga sellise riis- taga saab tekitada mitmesuguse kõrgusega helisid. Igal muusikariistal on need helid erineva kõlaga ehk tämbriga. Nii näiteks on klaveriga tekitatud esimese oktaavi «do» kõla hoopis teistsugune kui viuliga tekitatud sama «do» kõla.

99. Heli kõrgus. Kui panna helisema erinevaid heliharke, siis märkame, et ühel juhul saame kõrgema heli, teisel juhul aga madalama.

Helihargile on tavaliselt märgitud arv, mis näitab võngete arvu ühes sekundis. Võrreldes neid arve, näeme, et madalamale helile vastab väiksem võnkesagedus, kõrgemale helile vastab aga suurem võnkesagedus.



Joon. 208. Hammassireeniga saadavate helide kõrgus oleneb ketta hammaste arvust.

Kinnitame tsentrifugaalmasinale hammassireeni (joon. 208) ja paneme ta pöörlema. Kui nüüd lasta vastu väiksema hammaste arvuga kettast kartongiriba, siis tekib madal heli. Suurema hammaste arvuga ketta korral saame aga kõrgema heli. Järelikult,

heli kõrgus oleneb võnkesagedusest ja on seda kõrgem, mida suurem on võnkesagedus.

Laulmistunnist tuntud esimese oktaavi «la» annab hääleallikas, mis teeb 440 võnget sekundis. Sama oktaavi alumine «do» saadakse sellise hääleallika abil, mis teeb 262 võnget sekundis. Järgmise oktaavi «do» annab aga hääleallikas võnkesagedusega 528 võnget sekundis.

Erineva kõrgusega helide saamiseks tuleb kasutada seega erineva sagedusega võnkuvaid hääleallikaid. Katse näitab, et mida lühem on võnkuv keha, seda suurema sagedusega ta võngub ja, järelikult, seda kõrgema heli ka annab. Sellepärast on näiteks ksülofonil kõrgemate helide saamiseks õige lühikesed puust pulgad, madalamate helide saamiseks aga palju pikemad. Orelis saadakse kõrged helid õhu võnkumise tulemusena lühikestes viledes, madalad toonid aga pikkades viledes.

100. Resonants. Asetame üksteise kõrvale paar-kolm erineva pikkusega toru, mis on otstest avatud. Lööme helihargi võnkuma ning asetame ta järgemööda iga toru otsa juurde. Helihark paneb siis võnkuma ka õhu torus ning võnkumise tulemusena tekkiv hääl muutub tugevamaks. Kuid paneme ka tähele, et hääle tugevnemine ei ole alafi ühesugune. Olukorda, mille juures tekib kõige suurem hääle tugevnemine, nimetatakse *resonantsiks*. Sel korral võngub torus olev õhusammas kõige tugevamini ning ka hääl on muidugi kõige tugevam.

Resonantsinähtusi kasutatakse laialdaselt muusikas. Kui muusikariistades ei kasutataks resonantsinähtust, siis oleks helide kuulamine väga raske, sest need oleksid väga nõrgad. Näiteks käes hoitava helihargi nõrka häält ei ole juba väiksel kaugusel kuulda. Kui aga sama helisev helihark asetada otsapidi vastu lauda, siis hakkab laud kaasa võnkuma ning hääl on palju tugevam ning teda on kuulda küllalt kaugelt.

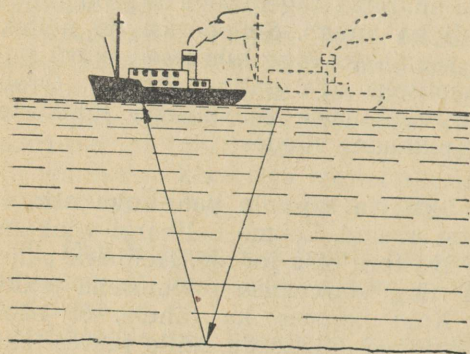
101. Ultraheli. Hääleallikat ikka kiiremini ja kiiremini võnkuma pannes saame järjest kõrgemaid helisid. Kui hääleallikas teeb sekundis üle 20 000 võnke, siis me häält enam ei kuule. Sellist inimesele kuuldamatut häält nimetatakse *ultraheliks*. Inimene seda häält ei kuule, koer aga kuuleb. Seepärast kasutatakse teenistuskooerte jaoks selliseid ultraheli-vilesid. Inimene sellise vile poolt tekitatud häält ei kuule, koer aga kuuleb neid selgesti.

