

20

43

Insener Rein Rava

TEHNILINE FÜÜSIKA

KIRJASTUS K.-K. «OSKUSRAAMAT»

TALLINN 1938

A-11111 II

Insener REIN RAVA

TEHNILINE FÜÜSIKA

Kirjastus-Kooperatiivühing «OSKUSRAAMAT»
TALLINN, 1938

Keeleline korrektor Ernst Nurm.

2



126 827

O.-ü. „Vaba Maa” trükk, Tallinnas 1938.

TARTU ÜLIKOOL
Füüsika Instituudi
Raamatukogu

Eessõna.

Käesolev «Tehniline füüsika» on esimene katse koostada meie tööstuslikkudele keskkoolidele nende õppekava kohast füüsika õpperaamatut. Vastavalt kehtivale õppekavale on selles raamatus käsitlemist leidnud ainult osa tavalisest füüsika kursusest; väljajäänud osad — mehaanika ja elektrotehnika — tulevad tööstuslikes keskkooles käsitlemisele vanemates klassides eriõppeainetena.

Kuna füüsika on tehniliste teadmiste üheks aluseks, loodan, et käesolev raamat ei jää üksi õpperaamatuks tööstuslike koolide õpilastele, vaid kujuneb neile tulevikus õppinud töölistena ja meistritena tegutsemisel ühtlasi ka käsiraamatuks, kust vajaduse korral võiks meelde tuletada neid küsimusi, mis vahepeal osaliselt ununenud. Et raamat vastaks võimalikult rohkem oma eesmärgile, on eriti püütud rõhutada füüsikaliste nähete rakendamist tehnikas. Selles mõttes on raamatusse mahutatud ka rohkesti arvulisi näiteid ja ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks.

Raamatu koostamisel on kasutatud peamiselt järgmist kirjandust:

V. Valkola, Teknillinen fysiikka.

Wiegner — Stephan, Technische Physik.

F. Deming — J. Nerden, Science in the World of Work.

E. Maltenek — M. Kesküla, Füüsika õpperaamat keskkoolile.

Raamatu käsikirja vaatas läbi Tallinna Teknikumi direktor hr. E. Nurmiste, kellele võlgnen suurimat tänu asjalikkude näpunäidete ja märkuste eest.

R. Rava.

Sissejuhatus.

1. Tehnika ja loodusteadus. Tehnika ja loodusteadus on teineteisega tihedalt seotud. Loodusteaduse ülesandeks on looduse nähtuste tundmaõppimine ja looduse seaduste avastamine. Tehnika eesmärgiks on looduse nähtuste ja seaduste praktiline kasutamine ja looduse jõudude töölerakendamine, et võimaldada inimesele suuremaid saavutusi vähema isikliku jõu kulutusega. Kuna loodusjõudude töölerakendamise eeltingimuseks on vastavate loodusseaduste põhjalik tundmine, siis on ka loodusteaduse tundmine tehniliste teadmiste ja oskuste üheks tähtsamaks aluseks.

Laiaulatuseline loodusteadus jaguneb omakorda mitmeks eriteaduseks (näiteks astronoomia, zooloogia, botaanika, mineraloogia, füüsika, keemia jt.), millest igaüks vaatleb ainult teatud liiki loodusnähteid. Tehnika seisukohalt on tähtsamateks loodusteaduse harudeks füüsika ja keemia, sest neile teadustele ongi suurel määral rajatud kogu tänapäeva tehnika. Nii põhjenevad füüsikaseadustele jõumasinad ja liiklemisvahendid, elektrotehnika, mehaaniline tehnoloogia ning hulk teisi alasid tehnika rohkearvulistest harudest.

2. Füüsikalised ja keemilised nähted. Looduses leiduvate ainetega toimuvad ühel või teisel põhjusel mitmesugused muutused. Näiteks vee kuumutamisel hakkab vesi keema ja muundub auruks; niiskes kohas seisev rauatükk läheb aja jooksul roostesse; elektrivoolu läbimisel soojenevad juhtmed jne.

Igasuguseid muutusi meid ümbritsevate kehadega nimetatakse loodusnähteks. Oma iseloomult jagunevad

kehadega toimuvad loodusnähted kahte rühma: füüsikalised nähted ja keemilised nähted.

Füüsikaliseks nähteks nimetatakse seesugust loodusnähet, mille tagajärjel muutub keha kuju, olek või asukoht, kuid sealjuures keha aineeline koosseis jääb endiseks. Nii näiteks vasklati soojendamisel esinev loodusnähe – metalli paisumine – kuulub füüsikaliste nähete liiki, sest selle tagajärjel ei muutu vastava keha – vasklati – aineeline koosseis, vaid muutub ainult tema pikkus. Füüsikalised nähted on samuti ka ratta veeremine, vee jäätumine, auru veeldumine, kella helisemine, pendli võnkumine jne. Füüsikas käsitletakse ainult füüsikalisi nähteid ja selgitatakse, kuidas ja mispärast need toimuvad.

Keemiliste nähete puhul muutub aga alati vastava keha aineeline koosseis. Näiteks puidu põlemisel muundub puit tuhaks ja mingisuguseks gaasiks; selle loodusnähte tagajärjeks oli puidu ainelise koosseisu täielik muutumine. Keemilised nähted on ka lubjapõletamine, tooresraua valmistamine maakidest jne. Keemiliste nähete uurimine kuulub keemia valdkonda.

Sagedasti toimuvad füüsikalised ja keemilised nähted käsikäes. Näiteks elektrielemendi näpside ühendamisel juhtmega läbib juhtmest elektrivool. Elektrivoolu läbimine juhtmest on füüsikaline nähe, sest selle tagajärjel ei muutu juhtme aineeline koosseis. Küll aga toimuvad elemendi sismuses keemilised nähted, mille tagajärjel muundub elemendis leiduv tsink mingisuguseks teiseks aineks. Tuletiku süütamiseks hõõrutakse tiku pead vastu karbi külge; sellele füüsikalisele nähtele järgneb keemiline nähe – tuletiku süttimine ja põlemine. Toodud näited selgitavad, et vahel on füüsikalised ja keemilised nähted teineteisega tihedalt seotud: üks nähe järgneb teisele või esinevad mõlemad koguni üheaegselt.

3. Füüsika seadused. Füüsikaliste nähete selgitamiseks kasutatakse vaatlust, s. t. jälgitakse looduses toimuvat

füüsikalist nähet. Alati ei anna vaatlus küllaldaselt tulemusi, sest paljud nähted toimuvad kas liiga kiiresti või vaatlamiseks ebasoodsatel tingimustel. Seesuguste keerukamate looduse nähete tundmaõppimiseks korraldatakse katseid, s. t. vastav loodusnähe kutsutakse kunstlikult esile selle nähte jälgimiseks küllalt soodsates tingimustes. Vaatluse ja katse varal selguvad füüsikalised nähted ja nende põhjused.

Neid kehade omadusi ja füüsikaliste nähete tagajärjel toimunud muutusi, mida saab mõõta, nimetatakse füüsikalisteks suurusteks. Füüsikalised suurused on seega keha pikkus, kaal, temperatuur jne. Ainult füüsikaliste nähete ja nende põhjuste tundmine ei rahulda tehnika nõudeid, vaid tarvilik on veel vastavate füüsikaliste suuruste arvulise vahekorra selgitamine. Näiteks metallvarda soojendamisel suureneb selle pikkus. Vastavad füüsikalised suurused käesoleval juhul on varda soojusaste (temperatuur) ja varda pikenemine. Et füüsikalisi nähteid, käesoleval korral varda pikenemist, kasulikult ära kasutada või takistada selle kahjulikku mõju, oleks vaja täpselt ette teada, kui palju pikeneb metallvarras teatud temperatuuri juures. Seesugust füüsikaliste suuruste arvulist vahekorda avaldavad füüsika seadused.

4. Mõõduühikud. Loodusseaduste väljendamiseks on tarvilik füüsikalisi suurusi mõõta, s. t. võrrelda neid teatud mõõduühikuga. Kuigi mõõduühikud on vabalt valitavad, on üldiselt tarvitusel ainult teatud mõõduühikud, mis on seaduslikult kehtima pandud või mille kasutamise kohta teadlased on sõlminud kokkuleppe.

Kõiki mõõduühikuid märgitakse lühiduse pärast teatud kokkulepitud tähisega. Nii tähistatakse näiteks pikkuse mõõduühikut meetrit tähega m , elektrivoolu tugevuse mõõduühikut amperit tähega A , raskuse mõõduühikut grammi tähega g jne.

Valitud mõõduühikute kasutamisel tekib vajadus algühikust suuremate ja vähemate mõõduühikute järele. Väga hõlpus käsitamiselt on detsimaal- ehk meetermõõdusüsteem,

mis on ka tehnikas üldiselt tarvitusel. Selles süsteemis on iga tuletatud mõõduühik 10, 100, 1000 või 1000000 korda suurem või väiksem algühikust. Tuletatud mõõduühiku tähiseks on algmõõduühiku tähisele ettelisatav lisatähis. Need lisatähised on järgmised:

10 korda suuremale ühikule – deka- (lühendatult D)				
100	”	”	”	– hekto- (” h)
1 000	”	”	”	– kilo- (” k)
1 000 000	”	”	”	– mega- (” M)
10 korda väiksemale ühikule – detsi- (lühendatult d)				
100	”	”	”	– senti- (” c)
1 000	”	”	”	– milli- (” m)
1 000 000	”	”	”	– mikro- (” μ^1)

Vastavalt neile tähistele kujunevad tuletatud mõõduühikud näiteks järgnevalt:

- 1 km = 1 kilomeeter, s. o. 1000 meetrit
- 1 mA = 1 milliamper, s. o. $1/1000$ amprit
- 1 cg = 1 sentigramm, s. o. $1/100$ grammi jne.

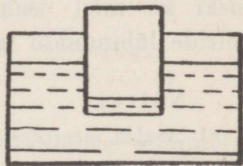
¹⁾ μ = kreeakeelne täht. Hääldatakse: müü.

Kehade füüsikalised üldomadused.

5. Keha ja aine. Füüsiliseks kehaks nimetatakse iga looduses leiduvat eset. Iga keha koosneb ainest (materiasist); paljud kehad koosnevad koguni mitmest ainest. Kehad on näiteks kruvi, laud, pudel jne; aga soojus, valgus, heli jne. ei ole füüsilised kehad, vaid teatud kehadega toimunud muutuste (füüsikaliste nähete) tulemus.

Igal füüsilisel kehal on teatavad omadused, mis iseloomustavad antud keha. Mõningad neist omadustest, nagu ruumitarvitus, kaal, jagatavus ja teised, on ühised kõigile kehadele. Seesuguseid ühiseid omadusi, mida evivad eranditult kõik kehad, nimetatakse kehade füüsikalisteks üldomadusteks.

Iga aine põhiomaduseks on ruumitarvitus ja läbitungimatus, s. t. iga aineosake võtab enda alla teatud osa ruumist ja samale kohale, kus juba asetseb üks aineosake, ei saa enam paigutada mõnda teist aineosakest. Näiteks naelalöömisel seinatõrjub nael puiduosakesed kõrvale; kui laseme veeanumasse mõne eseme, tõuseb veepind, sest ese tõrjus vedelikuosakesed kõrvale. Ka õhk kui füüsiline keha vajab ruumi: kui asetada kummulikeeratud klaas vette (joonis 1), siis tungib klaasi ainult õige vähe vett, sest ka klaasis olev õhk vajab ruumi.

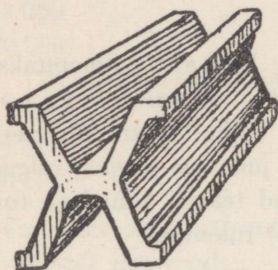


Joonis 1.

Kuna iga keha koosneb ainest, võtab ka iga füüsiline keha enda alla teatud ruumi. Keha ruumala on määratud

pikkuse, laiuse ja kõrguse (paksuse, sügavuse) kaudu; neid keha mõõteid mõõdetakse pikkusühikutega.

6. Pikkuse mõõduühikud. Pikkuse mõõduühikuks on meeter (tähis: m), mille pikkuseks oli mõeldud üks kümnemiljonendik maakera Pariisi veerand-meridiaani pikkusest. Hilisemad täpsemad mõõtmised tõendasid, et Pariisi veerand-meridiaani



Joonis 2.

on tõeliselt pikem kui 10 000 000 m. Nüüd loetakse meetri pikkuseks metallide plaatina ja irüdiumi sulamist valmistatud Pariisis alalhoidaval meetri algkujul (joonis 2) märgitud kahe kriipsu kaugust temperatuuri 0° juures.

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 1000 \text{ mikroomi } (\mu).$$

Inglismaal ja Ameerikas tarvitatakse pikkusühikud on toll, jalg ja jard.

$$1 \text{ jalg} = 12 \text{ tolli } (1' = 12'')$$

$$1 \text{ jard} = 3 \text{ jalga}$$

$$1'' = 25,4 \text{ mm}; 1' = 30,48 \text{ cm ja } 1 \text{ jard} = 0,9144 \text{ m.}$$

Olgugi et meil seaduslikult kehtib meetrimõõdustik, on siiski ka meil osaliselt tarvitusel inglise mõõdud, näiteks poltide läbimõõdu märkimiseks.

Näiteid:

1. Avalda meetrites 8 mm.

$$1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m.}$$

2. Avalda sentimeetrites 3 jalga 5 tolli.

$$3' 5'' = 3 \cdot 12 + 5 = 41'', \text{ sest } 1' = 12''$$

$$1'' = 2,54 \text{ cm}$$

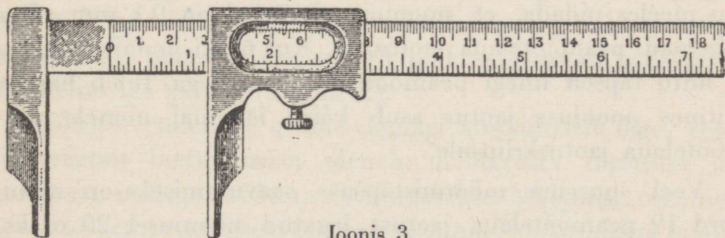
$$41'' = 41 \cdot 2,54 = 104 \text{ cm.}$$

Ulesandeid:

1. Avalda detsimeetrites a) 23 cm; b) 18 mm; c) 3 m.
2. Avalda millimeetrites a) 8 m 7 dm 8 cm 3 mm; b) 3 m 51 cm; c) 10 m 1 mm.
3. Avalda millimeetrites järgmiste poltide läbimõõdud: a) $\frac{3}{4}''$; b) $1\frac{1}{4}''$; c) $\frac{3}{16}''$; d) $2\frac{1}{2}''$.
4. Mitu meetrit on 5 jardi 3 jalga 6 tolli?
5. Mitu m niiti on 200-jardilisel rullil?

7. Pikkuse mõõtmine ja mõõteriistad. Harilikult kasutatakse mõõtmiseks terasest mõõtelinte, millel on jaotused peal. Jaotuskriipsude tihedus on piiratud, sest liiga tihedaid jaotusjooni ei suuda silm eraldada. Katsete varal on selgunud, et kõige väiksem vahe võiks olla 1 mm. Eelöeldust selgub, et harilikkude mõõtelaudade täpsus on seega samuti umbes 1 mm, kuna millimeetri murdosad tuleks hinnata silma järgi.

Lühemate pikkuste täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse nihkkaliibrit ehk varbsirkli (joonis 3). Mõõtmise

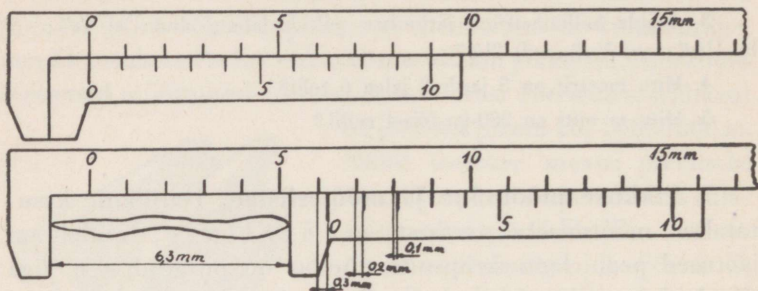


Joonis 3.

täpsuse suurendamiseks varustatakse nihkkaliiber abimõõtelauga – nooniusega, mille abil saab mõõta peamõõtelaua jaotuste murdosi.

Nooniuseks nimetatakse peamõõtelaua külge liikuvalt asetatud liistukest, millel on samuti jaotused, kuid väiksema vahega: peamõõtelaua 9 jaotusele vastab nooniusel 10 jaotust. Kui peamõõtelaua jaotus on 1 mm, siis on seega iga

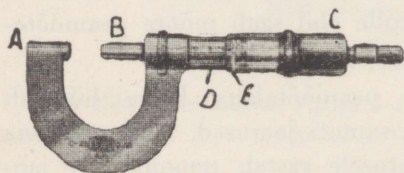
nooniuse jaotus 0,9 mm ehk 0,1 mm võrra lühem (joonis 4). Et antud keha pikkust mõõta, asetatakse mõõdetav ese nihkkaliibri harude vahele, nii et noonius oleks surutud



Joonis 4.

vastu eset. Nüüd loetakse peamõõtelaualt täismillimeetrite arv – käesoleval juhul 6. Millimeetri murdosa mõõtmiseks loetakse, mitmes nooniuse jaotuskriips ühtub mõne peamõõtelaua jaotuskriipsuga. Vastav nooniuse jaotus näitabki kümnendikke millimeetreid. Käesoleva näite korral on eseme pikkus 6,3 mm. Selle tõestus selgub joonise 4 alumisel osal, kui mees pidada, et nooniuse jaotused on 0,1 mm võrra lühemad peamõõtelaua jaotustest. Kui ükski nooniuse jaotus ei ühtu täpselt ühegi peamõõtelaua jaotusega, tuleb lugeda, mitmes nooniuse jaotus asub kõige lähemal mõnele peamõõtelaua jaotuskriipsule.

Veel suurema mõõtmistäpsuse saavutamiseks on mõnikord 19 peamõõtelaua jaotust jagatud nooniusel 20 osaks; nüüd saab mõõta täpsusega $\frac{1}{20}$ ehk 0,05 mm.



Joonis 5.

Väikesi pikkusi veel suurema täpsusega mõõdetakse mikromeetri abil (joonis 5). Mikromeeter koosneb raamist A ja selles liikuvast vardast ehk mikromeetrist

kruvist *B*. Liikuva varda nihutamiseks telje sihis keeratakse pööratavat käepidet *C*. Varras *B* on varustatud kruvilõikega (joonisel pole näha), mille tõus olgu näiteks 1 mm. Seega keerates liikuvat varrast üks tiir, nihkub *B* ots edasi 1 mm võrra, viie tiiru korral 5 mm jne. Varda otsa edasinihkumise täismillimeetrite arv loetakse mikromeetri raami mõõtelaualt *D*, sest pööratav käepide *C* nihkub edasi ühes varda *B*-ga. Kui aga käepidet pöörata osa tiirust, nihkub varda ots edasi millimeetri mürdosa võrra ja seda rohkem, mida enam varrast pööratakse. Tiiru osade lugemiseks jagatakse käepideme vasakpoolse osa übermõõt näiteks sajakaks võrdseks osaks – astmik *E*. Kui keerata käepidet astmiku *E* ühe jaotuse võrra, nihkub varda *B* ots edasi ühe sajandiku (0,01) mm võrra, kee- rates viisteist jaotust, nihkub varda ots 0,15 mm võrra jne.

Keha pikkuse mõõtmiseks asetatakse mõõdetav ese mikromeetri raami ja liikuva varda otsa vahele ja keeratakse liikuva varda ots tihedalt vastu eset. Nüüd loetakse täismilli- meetrite arv mõõtelaualt *D*, kuna sajandikud mm loetakse mõõtelaualt *E*.

Kuna mikromeetri kruvi tõus võib olla väga mitmesugune (harilikult 0,5 või 1 mm), tuleb enne mikromeetri kasutamist alati kindlaks määrata, kui suurele pikkusele vastab pööratava käepideme iga jaotus (astmik *E*).

Mõõtmise tulemus ei ole kunagi absoluutselt õige, sest mõõteriistalt loetav mõõt oleneb mõõteriista täpsusest ja hoolsusest, millega mõõtmist toimetatakse. Mõõtmise tulemus oleneb ka temperatuurist, sest temperatuuri kõikumisega muu- tub ka mõõdetav pikkus. Harilikult on mõõteriistad valmis- tatud nii, et nad näitavad õigesti temperatuuril $+20^{\circ}\text{C}$. Teissuguse temperatuuri puhul näitab mõõteriist õigesti, kui mõõteriist ja mõõdetav ese koosnevad ühest ja samast ainest (iga aine paisub soojenemisel isesugusel määral; lähemalt peatükis «Soojus»).

Vajalik mõõtmistäpsus ja lubatav mõõtmisviga oleneb sel- lest, milleks antud mõõtu on vaja. Kahe linna vahelise kau-

guse mõõtmisel on tavaliselt küllaldane täpsus 1 km, müüri- ja puidutööde puhul – 1 cm ja harilikkude raudkonstruktsioonide puhul – 1 mm. Täpsete metallitööde puhul on mõõtmistäpsus harilikult 0,1 mm või veelgi suurem. Vahetatavate masinaosade valmistamise täpsus ja seega ka lubatavad kõrvalekaldumised õigest mõõdust olenevad vastava masinaosa liigist ja selle töötlemisviisist.

8. Pindala mõõtmine ja mõõduühikud. Pindala mõõduühik on ruut, mille külje pikkuseks on pikkuse mõõtühik – meeter. Selle ruudu pindala on 1 ruutmeeter (tähis: m^2 ehk qm). Ruutmeetrist väiksemad mõõduühikud on ruutdetsimeeter (tähis: dm^2 ehk qdm), ruutsentimeeter (tähis: cm^2 ehk qcm) ja ruutmillimeeter (tähis: mm^2 ehk qmm).