Ultrahelil on tugev bioloogiline toime. Väiksemad loomad surevad ultraheli mõjul.

Ultraheli kasutavad nahkhiired oma öistel lendudel. Nahkhiired saadavad lennul välja ultrahelilaineid, mis peegelduvad eesolevatelt esemetelt tagasi ning hoiatavad seega nahkhiirt eesolevate takistuste suhtes.

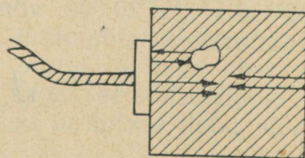
Väga laialt kasutatakse ultraheli kaasaegses tehnikas ja meditsiinis.

Kui kitsas ultrahelikimp suunata laevalt merepõhja, siis peegeldub see sealt tagasi ning jõuab laeval oleva vastuvõtjani (joon. 209). Heli väljasaatmise ja vastuvõtmise vahelise aja järgi saab määrata mere sügavust. Sellist mere sügavuse määramise seadet nimetatakse kajaloodiks. Kajaloodi abil saab määrata ka kalaparvede asukohti.

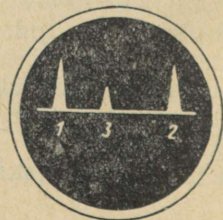


Joon. 209. Kajalood.

Kajaloodi kasutatakse samuti mitmesuguste esemete kvaliteedi hindamisel. Selleks lastakse ultraheli uuritavasse esemesse. Uurimisseadme ekraanil tekib sel momendil, kui ultraheli kohtab uuritavat keha, helendav tuldake. Edasi levib heli uuritavas esemes. Kui selles ei ole mingit defekti, siis jõuab ultraheli takistamatult eseme vastasküljeni ja peegeldub sealt tagasi. See tagasipeegeldumine tekitab ekraanil teise helendava tuldakese (joon. 210). Kui aga ultraheli teel on mingi defekt, näiteks valamisel jäänud auk, siis toimub osaline peegeldumine sellelt defektilt ja kahe äärmise helendava tuldakese vahel on näha veel kolmandat, eelmistest väiksemat tuldakest. Selliselt võib uurida küllalt

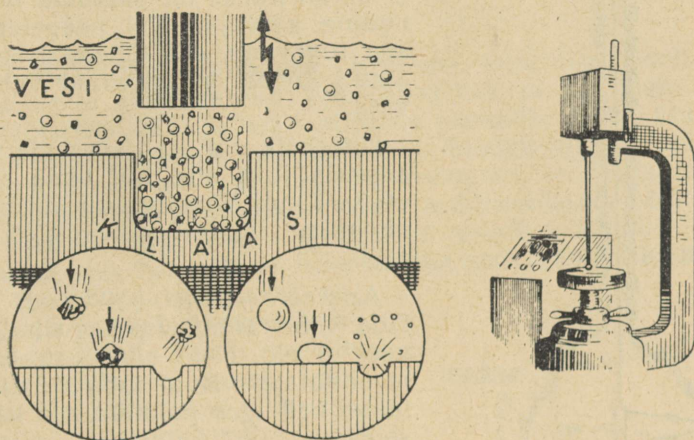


Joon. 210. Esemete kvaliteedi uurimisel lastakse neist läbi ultraheli. Kui ese on defektideta, siis tekib uurimisseadme ekraanil kaks helenduvat sambakest (1 ja 2), kui aga esemes on õhumulle, siis tekib ekraanil kahe äärmise tuldakese vahele veel kolmas.



suurte esemete valmistamise kvaliteeti. Riista, mille abil niisugust uurimist läbi viiakse, nimetatakse ultraheli defektoskoobiks.

Ultraheli ei kasutata mitte ainult esemete uurimiseks, vaid ka valmistamiseks. Ultraheli abil võib väga kiiresti «puurida» auke metallidesse, klaasplaatidesse ja teistesse materjalidesse. Selleks ühendatakse varras, mille ots on soovitava augu kujuline, ultraheli allikaga. Ultraheli allikas paneb varda väga kiiresti võnkuma. See võnkumine on nii kiire, et palja silmaga vaadates paistab, nagu seisaks varras hoopis paigal. Varda otsa ja puuritava keha vahele pannakse tilgake vett, milles on väikesi tahkeid osakesi. Kiiresti võnkuvat varda ots tekitab selles veetilgas



Joon. 211. Ultrahääle allikaga ühendatud varras võngub väga kiiresti (20 000 või enam võnget sekundis) ja tõukab vahetpidamatult veeosakesi ning vees olevaid tahkeid kehakesi vastu puuritavat materjali (metall, klaas, hammas). Veeosakesed ja tahked kehakesed peksavadki puuritavasse materjali varda otsa kujulise augu. Varras ise seejuures eseme vastu ei puutu.

tormi ning tõukab vahetpidamatult veeosakesi ja veetilgas olevaid tahkeid kehakesi tugevasti vastu puuritavat keha. Vesi ja tahked osakesed uuristavadki lõpuks kehasse varda otsa kujulise augu (joon. 211).

Selline puurimine toimub väga kiiresti. Näiteks kulub 5 mm diameetriga ava puurimiseks aknaklaasi aega ainult 12 sekundit. Selline puurimine ei löhu rabedaid kehi (klaasi, portselani jne.), kuna aga tavalise puurimise juures võivad need materjalid kergesti puruneda.

Ultrahelipuuri kasutatakse ka hambaravikabinettides. Puuriks on siin peenike varras, mis paneb liikuma vee ja vees olevad tahked osakesed. Selline puurimine on esiteks väga kiire ja teiseks valutu, sest ultraheli ei avalda mingit mõju hambanärvile, varras aga ei puutu üldse hamba vastu.

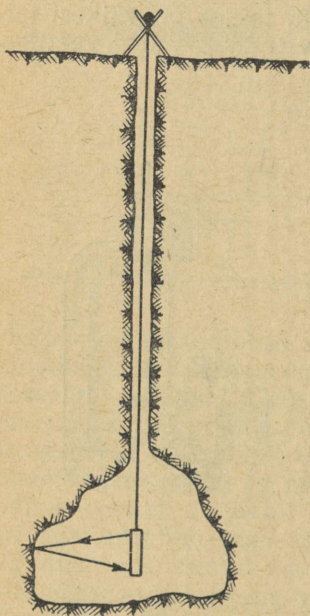
Meditsiinis rakendatakse ultraheli mitmesuguste kasvajate kindlakstegemiseks. Kui lasta inimese kehasse ultraheli, siis peegeldub see erinevatelt sisekudedelt erinevalt. Neid peegeldumisi saab täpselt kindlaks teha. Kui nüüd mingi kude haigestub, siis muutub ka ultraheli peegeldumine kas tugevamaks või nõrgemaks. Kui peegeldumine nõrgeneb, siis tähendab see, et antud kohas on tekkinud healoomuline kasvaja. Kui peegeldumine aga tugevneb, siis tähendab see, et antud kohas on tekkinud vähkkasvaja.

Ultraheli abil saab avastada vähkkasvaja juba siis, kui tema suurus on 3—7 mm. Tavaliste uurimisvahenditega nii väikest kasvajat ei avastata.