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

$$1 m^2 = 100 dm^2 = 10\,000 cm^2 = 1\,000\,000 mm^2.$$

Maa-alade mõõtmiseks kasutatav mõõduühik on aar (tähis: a)

$$1 a = 100 m^2$$

ja hektaar (s. t. hektoaar; tähis: ha)

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

Suurte maa-alade mõõduühikuks on ruutkilomeeter (tähis: km^2 ehk qkm).

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

Inglise mõõdustikus on pindala mõõduühikuteks ruutjalg ja ruuttoll.

$$1 \text{ ruutjalg} = 144 \text{ ruuttolli}$$

$$1 \text{ ruutjalg} = 929 cm^2; 1 \text{ ruuttoll} = 6,45 cm^2.$$

Korrapäraste kujundite pindala arvutatakse sellekohaste geomeetriliste valemitega. Ebakorrapäraste kujundite pindala arvutamiseks jagatakse antud pindala korrapärasteks kujunditeks või oonestatakse mõõdetav pind millimeeterpaberile ja loetakse mitu ruutmillimeetrit kujutis sisaldab.

Pindala tähistatakse tähega S. Lihtsamate kujundite pindalad arvutatakse valemitega:

Ruut: $S = a^2$, kus a – ruudu külg.

Ristkülik: $S = l \cdot h$, kus l – alus, h – kõrgus.

Ring: $S = \frac{\pi d^2}{4}$, kus $\pi = 3,14$, d – ringi läbimõõt.

Näiteid:

3. Avalda ruutsentimeetrites 13 dm².

$$1 \text{ dm}^2 = 100 \text{ cm}^2$$

$$13 \text{ dm}^2 = 13 \cdot 100 = 1300 \text{ cm}^2.$$

4. Avalda ruutsentimeetrites 8 ruuttolli.

$$1 \text{ ruuttoll} = 6,45 \text{ cm}^2$$

$$8 \text{ ruuttolli} = 8 \cdot 6,45 = 51,6 \text{ cm}^2.$$

5. Kui suur on poldi ristlõike pindala, mille läbimõõt on 3 cm?

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7,06 \text{ cm}^2.$$

Ulesandeid:

6. Avalda ruutmeetrites a) 8,2 dm²; b) 4,05 ha; c) 14,8 a.

7. Avalda ruutsentimeetrites ruudu pindala, mille külje pikkus on 7".

8. Plekktahvli külgede pikkused on 2 m ja 78 cm. Arvuta pindala.

9. Kui suur on traadi ristlõike pindala, kui traadi läbimõõt on a) 6 mm; b) 3,8 mm; c) 1,2 cm?

10. Toru sisemine läbimõõt on 2". Arvuta toru ristlõike vaba pindala ruutsentimeetrites.

11. Mitu ha on ühes ruutkilomeetris?

9. Ruumala mõõtmine ja mõõduühikud. Ruumala mõõduühikuks on kuup, mille serva pikkus on 1 m. Ruumala mõõduühikut nimetatakse kuup- ehk kantmeetriks (tähis: m³ ehk cbm). Kuupmeetrist väiksemad mõõtühikud on kuupdetsimeeter (tähis: dm³ ehk cdm) ehk liiter (tähis l), kuupsentimeeter (tähis: cm³ ehk ccm) ja kuupmillimeeter (tähis: mm³ ehk cmm).

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 \text{ ehk } 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}; 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3;$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3; 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ mm}^3.$$

Inglise mõõdustikus on ruumala mõõduühikuteks kuupjalg ja kuuptoll.

$$1 \text{ kuupjalg} = 1728 \text{ kuuptolli}$$

$$1 \text{ kuupjalg} = 28,315 \text{ dm}^3; 1 \text{ kuuptoll} = 16,386 \text{ cm}^3.$$

Inglise õõnesmõõdu-ühikuks on gallon.

1 gallon = 4,543 l.

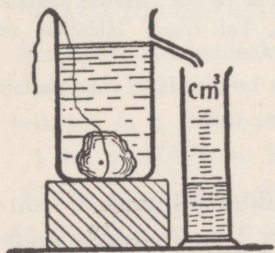
Laevade ruumala mõõduühikuks on registertonn.

1 registertonn = 100 kantjalga = 2,832 m³.

Bruto-registertonnide all mõeldakse kogu laeva sisemuse ruumala, kuna neto-registertonnidega märgitakse kauba jaoks määratud ruumide ruumala.

Korrapäraste kehade ruumala arvutatakse sellekohaste matemaatiliste valemitega.

Väiksema vedelikuhulga mõõtmiseks kasutatakse mõõtklaasi ehk mensuuri, mille jaotused on õiged vedeliku temperatuuril 20° C. Mõõtmise täpsus on seda suurem, mida kitsam on mõõtklaas.



Joonis 6.

Ebakorrapärase kujuga kehade ruumala mõõdetakse keha langetamisega mõne vedelikuga osaliselt täidetud mõõtklaasi. Suuremate kehade ruumala mõõdetakse ülevoolu-anuma ja mõõtklaasi abil (joonis 6), täites enne ülevoolu-anuma vedelikuga.

Võrdlemisi lihtsalt, kuid täpselt saab leida väiksemate kehade ruumala kaalumise teel (vaata § 31).

Keha ruumala märgitakse tähega V. Lihtsamate kehade ruumalad arvutatakse valemitega:

Risttahukas ja silinder: $V = S \cdot h$, kus S – aluse pindala,
h – keha kõrgus.

Kera: $V = \frac{1}{6} \pi d^3$, kus $\pi = 3,14$, d – kera läbimõõt.

Ruumala arvutamise hõlbustamiseks on kasulik teada, et

1 m² pindalaga ja 1 mm paksuse keha ruumala on 1 dm³;
1 km pikkuse ja 1 mm² põikpinnaga traadi ruumala on 1 dm³;
10 m pikkuse ja 1 cm² põikpinnaga varda ruumala on 1 dm³.

Näiteid:

6. Avalda liitrites 580 cm³.

$$1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l.}$$

$$1 \text{ cm}^3 = 0,001 \text{ l.}$$

$$580 \text{ cm}^3 = 580 \cdot 0,001 = 0,58 \text{ l.}$$

7. Mitu liitrit on 24 gallonit?

$$1 \text{ gallon} = 4,54 \text{ l.}$$

$$24 \text{ gallonit} = 24 \cdot 4,54 = 109 \text{ l.}$$

8. Kui suur on plekktahvli ruumala, mille pikkus on 2 m, laius 1,5 m ja paksus 2 mm?

Avaldades kõik mõõdud detsimeetrites, on ruumala

$$V = S \cdot h = 20 \cdot 15 \cdot 0,02 = 6 \text{ dm}^3 \text{ ehk}$$

$$V (\text{kuupdetsimeetrites}) = (\text{pindala ruutmeetrites}) \times (\text{paksus mm-tes}).$$

$$V = (2 \cdot 1,5) \times 2 = 6 \text{ dm}^3.$$

Ülesandeid:

12. Avalda kuupmeetrites a) 2432 l; b) 72400 cm³; c) 158 dm³.

13. Mitu kuupdetsimeetrit on a) 165 kuupjalga; b) 713 kuuptolli?

14. Mitu liitrit on a) 155 gallonit; b) 18,5 gallonit?

15. Mitu kuupmeetrit on laeva kaubaruumi suurus, kui laeva ruumala on 1230 neto-registerttonni?

16. Arvuta plaadi ruumala, mille mõõdud on: a) pikkus 12 m, laius 60 cm ja paksus 2 cm; b) pikkus 4,5 m, laius 1 dm ja paksus 84 mm.

17. Arvuta traadi ruumala, mille a) pikkus on 180 m ja läbimõõt 7 mm; b) pikkus 3800 m ja põiklõige 16 mm².

18. Arvuta raudvarda ruumala, mille mõõdud on: a) pikkus 2 m ja läbimõõt 3 cm; b) pikkus 1200 mm ja läbimõõt 20 mm.

19. Kaupmees A müüb lepalaudu hinnaga kr. 50.— tihumeeter [1 tihumeeter (tähis: tm) = 1m³], kuna kaupmees B pakub sama kvaliteediga laudu hinnaga kr. 1.20 kantjalg. Kumma hind on odavam?

10. Kehade kolm olekut. Füüsilised kehad esinevad kolmes olekus: tahkes, vedelas ja gaasilises.

Tahketel kehaadel on püsiv kuju ja ruumala. Nende kuju muutmisel või osadeks jagamisel peab kasutama teatud jõudu. Tahked kehad on näiteks metallid, kivid, puit jne. Ka nöör ja riie on tahked kehad, olgugi et neil puudub püsiv kuju.

Vedelatel kehaadel on püsiv ruumala, kuid puudub kindel kuju, sest nad voolavad iseenesest laiali. Vedelad kehad on näiteks vesi, elavhõbe, bensiin, masinaõli jne.

Gaasilistel kehadel puudub kindel kuju ja ruumala. Gaasid püüavad igas sihis laiali valguda ja võtta enda alla võimalikult suuremat ruumala. Gaasilised kehad on näiteks õhk, veeaur, hapnik jne. Gaase hoitakse alal anumais, mis piiravad antud gaasihulka igast küljest.

Keha olek ei iseloomusta veel antud keha, sest peaaegu kõik kehad võivad esineda kõigis kolmes olekus. Keha olekut saab soovi korral muuta. Tahked kehad muutuvad vedelaks soojendamisel; samuti saab vedelat keha edasise soojendamisega muuta gaasiliseks. Gaasilise keha vedeldamiseks tuleb teda tublisti jahutada ja tarbe korral kokku suruda (vedel õhk). Vedeldatud gaasiline keha muutub edaspidisel jahutamisel tahkeks kehaks (näiteks süsihapulumi).

Paljudel kehadel toimub üleminek tahkest olekust vedelasse pidevalt. Näiteks raua kuumutamisel muutub raud algul pehmeks ja alles edaspidisel soojendamisel vedelaks. Mõnedel kehadel puudub säärane pidev üleminek (näit. jää).

Teatud keha nimetatakse tahkeks, vedelaks või gaasiliseks olenevalt sellest, missuguses olekus ta esineb harilikel tingimustel, s. t. hariliku temperatuuri ja rõhumise puhul.

Kehade oleku muutmise võimalus omab suurt tehnilist tähtsust. Sellel kehade omadusel põhineb metallide sepitsemine, valamine, keevitamine ja jootmine, vee aurustamine (aurumasinad ja -turbiinid), jahutusseadmed (vedeldatud gaasi aurustamine ja selle auru uuesti vedeldamine), hapnikuvalmistamine õhust jne.

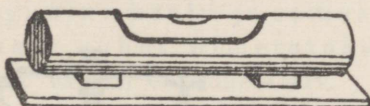
11. Raskus. Nööri otsa riputatud keha tõmbab nööri pingule; mingile alusele toetuv keha rõhub alusele. Nööri läbilõikamise või aluse kõrvaldamise puhul langevad kehad maapinnale, kui nad ei saa toetuda mõnele teisele kehale. Seda kehade omadust nimetatakse raskuseks. Keha raskuse põhjuseks on Maa külgetõmbejõud.

Sihti, milles keha langeb, nimetatakse lood- ehk vertikaalsihiks. Loodsihti määratakse loodi abil, (joonis 7).

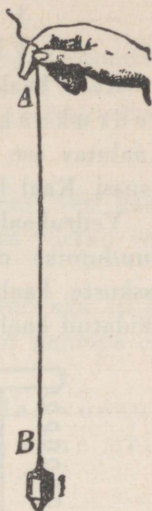
Loodi moodustab nööri otsa seotud väike raske keha, mis langedes tõmbab nööri pingule.

Vedelikkudel puudub kindel kuju. Raskusjõu mõjul paigutuvad vedelikuosakesed nii, et kõik punktid vedeliku pinnal on ühekõrgusel, s. t. ühekaugusel maakera keskpunktist. Rahulikult seisva vedeliku pind on risti loodsihile. Seda sihti nimetatakse rõhtlood- ehk horisontaalsihiks.

Rõhtloodis siht määratakse vesiloodiga (joonis 8). Vesiloodi tähtsaim osa on metall-



oonis 8.



Joonis 7.

kesta asetatud kõver klaastoruke, mis on peaaegu täidetud vedelikuga, nii et torru on jäänud õhumull. Kui vesilood asetseb rõhtloodis pinnal, asetub õhumull toru kõige kõrgemasse kohta, torule tõmmatud kahe kriipsukese vahele. Antud pind on rõhtloodis, kui vesilood tõendab seda vähemalt kahe isesuguse teineteist lõikava vesiloodi asetussihi juures.

Keha raskusjõuks ehk keha kaaluks nimetatakse seda tõmbe- või survejõudu, mida keha avaldab loodsihis kinnitus- või toetuspunktile.

Kaalu mõõduühikuks on gramm (tähis: g). 1 g on keemiliselt puhta vee kaal $+4^{\circ}\text{C}$ juures. Grammist väiksem ühik on milligramm (tähis: mg) ja suuremad ühikud kilogramm ehk kilo (tähis: kg) ja tonn (tähis: t).

$$1\text{ g} = 1000\text{ mg}; 1\text{ kg} = 1000\text{ g}; 1\text{ t} = 1000\text{ kg}.$$

Peale nimetatud mõõduühikute on tarvitusel veel:

$$1\text{ tsentner} = 50\text{ kg}$$

$$1\text{ topeltsentner} = 100\text{ kg}.$$

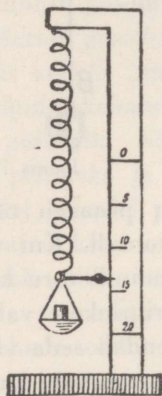
Inglise mõõdustikus on kaalu mõõduühikuteks nael (mitte vahetada endise vene naelaga) ja inglise tonn.

1 nael = 453,6 g

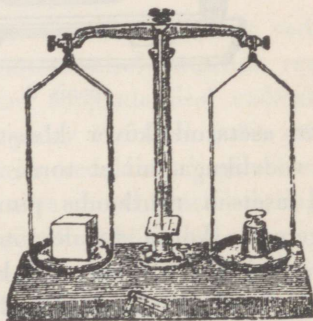
1 inglise tonn = 2240 naela = 1016,06 kg.

Keha kaalu mõõdetakse kaaludega. Kõige lihtsam kaal on vedrukaal, mille peaosaks on spiraalne terasvedru (joon. 9). Kaalutav ese asetatakse vedru alumise otsa külge kinnitatud kaussi. Kaal loetakse astmikult osuti kohalt.

Vedrukaalu hüveks on lihtne ehitusviis ja odavus, kuid puudumiks on ebatäpsus vedru väljavenimisel. Suuremate raskuste kaalumiseks kasutatavad vedrukaalud on joonisel näidatud kaalust erineva ehitusviisiga, kuid sama põhimõttega.



Joonis 9.



Joonis 10.

Kangkaalu (joon. 10) peaosaks on keskelt toetatud ja toetuspunkti ümber vabalt pöörduv kang, mille otstele on riputatud üheraskused kaalukaused täpselt ühekaugusel kangi keskkohast.

1 g täpsusega saab kaaluda igasuguseid raskusi 1–1100 g piirides järgmise vihtide-komplektiga:

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

Näiteid:

Avalda kilodes 5 naela.

1 nael = 0,45 kg. 5 naela = 5 · 0,45 = 2,25 kg.

Ulesandeid:

20. Mitu kilogr. on a) 15 naela; b) 2,5 inglis-tonni; c) 12 tsentnerit?

21. Kui palju kaalub a) 1 mm³ vett; b) 1 dm³ vett ja c) 1 m³ vett?

Koosta 1 mm³, 1 cm³, 1 l ja 1 m³ vee kaalutabel, valides selleks kõige kohasemad kaaluühikud.

12. Erikaal. 5 cm³ vaske kaalub 44,5 g, 5 cm³ vett kaalub aga 5 g; vase kaalu suhe samas ruumalas võetud vee kaaluga on $44,5:5 = 8,9$.

10 cm³ korki kaalub 2 g, 10 cm³ vett kaalub aga 10 g; korki kaalu suhe samas ruumalas võetud vee kaaluga on $2:10 = 0,2$.

Mingi aine kaalu ja samas ruumalas võetud vee kaalu suhet nimetatakse selle aine erikaaluks. Erikaal on nimetu arv.

Kui 1 cm³ vaske kaalub 8,9 g, siis

1 dm³ " " $8,9 \cdot 1000 = 8900 \text{ g} = 8,9 \text{ kg}$ ja

1 m³ " " $8,9 \cdot 1000 = 8900 \text{ kg} = 8,9 \text{ t}$.

Siit järgneb, et erikaal on ühtlasi ka arv, mis näitab, kui palju kaalub

1 cm³ ainet grammides (tähis: g/cm³)

1 dm³ ainet kilogrammides (tähis: kg/dm³ ehk kg/l)

1 m³ ainet tonnides (tähis: t/m³).

Antud aine erikaalu määramiseks tuleks kaaluda täpselt 1 cm³ või 1 dm³ või 1 m³ ainet. Kui on teada keha kaal ja ruumala, leidub erikaal valemist:

$$e = \frac{G}{V} \quad (1)$$

kus: e – erikaal; G – keha kaal grammides, kilogrammides või tonnides ja V – keha ruumala vastavalt kaaluühikutele kuupsentimeetrites, kuupdetsimeetrites või kuupmeetrites.

Eeltoodud valemi teisendamisel saab arvutada keha kaalu, kui on teada erikaal ja ruumala:

$$G = e \cdot V \quad (2)$$

Seda valemit kasutatakse mitmesuguste kehade kaalu arvutamiseks, kui otsene kaalumine pole võimalik või kui vastavat keha pole veel olemaski (näiteks eelkalkulatsioonil materjali kulu arvutamiseks).

Kui on teada keha kaal ja erikaal, arvutatakse keha ruumala valemiga:

$$V = \frac{G}{e} \quad (3)$$

See valem võimaldab arvutada ebakorrapärase kujuga keha ruumala kaalumise abil, kui on teada aine erikaal.

Kuna gaasid on väga kerged võrreldes tahkete ja vedelate kehadega, seepärast ei võeta gaaside erikaalu arvutamisel võrdluse aluseks mitte vee, vaid õhu kaal. Vastavalt sellele on gaasi erikaal arv, mis näitab antud gaasi kaalu suhet sama hulga õhu kaaluga. Teades, et 1 m^3 kuiva õhku kaalub $1,293 \text{ kg}$, saab arvutada ka mõne muu gaasi igasuguse hulga kaalu, kui on teada selle gaasi erikaal. Mõnedes käsiraamatutes on sageli antud gaaside erikaalu asemel gaaside 1 m^3 kaal.

13. Erikaalu määramine. Kehade erikaal arvutatakse eeltoodud valemi 1 abil. Selleks määratakse keha kaal ja ruumala.

Erikaalu arvutamiseks määratakse keha ruumala vahel kaalumise teel. Selleks täidetakse siledade äärtega anum ääreni puhta veega, pannakse anumale tasane plaat üleliigse vee eemaldamiseks kaanena peale ja kaalutakse anum ühes vee ja kaanega. Seejärel asetatakse tundmatu ruumalaga keha anumasse, mille tagajärjel osa vett voolab välja. Nüüd võetakse keha veest välja, pühitakse anum väljastpoolt kuivaks, asetatakse anumale plaat peale ja kaalutakse uuesti. Leitud kaaluvahe näitab keha poolt väljatõrjutud vee kaalu. Olgu selle vee kaal a grammi. Et 1 g vee ruumala on 1 cm^3 , siis on anumast väljavoolanud vee ruumala samuti $a \text{ cm}^3$. Sellest järgneb, et ka keha ruumala on $a \text{ cm}^3$, sest keha tõrjus anumast täpselt niisama palju vett välja, kui suur on keha ruumala. Seega on keha erikaal

$$e = \frac{\text{keha kaal grammides}}{\text{anumast väljavoolanud vee kaal grammides.}} \quad (4)$$

Vedelikkude erikaalu määramiseks kaalutakse tuntud ruumalaga vedeliku hulk ja arvutatakse erikaal valemiga 1. Vedeliku kaalumiseks võib näiteks kasutada mõõtklaasi, millelt on otsekohe loetav vedeliku ruumala. Seda viisi kasutatakse sageli bensiini või õlide erikaalu ligikaudseks määramiseks. Täpsematel vedeliku erikaalu määramistel kasutatakse

sellekohast peene kaelaga pudelit, nn. püknomeetrit, mille mahutavus on täpselt teada. Püknomeeter täidetakse uuritava vedelikuga püknomeetri kaelale tehtud märk-kriipsuni.

Gaaside erikaalu määramine toimub samuti. Gaasi kaalumiseks täidetakse mõnesugune kinnine anum antud gaasiga, kusjuures enne kõrvaldatakse anumast õhk. Anum kaalutakse õhutühjalt ja gaasiga täidetult. Anuma ruumala mõõtmine on lihtne, seda võib teha näiteks veega. Uldiselt on gaaside erikaalu määramine keerukam, sest selleks on tarvili-
kud eriseadeldised.

Mõningate tahkete, vedelate ja gaasiliste ainete erikaalud on antud tabelis 1.

Tabel 1.

Tahkete ainete erikaalud.

Plaatina	21,5	Tsink	7,1
Kuld	19,3	Alumiinium	2,7
Seatina	11,3	Ehituskivid, keskmiselt .	2,5
Hõbe	10,5	Betoon, keskmiselt . . .	2,0
Vask	8,9	Klaas, keskmiselt . . .	2,6
Nikkel	8,6	Rasv	0,9
Raud, keemiliselt puhas	7,86	Jää	0,9
Teras	7,8	Puit: tamm	0,8
Malm	7,3	kuusk	0,5
Inglitina	7,3	Kork	0,2

Vedelikkude erikaalud (15° C puhul).