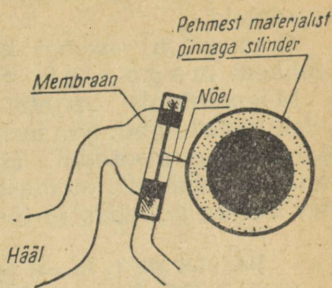
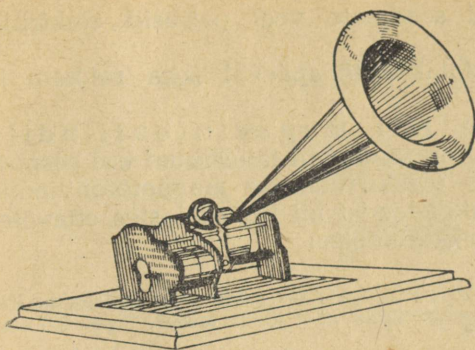
Aparaate, mille abil saab avastada vähkkasvajad, praegu haiglates veel ei ole. Neid alles katsetatakse ja ehitatakse. Kuid juba varsti võetakse nad igas polikliinikus kasutusse.

Kajaloodi saab kasutada ka maa-alustel töödel. Kord puuriti nafta puurauku. Puurimisel sattusid tööliised maa-alusele tühimikule. Tühimikku püüti täita tsemendiga, kuid isegi terve vagunitäis tsementi ei täitnud tühimikku. Siis laskus üks tööline puuraukupidi alla ja teki

kindlaks tühimiku suuruse. Selline laskumine on muidugi ohtlik. Ohutu on aga tühimiku suuruse kindlakstegemine ultraheli abil. Selleks tuleb lasta ultraheli allikas tühimikku, tekitada ultraheli, see levib tühimiku seinani ja peegeldub sealt tagasi. Nüüd tuleb hääle vastu võtta ja leida hääle tagasitulekuks kulunud aeg. Selle järgi saab teada ultraheli allika kauguse tühimiku seinast antud suunas (joon. 212). Nüüd pööratakse seadet veidi ja mõõdetakse uuesti. Selliste mõõtmiste abil saab täpselt kindlaks määrata tühimiku suuruse.



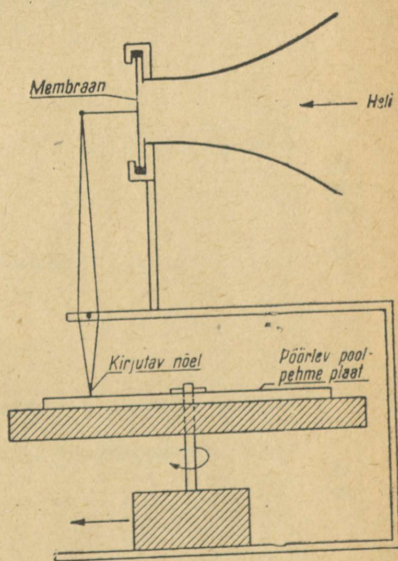
Joon. 212. Ultrahääle peegeldumise abil saab määrata peegeldumispinna kauguse.



Joon. 213. Fonograaf.

102. Hääle üleskirjutamine. Kuulsate kunstnike poolt loodud kunstiaarete säilitamiseks, õppeotstarbeks ja paljudeks teisteks eesmärkideks on vaja häält säilitada pikemaks ajaks. Lühidalt — on tarvis osata häält üles kirjutada. Esialgu kirjutati häält üles fonograafi abil (joon. 213). Fonograaf on seade, mille abil häälevõnkumine muudetakse nõela mehhaaniliseks võnkumiseks. See võnkuv nõel löikab pöörlevale plaadile lainelise põhjaga spiraalse vao. Kui hiljem lasta mööda seda vagu liikuda nõelal, mis on ühendatud membraaniga, siis hakkab viimane võnkuma esialgse hääle sagedusega. Membraan paneb võnkuma õhu, see omakorda aga meie kõrva kuulmenaha ning me kuulemegi häält, mis üles kirjutati.