Elavhõbe	13,6	Vesi, destilleeritud . . .	1,0
Glütseriin	1,2	Piiritus	0,8
Merevesi	1,03	Petrooleum	0,8
Piim	1,03	Bensiin	0,7

Gaaside erikaalud (0° C ja 760 mm rõhumise puhul).

Õhk	1,00	Süsihapugaas	1,53
Lämmastik	0,97	Hapnik	1,11

Atsetüleen	0,91	Valgustusgaas, keskm. .	0,4
Veeaur	0,62	Vesinik	0,07

1 m³ õhku kaalub 1,293 kg.

Näiteid:

10. Rauatüki kaal on 156 g ja ruumala 20 cm³. Leia erikaal.

$$e = \frac{G}{V} = \frac{156}{20} = 7,8.$$

11. Kui palju kaalub raudlatt, mille pikkus on 2 m, laius 10 cm ja paksus 6 cm?

Võttes lati mõõdud detsimeetrites, on lati ruumala

$$V = 20 \cdot 1 \cdot 0,6 = 12 \text{ dm}^3.$$

Lati kaal

$$G = e \cdot V = 7,8 \cdot 12 = 93,6 \text{ kg}.$$

12. Kui palju kaalub 2 km pikkune vasktraat, mille põikpind on 10 mm²?

1 km pikkuse ja 1 mm² põikpinnaga traadi ruumala on 1 dm³. Seega kõnesoleva traadi ruumala on

$$V = 2 \cdot 10 = 20 \text{ dm}^3.$$

Traadi kaal $G = e \cdot V = 8,9 \cdot 20 = 178 \text{ kg}.$

13. Kui suur on 10 kg petroleumi ruumala?

$$V = \frac{G}{e} = \frac{10}{0,8} = 12,5 \text{ l}.$$

14. Kui palju kaalub 150 l hapnikku?

Hapniku erikaal on 1,11, s. t. ta on 1,11 korda raskem kui õhk. 1 l õhku kaalub 1,293 g. Seega kaalub 1 liiter hapnikku

$$1,11 \cdot 1,293 = 1,44 \text{ g}$$

ja 150 l hapnikku kaalub $150 \cdot 1,44 = 216 \text{ g}.$

Ulesandeid:

22. 44 cm³ seatina kaalub 0,497 kg. Leia erikaal.

23. Teraskuul, mille ruumala on 0,1 dm³, kaalub 780 g. Kui suur on terase erikaal?

24. Kui palju kaalub raudplekist tahvel, mille mõõdud on: a) pikkus 2,6 m, laius 1,3 m ja paksus 5 mm; b) pikkus 90 cm, laius 400 mm ja paksus 12 mm?

25. Kui palju kaalub vasklatt, mille mõõdud on: a) 1,4 m × 1,2 dm × 13 mm; b) 80 cm × 7 cm × 10 mm?

26. Kui palju kaalub vasktraat, mille a) pikkus on 150 m, põiklõige 6 mm²; b) pikkus 12 km, põiklõige 25 mm²?

27. Kui palju kaalub raudtraat, mille läbimõõt on 3 mm ja pikkus 80 m?

28. Kui suur on 5 kg raua, vase, malmi ja tsingi ruumala?

29. Mitu kilo bensiini mahub anumasse, mille ruumala on 50 l?

30. Kui palju kaalub elavhõbedasammas torus, mille läbimõõt on 5 mm ja kõrgus 760 mm?

31. Veepaagi kõrgus on 1 m, laius 1,5 m ja pikkus 3 m. Kui palju kaalub paagitäis vett?

32. Kui suur on 1 kg bensiini ja 1 kg elavhõbeda ruumala?

33. a) Pudel kaalub tühjalt 21 g, veega täidetult 71 g ja bensiiniga täidetult 56 g. Kui suur on bensiini erikaal?

b) Pudel kaalub tühjalt 32 g, happega täidetult 90 g ja veega täidetult 61 g. Leia happe erikaal.

34. Kui suur on 10 kg õhu ruumala?

35. Kui palju kaalub a) 80 l atsetüleen ja b) 300 m³ valgustusgaasi?

36. Mitu korda on õhk veest kergem?

14. Erimaht. Kuna vase erikaal on 8,9, siis on 1 g vase ruumala

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{1}{8,9} = 0,112 \text{ cm}^3.$$

Samuti on ka 1 kg vase ruumala 0,112 dm³ ja 1 t vase ruumala 0,112 m³.

Aine ühe kaaluühiku ruumitarvitust nimetatakse selle aine erimahuks. Vastavalt valitud kaaluühikule – gramm, kilogramm, tonn – näitab erimaht aine ruumala kuupsentimeetrites, kuupdetsimeetrites või kuupmeetrites. Erimaht on erikaalu pöördarv.

15. Jagatavus. Molekulid ja aatomid. Kõiki kehasid saab jagada vähemateks osadeks, kasutades selleks näiteks nuga, haamrit, viili või mõnda muud tööriista. Saadud väikesi osi võib näiteks uhmris või veskis omakorda veel väiksemateks osadeks jagada, kuni saadakse õige väikesed kübemekesed (jahu, tolm) sellest ainest, millest koosnes keha. Eriti väikesteks osadeks lagunevad tahked kehad lahustumisel vedelikudes. Nii värvib mõne värvaine (fuksiin) väike kübemeke suure hulga vett.

Ainet ei saa jagada lõpmatuseni, vaid sellel jagatavusel arvatakse olevat teatav piir. Oletatakse, et aine koosneb väga väikestest osakestest, mida ei saa mehaanilisel teel enam jagada väiksemateks osadeks. Kõige väiksemat aine osakest

nimetatakse molekuliks. Et molekulid on jagamatud, siis oletatakse ka, et molekuli ruumala on püsiva suurusega. Aga kehade ruumala pole teatavasti püsiva suurusega, kuna temperatuuri tõusuga suureneb kehade ruumala ja temperatuuri vähenemisega ning kokkusurumisega väheneb kehade ruumala. Säärast keha ruumala muutumist seletatakse oletusega, et keha paisumisel kaugenevad molekulid üksteisest, ruumala vähenemisel aga liginevad molekulid üksteisele.

Molekulid on väga väikesed ja silmale nägematud isegi kõige paremas mikroskoobis. Molekulide väiksusest annavad ettekujutuse järgmised nähted: kullast on taotud plaate paksusega $0,1 \mu$ ($0,0001 \text{ mm}$), s. t. 10000 säärast plaati asetatult üksteise peale annaksid paksuse 1 mm ; tilk õli veepinnal valgub niivõrd laiali, et tekkinud õlikihi paksus on ainult $0,0005 \mu$; kullast plaadi ja õlikihi paksuse moodustab vähemalt üks kiht molekule. Mitmesugused muud nähtused ja arvutused põhjustavad arvamist, et molekulide läbimõõt on ainult mõni kümnetuhandik mikrooni.

Keemilised nähted tõendavad, et teatud tingimustel laguneb üks aine mitmeks uueks aineks, millel on sootuks uued omadused ja pole midagi ühist esimese ainega. Kui näiteks juhtida veest läbi elektrivoolu, lagunevad veemolekulid kaheks gaasiliseks aineks – vesinikuks ja hapnikuks. Keemilisel teel on seega võimalik molekule jagada nendeks aineteks, millest molekulid koosnevad. Ainete keemilisel teel saadud kõige väiksemaid osi nimetatakse a a t o m i t e k s.

Viimase aja teaduslike uurimuste põhjal arvatakse, et ka aatom ei ole veel aine kõige väiksem osake. Oletatakse, et aatom koosneb positiivse elektriga laetud aatomituumast, nn. protoonist, mille ümber tiirlevad negatiivse elektriga laetud elektroonid. Aatomite purunemisel arvatakse vabanevat määratu hulk energiat, millist asjaolu loodetakse tulevikus praktiliselt kasutada.

16. Urbsus. Lihtne katse tõendab, et paljud ained, nagu puit, sool, liiv ja mitmed teised, imevad endasse vett, kuigi vastava keha ruumala sealjuures ei suurene. Samuti on teada, et kokkusurumisel väheneb kehade ruumala. Sellest järgneb, et kehad pole kogu oma ruumalas ainega täidetud, vaid üksikute aineosakeste vahele jäävad teatava suurusega vahed. Paljudel ainetel, nagu käsna, korgil ja teistel on need tühemed isegi silmaga nähtavad. Neid tühemeid kehas, mis pole ainega täidetud, nimetatakse urveteks ehk poorideks.

Urbsust võib tähele panna ka vedelikkude juures. Segades 1 l piiritust 1 l veega, on saadud segu ruumala väiksem kui 2 l. Seletatav on see sellega, et piirituse molekulid asusid vee urvetesse ja ümberpöörduksid.

Urbsus on üksikutel kehadel erinev. Klaas on nii tihe, et sealt ei pääse läbi ei gaaside ega vedelikkude molekulid. Metallid lasevad vähesel määral läbi suure rõhu all olevaid gaase kui ka vedelikke. Õõnsate metallosade seinte tihedust proovitakse just sellega, et surutakse vastava osa õõnsusesse vett suure rõhu all. Ebatihedates kohtades ilmuvad masina-osa välispinnale veepiisakesed.

Kehade urbsust kasutatakse vedelikkude puhastamiseks neis leiduvaist kõrvalaineist. Kurnamisel ehk filtreesimisel pääsevad vedelikutilgakesed läbi kurna (filtri) urvete, kuna kõrvalained läbi ei pääse. Kõige lihtsam kurn on filterpaber. Tehnikas kasutatakse kurnadena sütt, liiva ja teisi aineid.

Kurnamisega saab vedelikkudest kõrvaldada ainult neis hõljuvaid kõrvalaineid. Vedelikus lahustunud aineid kurnad ei eralda.

17. Kohesioon. Tahkekehade purustamiseks või kuju muutmiseks on tarvilik teatav jõud. Sellest järgneb, et keha üksikute molekulide vahel valitseb mingi sisemine jõud, mis hoiab molekulide koos. Seda molekulide vahel mõjuvat jõudu nimetatakse kohesiooniks.

Kohesioon on seda suurem, mida ligemal asuvad üksikud molekulid üksteisele. Tahketel kehal on kohesioon nii suur, et keha seisab kindlalt koos. Vedelikkude kohesioon on hulga väiksem. Gaasidel puudub kohesioon üldse; gaaside üksikutel molekulidel on koguni tung üksteisest kaugeneda ja seepärast püüavadki gaasid enda alla võtta võimalikult suuremat ruumala.

Molekulidevaheline kooshoidejõud avaldab oma mõju ainult väga väikesel kaugusel. Lõhutud keha kokkupanemisel ei liitu üksikud osad murdepinnal, sest harilikult ei saa molekulide enam üksteisele nii lähedale asetada, nagu nad olid enne, ja seega ei saa kohesioon mõjule pääseda. Küll aga hakkavad üksteise külge tugevasti kinni näiteks hästipoleeritud klaasplaadid, kui üks plaat nihutada teisele nii, et nende vahele ei jää õhku.

Tahkete kehade kohesioon evib tehnikas suurt tähtsust, sest sellest oleneb materjalide lubatud koormatus: mida suurem on kohesioon, seda suurem on materjali tugevus ja seda suuremat jõudu talub vastav keha ilma purunemiseta. Kohesiooni suurus määratakse materjalide proovimise laboratooriumides (meil on selleks asutatud Tallinnasse Riiklik Katsekoda) sellekohaseil masinail, mis võimaldavad materjale venitada, painutada, kokku suruda ja väänata väga suure jõuga. Igal materjalil on kohesiooni suurus isesugune: terasel suurem kui malmil, malmil suurem kui tinal jne.

Teatava välise jõu puhul muutub keha kuju, s. t. molekulid nihkuvad üksteise suhtes uude asendisse. Mõnedel kehal on kohesioon nii suur, et jõu mõju lakkamisel tõmbuvad molekulid oma endistesse asenditesse tagasi. Seda kehade omadust nimetatakse vetruvuseks ehk elastsuseks. Mõned kehad, nagu kummi, on väga elastsed. Kuid on ka kehi, millel elastsust polegi ja millel tekivad jäädavad kuju-muudatused isegi väikseima jõu mõjumisel, nagu pehme savi. Vedelikud ja gaasid on täiel määral elastsed. Kui suruda neid kokku mistahes määral, võtavad nad surumise lõpetamisel alati tagasi oma endise ruumala.

Olenevalt kohesioonist jagunevad tahked kehad sitkeiks ja hapraiks. Sitked kehad taluvad suurt kujumuudatust enne purunemist. Sitked kehad on näiteks seatina, vask, pehme raud, kuld, savi jne. Sitkeid metalle saab venitada, taguda ja valtsida. Habrasteks kehadeks nimetatakse sääraseid kehi, mis purunevad juba õige väikese kujumuudatuse puhul. Habraste kehade hulka kuuluvad malm, klaas, karastatud teras, enamik kive jne.

Kohesioon ilmneb ka keha pinna kõvaduses. Kõvaduse suurust mõõdetakse selle takistusega, mida keha avaldab teiste kehade sissetungimisele.

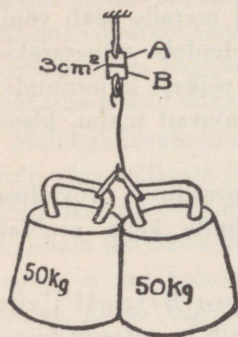
Tehnikas mõõdetakse metallide kõvadust Brinell'i viisi järgi. Selleks surutakse katsetatavasse metalli karastatud teraskuul. Kõvadust hinnatakse jälje suuruse järgi, mille teraskuul jätab metalli pinnale: mida suurem on püsiva survejõu puhul jälje pindala, seda pehmem on metall.

Metalli kõvadus on muutlik ja oleneb peale koosseisu veel valmistusviisist ja temperatuurist. Üldiselt on suur kõvadus seotud suure haprusega ja seetõttu väga kõvast materjalist esemed purunevad kergesti. Seepärast pole väga kõva teras tööriistadeks sobiv. Karastatud terasest tööriistu pehmendatakse paraja määrani veelkordse kuumutamisega ja sellele järgneva pikaldase jahtumisega.

18. Adhesioon. Pliiatsiga kirjutamisel jääb pliiatsiaine paberi-; vettekastmisel jääb käsi märjaks. Need nähted sunnivad oletama, et kahe isesugusest aineksest koosneva keha vahel mõjub nende külgepuutekohas niisamasugune külgetõmbejõud, nagu mõjub ühe ja sama keha molekulide vahel. Seda kahe aine molekulide vahelist külgetõmbejõudu nimetatakse **a d h e s i o o n i k s**.

Tahkete kehade vahel on adhesioon üldiselt väike ja ilmneb ainult siis, kui vastavate kehade pinnad on küllalt siledad (lihvitud ja poleeritud), nii et kummagi keha molekulid saavad asetuda üksteisele võimalikult lähemale (joonis 11).

Ka vedelikkude molekulide vahel esineb adhesioon. Kui segada näiteks piiritust ja vett, õli ja bensiini, ei saa nendest segudest mehaaniliselt eraldada ühte ainet teisest, olgugi



Joonis 11.

et üks vedelikkudest on kergem kui teine. Tingitud on see sellest, et nende vedelikkude vaheline adhesioon on suurem kui kohesioon ja selle tõttu jäävad ühe vedeliku molekulid teise vedeliku molekulide vahele püsima. Mõnede vedelikkude adhesioon on isegi nii suur, et nad segunevad läbi urbse vaheseina. Seda nähet nimetatakse *o s m o o s i k s*. Kui aga segatavate vedelikkude kohesioon on suurem adhesioonist, ei segune vedelikud, vaid, jättes segu rahulikult seisma,

eralduvad üksikud vedelikud (näiteks õli ja vesi).

Tahkete ja vedelate kehade vahel võib tähele panna niisamasugust nähet nagu segunevate ja mittesegunevate vedelikkude juures. Kui kasta klaasi- või rauatükk vette või petrooleumisse, kirjutussulg tindi sisse, vask elavhõbedasse, jääb vedelik tahkekeha külge. Keha märgumine on tingitud sellest, et tahkekeha ja vedeliku vaheline adhesioon on suurem kui vedeliku kohesioon. Tehnikas kasutatakse keha märgumist näiteks tinutamisel, liimimisel jne. Ka tindiga kirjutamine põhineb paberi märgumisel. Kui aga kasta klaas elavhõbedasse või parafiini vette, ei märgu tahkekeha. Sel juhul on vedeliku kohesioon suurem kui vedeliku ja tahkekeha vaheline adhesioon. Parafiin ei märgu ka väävelhappest. Seepärast kaetaksegi vahel akkumulaatorite klaaspurkide ülemised osad parafiiniga, et vältida nende osade märgumist kange happega.

Tahkete kehade lahustumine vedelikkudes on samuti selektatav adhesiooniga. Kui adhesioon lahustatava aine ja vedeliku vahel ületab tahke aine kohesiooni, eralduvad tahkeaine molekulid ja asetuvad vedeliku molekulide vahele. Olenevalt adhesiooni ja kohesiooni suurusest, lahustub aine teatud vede-

likus (näiteks rasv lahustub väävelsüsinikus, šellak lahustub piirituses), aga mõnes teises vedelikus ei lahustu (näiteks rasv ja šellak ei lahustu vees).

Ka tahkete kehade ja gaaside ning vedelikkude ja gaaside vahel mõjub adhesioon, mis avaldub selles, et tahked kehad ja vedelikud imevad endasse (absorbeerivad) sagedasti suurel hulgal gaase. Nii näiteks kloorkaltsium absorbeerib ammoniaaki ja veeauru, keedusool – veeauru, vesi – õhku, vesi – ammoniaaki (nuuskiiritus), väävelhape – veeauru jne. Veeauru absorbeerivaid aineid kasutatakse tehnikas mitmesuguste gaaside kuivatamiseks; neid kasutatakse ka igapäevases elus õhu kuivatamiseks (näiteks talvel asetatakse kahekordsete akende vahele keedusoola või väävelhapet). Tahkekehade absorbeerimisvõimet kasutatakse tehnikas mitmeti, näiteks teatud liiki jahutusseadmeis (vaata § 81).

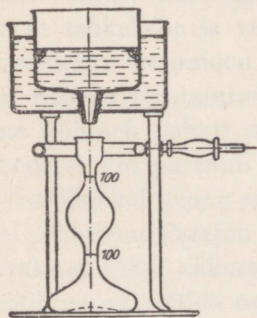
Vedelikkude absorbeerimisvõime oleneb suurel määral temperatuurist: mida madalam on temperatuur, seda rohkem absorbeerivad vedelikud gaase. Seda tõendab lihtne katse: kui soojendada vett klaasanumas, on selgesti näha, kuidas õhumullikesed eralduvad veest.

Vedelikud.

19. Vedeliku sitkus. Vedelikkude kohesioon on üldiselt väike, kuid üksikutel vedelikkudel siiski erinev. Vedelikud, nagu vesi, piiritus, eeter ja teised, on väga väikese kohesiooni tõttu kergestivoolavad, kuna masinaõli, siirup jt. on tunduvalt paksemad ja seega ka palju raskemini voolavad. Seda vedeliku omadust nimetatakse vedeliku sitkuseks (püdeluseks) ehk viskositeediks.

Sitkus evib suurt tähtsust määrideõlide hindamisel. Õli vajalik sitkus oleneb rõhumise suuruselt hõõrduvatel pindadel: mida suurem on rõhk, seda paksem peab õli olema; muidu surutakse õli laagrist või hõõrduvate pindade vahelt välja.

Vedeliku sitkust mõõdetakse viskosimeetriga (joonis 12).



Joonis 12.

Viskosimeeter koosneb silindrilisest anumast, mille põhjas on täpse läbimõõduga kalibreeritud avaus. Proovitav vedelik kallatakse sellesse anumasse. Vedeliku temperatuur tuleb hoida teataval kõrgusel, sest sitkus oleneb suurel määral temperatuurist: mida kõrgem on vedeliku temperatuur, seda vedelam ta on ja seda väiksem on ka sitkus, ning ümberpöörduvalt. Temperatuuri hoidmiseks parajal kõrgusel on sisemise anuma ümber asetatud teine anum, mis täide-

takse veega ja mida saab soojendada. Vee soojendamisega hoitakse proovitava vedeliku temperatuur soovitaval kõrgusel.

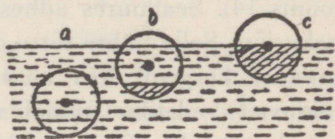
Sitkuse mõõtmine seisab selles, et lastakse vedelikud viskosimeetrist välja voolata selle avause alla asetatud mõõtklaasi ja mõõdetakse vedeliku väljavoolamise aeg. Sitkuse mõõduühikuks on Engleri kraad (tähis: °E). 1° E on see ajavälde, mis kulub 200 cm³ vee väljavoolamiseks viskosimeetrist, kui vee temperatuur on +20° C. Proovitava vedeliku sitkus Engleri kraadides leitakse, kui jagatakse 200 cm³ tundmata sitkusega vedeliku väljavoolu aeg sama hulga vee väljavoolu ajaga. Näide: 200 cm³ vee väljavoolamise aeg on 50 sek.; sama hulga õli väljavoolu aeg on 325 sek. Vedeliku sitkus on seega $325:50 = 6,5^\circ \text{E}$.

Harilikult mõõdetakse sitkust vedeliku temperatuuril +20° C. Paksude vedelikkude sitkust määratakse temperatuuril +50° C või +100° C.

Näitena olgu öeldud, et värtinaõli sitkus on $3 \div 8^\circ \text{E}$ temperatuuril 20° C, masinaõli sitkus on $3 \div 8^\circ \text{E}$ temperatuuril 50° C ja silindriõli sitkus on $3,5 \div 5^\circ \text{E}$ temperatuuril 100° C.

20. Pindpinevus. Kui asetame peene raudtraadi ettevaatlikult veepinnale, nii et traat üleni märjaks ei saaks, selgub, et traat ei upu vette, vaid jääb veepinnale ujuma. Niipea aga, kui traat saab märjaks, upub ta ära.