Tänapäeval kirjutatakse heli üles grammofoniplaatidele (joon. 214), mida siis tehastes mehaanilisel ja elektrilisel teel paljundatakse. Siin ei ole joone põhi laineline, vaid joon ise on looklev. Riistaks, mille abil grammofoniplaadile kirjutatud häält saab uuesti kuuldavaks teha, on grammofon. Grammofoni põhilisteks osadeks on nõel ja sellega ühendatud membraan, mis paneb õhu võnkuma. Tänapäeva moodsate grammofonide ehitus on väga keeruline, seal kasu-



Joon. 214. Hääle üleskirjutamine grammofoniplaadile ja selle reprodutseerimine grammofonil.

tatakse peale ülalnimetatud seadmete veel paljusid elektrilisi seadmeid.

Grammofoni asemel kasutatakse tänapäeval ikka rohkem ja rohkem magnetofone.

Magnetofonis kirjutatakse hääl magnetofonilindile elektrivoolu abil. See meetod on tunduvalt täiuslikum kui eespool kirjeldatud meetodid. Hääl üleskirjutamine magnetofonilindile leiab tänapäeval laialdast rakendamist nii kunstialastes ettevõtetes kui ka koolides ja tööstusettevõtetes.

Harjutus 48. 1. Laeval kasutati mere sügavuse mõõtmiseks kajaloodi. Kui sügav oli meri, kui mere põhjast peegeldunud hääl jõudis laevale tagasi 2,8 sek. pärast väljasaatmist?

2. Elanikud kontrollivad tänapäeval oma kellade õigsust raadiosignaalide järgi. Moskva raadiojaam annab igal täistunnil selliseid signaale. Selle signaali kuues «piiks» kõlab alati täpselt täistunnil. Vanasti seda ei olnud. Tsaari-Venemaal võis Peterburi lähedal kontrollida aega kahurilasu järgi, mis toimus alati keskpäeval. Miks ei ole selline viis enam tänapäeval kasutuses? Kui suure vea tegi kahurist 10 km kaugusel olev kella kontrollija?

3. Kui koputada vasaraga pika toru otsale, siis levib hääl nii mööda metalli kui ka õhku. Kumb hääl jõuab varem toru teises otsas oleva kuulajani?

4. Inimese hääl tekib inimese kurgus olevate häälekurdude võnkumise tulemusena. Kumma laulja, kas soprani või bassi häälekurrud teevad sekundis rohkem võnkeid?

5. Mesilase tiivad võnguvad lennul kiiresti — meekandamiga lennul teeb mesilane tiivadega 300 lööki sekundis, ilma kandamita aga 440 lööki. Kuidas eraldab mesinik üksteisest koormaga ja koormata mesilased?

SISUKORD

Füüsika aine	3
I peatükk. Lihtsamad mõõtmised	
1. Andmeid mõõtude ajaloost	9
2. Pikkusühikud	12
3. Mõõtmise täpsus	13
4. Pikkuste ligikaudne määramine	15
5. Mõõdulint ja mõõdujoonlaud	15
6. Laboratoorne töö nr. 1. Mõõtmine mõõdujoonlauaga	16
7. Nihkkaliiber	19
8. Laboratoorne töö nr. 2. Mõõtmine nihkkaliibriga	21
9. Nooniuse ehituse põhimõte	21
10. Kruvikaliiber	22
11. Laboratoorne töö nr. 3. Mõõtmine kruvikaliibriga	23
12. Ruumalade mõõtmine mensuuri abil	23
13. Laboratoorne töö nr. 4. Keha ruumala mõõtmine mensuuri abil	25
II peatükk. Raskusjõud	
14. Vertikaalsiht	26
15. Horisontaalsiht	27
16. Laboratoorne töö nr. 5. Kehade seadmine vertikaalseks ja horisontaalseks	29
17. Kaal ja kaaluühikud	29
18. Kaalud	30
19. Kaalumise reeglid	34
20. Laboratoorne töö nr. 6. Kehade kaalumine	34
III peatükk. Erikaal	
21. Erikaal	36
22. Erikaalu arvutamine	37
23. Laboratoorne töö nr. 7. Tahkete kehade ja vedelike erikaalu määramine	38
24. Erikaalu väljendamine kilogrammides kuupdetsimeetri kohta ja tonnides kuupmeetri kohta	39
25. Mahukaal	40
IV peatükk. Jõud ja keha mass	
26. Tahke keha omadusi	42
27. Jõud	43
28. Jõud ja deformatsioonid	44
12 Füüsika VI kl.	177

29. Dünamomeeter	45
30. Laboratoorne töö nr. 8. <i>Dünamomeetri skaala valmistamine</i> ...	45
31. Jõu graafiline kujutamine	46
32. Mitme jõu koosmõju	47
33. Keha mass	50

V peatükk. Rõhumine ja rõhk

34. Rõhumisjõud	53
35. Rõhk	55
36. Rõhu arvutamine	56
37. Võtteid rõhu suurendamiseks ja vähendamiseks	58

VI peatükk. Rõhk vedelikkudes ja gaasides

38. Vedelikkude omadusi	61
39. Rõhu edasiandmine vedelikkudes ja gaasides	61
40. Riistad, mille töötamist saab selgitada Pascali seaduse põhjal	62
41. Arvutusi rõhu edasiandmise kohta vedelikkudes ja gaasides	64
42. Hüdrauliline press	65
43. Rõhu mõõtmine vedelikkudes	66
44. Vedeliku kaalust sõltuv rõhk	68
45. Ühendatud anumad	71

VII peatükk. Õhurõhk

46. Õhk	80
47. Õhu kaal	80
48. Galilei katse õhu kaalu määramiseks	81
49. Õhurõhk	83
50. Vee tõusmine torus kolvi järel	84
51. Imipump	85
52. Surupump	86
53. Atmosfääri ehitus	88
54. Õhurõhu suurus ja selle mõõtmine	89
55. Baromeetrid	91
56. Õhurõhu muutlikkus	92
57. Altimeeter	96
58. Gaaside kokkusurutavus	98
59. Surugaaside kasutamine	99
60. Õhutihendusump	102
61. Õhuhõrenduspump	103
62. Manomeetrid	104

VIII peatükk. Vedelikku või gaasi asetatud kehale mõjuvad jõud

63. Üleslüke vedelikes	108
64. Laboratoorne töö nr. 9. <i>Vedelikku asetatud kehale mõjuva üleslükke uurimine</i>	111
65. Arhimedese seadus	111
66. Kehade ujumine	114
67. Laboratoorne töö nr. 10. <i>Keha ujumise tingimuste uurimine</i> ...	116
68. Veetranspord	117
69. Eriotstarbelisi laevu	120
70. Uppunud laevade ülestõstmine	123
71. Üleslükkejõule põhinevaid seadmeid	125
72. Üleslüke gaasides	127

73. Õhupallid	128
74. Õhupallide kasutamine	128
75. Batüskaaf	130

IX peatükk. Mehhaaniline liikumine

76. Mehhaaniline liikumine	134
77. Sirgjooneline ja kõverjooneline liikumine	136
78. Ühtlane ja mitteühtlane liikumine	136
79. Perioodiline liikumine	138
80. Laboratoorne töö nr. 11. <i>Pendli võnkeperioodi määramine</i> ...	142
81. Pendli võnkumise seadused	143
82. Aja mõõtmine	144
83. Ühtlase liikumise kiirus	146
84. Keskmine kiirus	148
85. Hõõrdumine	149
86. Hõõrdeseadused	150
87. Hõõrdetegur	151
88. Hõõrdumine veeremisel	152
89. Hõõrdumise tähtsus looduses ja tehnikas	153
90. Laboratoorne töö nr. 12. <i>Hõõrdeteguri määramine</i>	155
91. Kehade inerts	156
92. Kehade vastastikune mõju	160
93. Reaktiivliikumine	162

X peatükk. Hääli

94. Hääle tekkimine	165
95. Hääle levimine	167
96. Hääle levimise kiirus	167
97. Hääle peegeldumine	169
98. Hääle liigitamine	169
99. Heli kõrgus	170
100. Resonants	171
101. Ultraheli	171
102. Hääle üleskirjutamine	175