Et raudtraat vees ei upu, selle põhjuseks on asjaolu, et veepinnal on kandev kelme. Seda nähtust nimetatakse pindpinevuseks.



Joonis 13.

Pindpinevus on seletatav vedeliku kohesiooniga. Joonisel 13 on musta täpiga kujutatud mõned veemolekulid; nende molekulide ümber joonestatud ringid kujutavad kera, mille pinnani ulatub molekulide külgetõmbejõud. Selle kera sees olevad teised molekulid tõmbavad kera keskel olevat molekuli enda poole.

Vedeliku sees olevat molekuli *a* tõmbavad ringi piirjoonel ja ringi sees asuvad molekulid igas sihis ühesuguse jõuga, seepärast jääb see molekul tasakaalu. Vedeliku pinnal ja selle lähedal asuvaid molekule *b* ja *c* tõmbavad ringide joonitatud osade sees asuvad molekulid allapoole, sest vedeliku pinnast kõrgemal puuduvad nende molekulide külgetõmbejõudu tasakaalustavad molekulid. Seetõttu asetuvad vedeliku pinnal ja pinna läheduses asuvad molekulid üksteisele lähemale, pindkiht on nagu pingul ja veemolekulid pinnal moodustavad kelme, mis suudab kanda vähemaid raskusi.

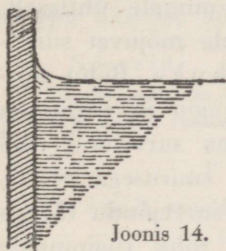
Pindpinevus on ka see põhjus, mis annab vabalt langevaile vedelikutilkadele kerasarnase kuju. Seda asjaolu kasutatakse näiteks haavlite valmistamisel. Kõrgelt lastakse vedelat seatina alla tilkuda. Vedela seatina tilgakesed omandavad langemisel kera kuju ja, langenud veeanumasse, hanguvad seal kerakujulisteks haavliteks.

21. Jõhvsus. Eelpool (§ 18) selgus, et olenevalt koheesiooni ja adhesiooni suurusest on vedelikud tahkekehade suhtes märguvad või mittemärguvad.

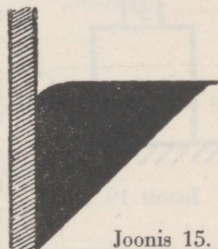
Märguvate vedelikkude korral on adhesioon vedeliku ja anuma seinte vahel isegi nii suur, et vedeliku äär tõuseb mööda anuma püstseinu kõrgemale, näiteks vesi klaasanumas (joonis 14). Sealjuures adhesioon ületab isegi vedelikuosakeste raskusjõu. Selle nähte tõttu on märguva vedeliku pind anumaservadel kõrgem. Kui anuma sein ei märgu vedelikust, siis hoiduvad vedeliku pinnal vedelikuosakesed anuma seintest eemale, näiteks elavhõbe klaasanumas (joonis 15). Seetõttu on mittemärguva vedeliku pind anuma servadel madalam.

Kui asetada peenese koonilisesse klaastorru (või kalduasetatud plaatide vahele) tilgake märguvat vedelikku, siis painduvad vedeliku vabad pinnad kõveraks, kusjuures peenemas toruotsas on vedeliku pind õõnsam kui laiemas toruotsas (joonis 16 – all). Kui hoida toru rõhtloodis, liigub vedelikutilk

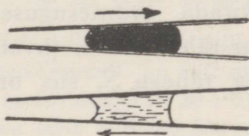
toru peenema otsa poole. Seda nähet seletatakse sellega, et vedeliku õõnsam pind avaldab pindpinevuse tõttu vedelikule vähemat rõhumist kui tasasem vedeliku pind. Kui aga asetada toru mittemärguvat vedelikku, on vedeliku pinnad kumerad, kitsamas toru otsas kumeram kui laiemas toru osas (joonis 16 – ülal) ja vedelikutilk liigub toru laiemas otsa poole, sest mittemärguva vedeliku korral rõhub pindkiht seda tugevamini, mida kumeram on pind. Sellest järgneb, et vedeliku õõnes pind rõhub nõrgemini, kumer pind aga tugevamini kui tasane pind.



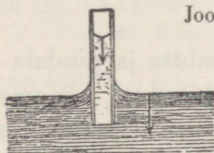
Joonis 14.



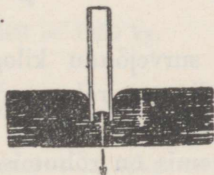
Joonis 15.



Joonis 16.



Joonis 17.

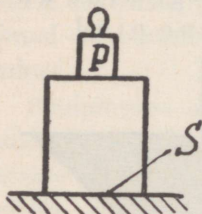


Joonis 18.

Neil nähteil põhineb jõhvsus ehk kapillaarsus. Kui vedelikku asetada jõhv- ehk kapillaartoru (jõhvtoruks nimetatakse väga peene sisemise läbimõõduga toru), tõuseb märguv vedelik jõhvtorus kõrgemale, kui on vedeliku pind laiemas anumast (joonis 17). Vedeliku tõus jõhvtorus oleneb toru ja vedeliku ainest ning toru sisemisest läbimõõdust. Mittemärguva vedeliku pind aga langeb jõhvtorus madalamale sellest tasapinnast, mis on vedelikul laias anumast (joonis 18).

Kapillaarnähtustel on looduses, igapäevases elus ja tehnikas tähtis koht. Jõhvsusest on tingitud taimemahlade tõusmine piki tüve üles, petrooleumi tõusmine lambitahis, tindi imbumine kuivatuspaberisse, masinaosade tahtõlitus, niiskuse imbumine läbi puidu ja kiviseinte jne.

22. Rõhk. Rõhu edasikandumine vedelikus. Kui asetame joonisel 19 kujutatud tahkekehale teatud raskuse, kandub



Joonis 19.

sellest raskusest tekitatud surve raskusjõu mõjumise sihis selle keha kaudu tugipinnale ja jaguneb sellele pinnale ühtlaselt. Tugipinna pindalaühikule mõjuvat survejõudu nimetatakse rõhuks. Rõhu suurus oleneb seega survejõu ja tugipinna suurusest: üks ja sama survejõud võib tekitada mitmesuguse suurusega rõhke.

Kui tähistada mõjuvat survejõudu tähega P ja tugipinna pindala tähega S , siis on rõhk tugipinnale

$$p = \frac{P}{S} \quad (5)$$

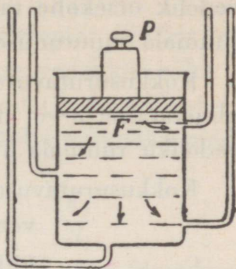
Kui mõõta survejõudu kilogrammides ja pindala ruutsentimeetrites, siis on rõhu mõõduühikuks 1 kilogramm 1 cm² kohta (tähis: kg/cm²) ehk 1 atmosfäär (tähis: at). Inglise mõõdusüsteemis on rõhumise mõõduühikuks 1 nael 1 ruuttolli kohta.

1 at = 14,2 naela/ruuttolli; 1 nael/ruuttoll = 0,07 at. Teades rõhu suurust p ja selle rõhu all oleva pindala suurst S , arvutatakse survejõud valemiga

$$P = p \cdot S \quad (6)$$

Anumas asuvale vedelikule saab rõhumist avaldada kolvi abil (joonis 20). Kui vedelikuanum varustada mitmetes kohtades torukestega, siis tõuseb vedelik välise survejõu mõjul kõikides torukestes ühekõrgusele, hoolimata sellest, kus

toru on ühendatud anumaga. See on võimalik ainult selle tõttu, et kinnises anum asuvale vedelikule avaldatud surve kandub vedelikus edasi igas sihis ühesuguse rõhuga. Seda vedelikkude põhiomadust nimetatakse Pascali seaduseks. Pascali seadus on ligikaudu maksev ka peeneks-tõugatud tahkekehade kohta (kuiv liiv, haavlid), kui üksikud osakesed ei kleepu üksteise külge.



Joonis 20.

Näiteid:

15. Kui suur on rõhk tugipinnale, kui keha aluse pindala on 100 cm^2 ja sellele mõjuv raskus on 2 t ?

$$p = \frac{P}{S} = \frac{2000}{100} = 20 \text{ kg/cm}^2.$$

16. Avalda atmosfäärides 25 naela/ruuttolli.

$$1 \text{ nael/ruuttoll} = 0,07 \text{ at}$$

$$25 \text{ naela/ruuttoll} = 25 \cdot 0,07 = 1,75 \text{ at}.$$

17. Kui suurt raskust talub maapind 500 cm^2 ulatusel, kui kõige suurem rõhk võib olla $2,5 \text{ kg/cm}^2$?

$$P = p \cdot S = 2,5 \cdot 500 = 1250 \text{ kg}.$$

Ulesandeid:

37. Kui suurt rõhku tekitab 30-kg raskus, kui tugipinna suurus on a) 5 cm^2 , b) 1 mm^2 ?

38. Kui suur on rõhk vedelikus joonisel 20 näidatud anum, kui kolvile mõjuv raskus on 5 kg ja kolvi pindala on 1 dm^2 ?

39. Manomeetri (vedelikkude ja gaaside rõhu mõõtja) skaala on tehtud naelades ruuttolli kohta.

a) Missuguse arvu kohal peab seisma manomeetri osuti, kui rõhk on $2,5 \text{ at}$?

b) Kui suur on rõhk atmosfäärides, kui osuti on 70 kohal?

40. Kui suure jõuga surub vesi pumba silindri kaanele, kui kolvi läbimõõt on 100 mm ja vee rõhk on 6 at ?

23. Vedelikkude kokkusurutavus. Kui asetame vedeliku silindrisse ja surume vedelikku kolviga kokku, väheneb vedeliku ruumala ainult väga vähesel määral. Vedeliku kokku-

surutavus on võrdeline rõhu suurusega. Rõhu kadumisel võtab vedelik otsekohe tagasi oma algruumala; vedelikud on seega ruumala muutumise suhtes elastsed.

Kokkusurutavuse teguriks (kompressiooni koefitsiendiks) nimetatakse arvu, mis näitab, mitmendiku osa võrra väheneb vedeliku ruumala 1 at rõhu juures.

Kokkusurutavuse tegur on:

veel	0,000 05
piiritusel	0,000 08
elavhõbedal . . .	0,000 003.

Need arvud tõendavad, et vedelikud on praktiliselt peaaegu kokkusurumatud. Kui täita pudel veega ja asetada sellele tihe kork ning lüüa tugevasti korgile, võib pudel puruneda. See katse selgitab ka, miks aurumasina silindrisse ei tohi koguneda vett: kolb võib vee nii tugevasti kokku suruda, et silindri kaas ei pea rõhule vastu ja puruneb. Vedelikkude kokkusurumatust rakendatakse kasulikult vesipressides, õlipidurites ja teistes säärastes seadeldistes.

Näide:

18. Veepaaki, mille ruumala on 1000 l, surutakse vett 50 at rõhu alla. Kui suur on selle veehulga algruumala?

1 l vee ruumala väheneb 1 at rõhul	0,000 05 l
1 l " " " 50 " "	0,000 05 . 50 l
1000 l " " " 50 " "	0,000 05 . 50 . 1000 l.