А. Эммо, А. Кыверъялг, В. Паю,
Р. Сиирак

ФИЗИКА ДЛЯ VI КЛАССА

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja K. Kallaste

Kunstiline toimetaja H. Keigo

Tehniline toimetaja O. Kasemets

Korrektorid A. Kiho ja L. Rosin

Ladumisele antud 27. III 1961. Trükkimisele antud 13. V 1961. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 11,25. Arvutuspoognaid 10,86. Trüktiarv 13 000. Tellimise nr. 578. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn. Pikk t. 54/58.

Hind 22 kop.

22 kop.

A-23347

TÜ RAAMATUKOGU

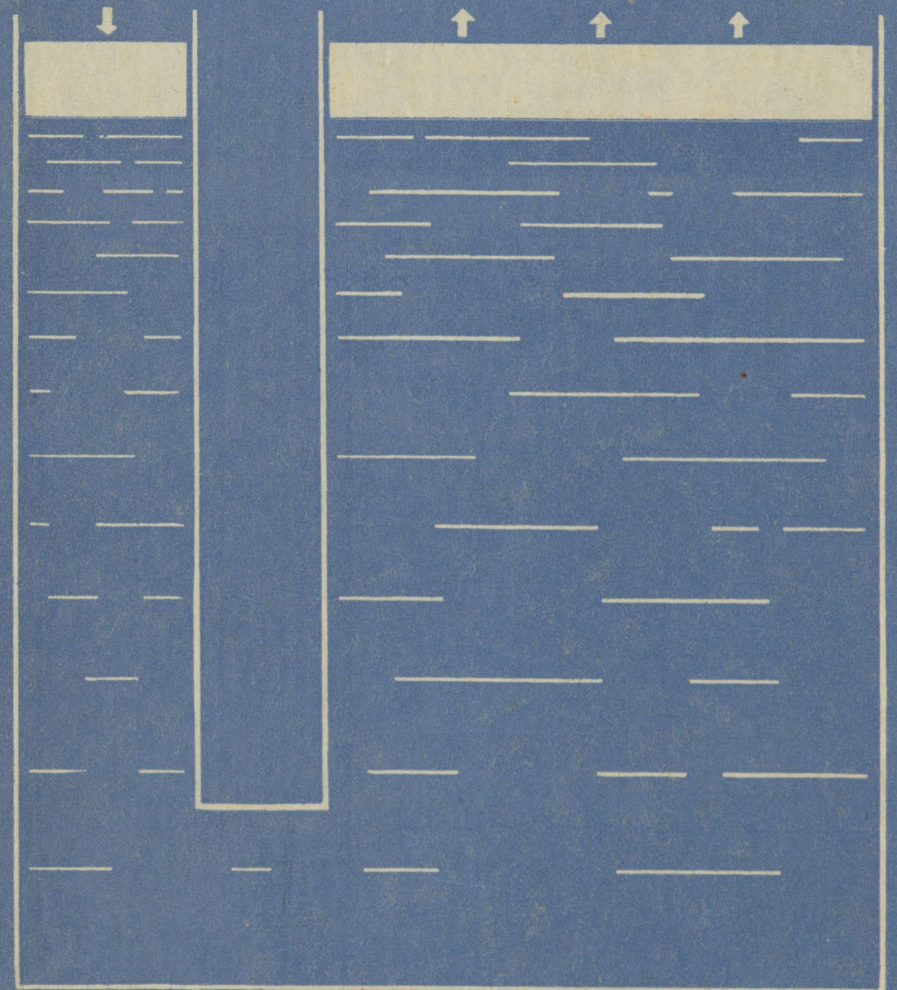


1 0300 00496404 7

A.EMMO, A.KÕVERJALG, V. PAJU, R. SIIRAK

FÜÜSIKA

VI KLASSILE



FÜÜSIKA

A-23347

22 kop.