Seega väheneb ruumala

$$v = 0,000\,05 \cdot 50 \cdot 1000 = 2,5 \text{ l.}$$

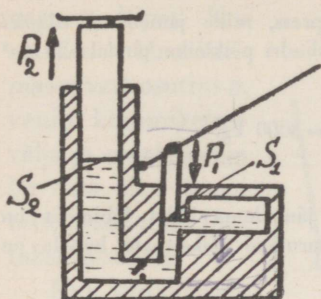
$$\text{Vee algruumala} = 1000 + 2,5 = 1002,5 \text{ l.}$$

Ulesanne:

41. Pump peab andma $1,4 \text{ m}^3$ vett 70 at rõhuga. Kui palju vett peab pump rohkem imema?

24. Vesipress. Rõhu edasikandumist vedelikus ja vedeliku kokkusurumatust kasutatakse praktiliselt vesipressi ehk hüdraulilise pressi juures. Vesipress (joonis 21) koosneb kahest erineva läbimõõduga silindrist, mis on omavahel toruga ühendatud. Torus asetseb ventiil, mis laseb vedelikku

läbi ainult jämedama silindri suunas. Silindrites liiguvad tihedalt sissesobitatud kolvid.



Joonis 21.

Surudes peenemat silindrit kolvile, tekitatakse vedelikus rõhk p , mille suurus oleneb survejõust P_1 ja väiksema kolvi põiklõike pindalast S_1 :

$$p = \frac{P_1}{S_1}$$

See rõhk kandub edasi jämedasse silindrisse ja mõjub ka selle silindri kolvile. Survejõud kolvile oleneb vedeliku rõhust ja kolvi põiklõike pindalast ja on valemi 6 järgi

$$P_2 = p \cdot S_2$$

Kui asetame eespool leitud p väärtuse saadud võrrandisse, on

$$P_2 = \frac{P_1}{S_1} S_2 \quad \text{ehk} \quad P_2 = P_1 \frac{S_2}{S_1} \quad (7)$$

ehk sõnadega: jämedama silindri kolvile mõjuv survejõud P_2 on nii mitu korda suurem peenemale kolvile mõjuvast survejõust P_1 , kui mitu korda suurema kolvi pindala S_2 on suurem peenema kolvi põiklõike pindalast S_1 .

Andes kolbidele vastavad mõõted, saab seega vesipressi abil saavutada väikese jõu abil suuri jõude. Vesipresse kasutatakse suurte raskuste tõstmiseks, materjalide proovimise ja teistes masinates suurte jõudude saamiseks, õli- ja mahlapressides jne.

Tegelikult kasutatav vesipress erineb joonisel toodust selle poolest, et peenem silinder on sisuliselt surupump, millega pumbatakse niipalju vedelikku jämedamasse silindrisse, et selle kolb tõuseb tarviliku määrani. Silindreid ühendav torustik võib olla igasuguse pikkusega ja seega ei tarvitse pump sugugi asetseda tõstesilindri kõrval. Vesipressis kasu-

tatakse vedelikuna harilikult õli, kuna vee kasutamisel pressi metallosad aja jooksul roostetuvad.

Näide:

19. Kui suurt survejõudu tekitab vesipress, mille jämedama silindri põiklõike pindala on 1500 cm^2 , väiksema silindri põiklõike pindala 25 cm^2 ning survejõud väiksemale kolvile 50 kg ?

$$P_2 = P_1 \frac{S_2}{S_1} = 50 \frac{1500}{25} = 3000 \text{ kg.}$$

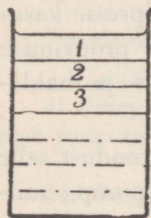
Ülesanne:

42. Arvutada vesipressi tõstejõud, kui jämedama kolvi läbimõõt on 50 cm , väiksema kolvi läbimõõt 5 cm ja surujõud väiksemale kolvile on 200 kg .

25. Vedeliku rõhk. Vedeliku ülemised kihid rõhuvad oma raskusega alumisi kihte. Mida kõrgem on vedelikukiht ja mida suurem on vedeliku erikaal, seda suurem on vedeliku raskusest esilekutsutud rõhumine. Vedeliku omakaalust tingitud rõhumist nimetatakse vedeliku rõhuks ehk hüdrostaatiliseks rõhuks.

Samuti nagu vedelikule mõjuv välissurve kandub vedelikus edasi igas sihis ühesuguse rõhuga, nii kandub edasi ka hüdrostaatiline rõhk ühesuguse rõhuga igas sihis, nii alla, külge-
dele kui ka üles.

26. Vedeliku rõhk ja surve anuma põhjale. Anuma põhjale mõjuva surve määramiseks täidame püstseintega



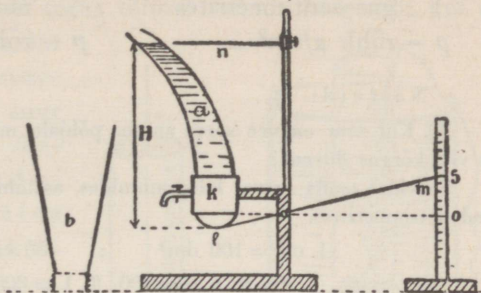
anuma veega (joonis 22) ja lahutame mõttes kogu veehulga rõhtsateks kihtideks. Kiht 1 rõhub oma raskusega kihti 2; kiht 2 rõhub kihti 3 oma raskusega ja kihi 1 raskusega jne.

Nii arutades selgub, et püstseintega anuma põhjale mõjuv vedeliku surve võrdub vedeliku raskusega.

Joonis 22.

Vedeliku surve määramiseks mistahes-kujulise anuma põhjale kasutatakse joonisel 23 näidatud aparati.

Lahtise metallsilindri k külge on kinnitatud kummikelmelme l . Metallsilindri külge võib kruvida mitmesuguse kujuga klaasanumaid, nagu a , b jne. Kui valada klaasanumasse vett osutini n , venib kummikelmelme välja ja surub kangi lm otsa alla. Kangi teise otsa tõus loetakse skaalalt.



Joonis 23.

Kui kruvida silindrile k mistahes

kujuga anumaid, selgub, et sama veesambakõrguse puhul tõuseb kangi lm ots skaalal ühekõrgusele.

Eelmisest katsest selgub, et vedeliku surve anuma põhjale ei olene vedeliku hulgast ega anuma kujust.

Vedeliku surve anuma põhjale on võrdne vedelikusamba kaaluga, mille aluseks on anuma põhi ja kõrguseks vedelikupinna kõrgus anuma põhjast.

Kui tähistada survet põhjale tähega P , anuma põhja pindala – S , vedelikusamba kõrgust – h ja erikaalu – e , siis

$$P = S \cdot h \cdot e \quad (8)$$

Kui S on cm^2 ja h on cm , siis P on grammides

„ S „ dm^2 „ h „ dm „ P „ kilogrammides ja

„ S „ m^2 „ h „ m „ P „ tonnides.

Eeltoodud seaduse alusel saab tarbe korral väikese vedelikuhulgaga tekitada suurt survet. Selleks asetatakse kinnisele anumale peenike pikk toru ja täidetakse anum ja toru veega. Surve anuma põhjale on nüüd niisama suur, nagu siis, kui anuma külge seinad oleksid torukõrgused.

Kuna rõhk on survejõud pindalaühikule, siis järelikult rõhk anuma põhjale oleneb ainuüksi vedelikusamba kõrgusest ja vedeliku erikaalust.

$$p = h \cdot e \quad \text{ehk} \quad p = 0,1 \cdot h \cdot e \quad (9)$$

kus h – vedelikusamba kõrgus sentimeetrites

h – vedelikusamba kõrgus meetrites

p – rõhk g/cm^2

p – rõhk kg/cm^2

Näiteid:

20. Kui suur on vee surve anuma põhjale, mille põhja pindala on 1 m^2 ja vee kõrgus 80 cm ?

Soovides teada survet kilogrammides, asetame valemisse 8 kõik mõõdud detsimeetrites.

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2 \quad ; \quad 80 \text{ cm} = 8 \text{ dm}$$

$$P = S \cdot h \cdot e = 100 \cdot 8 \cdot 1 = 800 \text{ kg}.$$

21. Kui suur rõhk mõjub eelmises ülesandes antud reservuaari põhjale?

$$p = \frac{P}{S} = \frac{800}{10000} = 0,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ehk } p = 0,1 \cdot h \cdot e = 0,1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,08 \text{ kg/cm}^2.$$

Ülesandeid:

43. Veereservuaari põhja külge kinnitatud väljavoolutoru on suletav siibriga. Kui suur surve mõjub siibrile, kui toru läbimõõt on 20 cm ja veepind siibrist on $3,5 \text{ m}$ kõrgusel?

44. Ummarguse reservuaari läbimõõt on $2,5 \text{ m}$. Kui suur on surve põhjale, kui reservuaar on täidetud 180 cm kõrguseni a) veega; b) petrooleumiga?

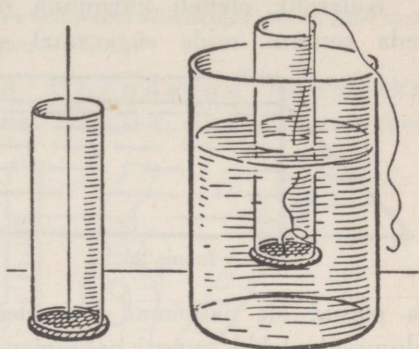
45. Kui suur on vedeliku rõhk anuma põhjale eelmise ülesande kohaselt?

46. Kui suur rõhk mõjub allveelaevale, kui laev on a) 25 m ; b) 100 m ja c) 250 m sügavusel?

47. Koduse veevärgi paak asub põõningul. Kui suur vee rõhk on kraani juures, mis on 15 m madalamal paagi veepinnast?

27. Vedeliku surve alt üles. Kui katta siledate äärtega klaastoru sileda plaadiga ja langetada toru mistahes vedelikku, nagu joonisel 24 näidatud, ei lange plaat põhja, kui plaadi külge kinnitatud niit lahti lasta. Seletatav on see sellega, et vedelik avaldab plaadile ka survet alt üles, sest vedeliku omaraskusest tingitud rõhk (hüdrostaatiline rõhk) kandub edasi igas sihis ühesuguse jõuga.

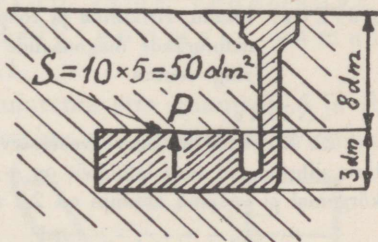
Vedeliku surve suurust alt üles saab mõõta sel teel, kui kallata klaastorru sama vedelikku. Plaat langeb anuma põhja siis, kui vedeliku pind torus tõuseb samale kõrgusele, kui on vedeliku pind anumal. Siit järgneb, et vedeliku surve alt üles on niisama suur kui vedeliku surve ülevaalt alla. Seega vedeliku surve alt üles võrdub vedelikusamba kaaluga, mille aluseks on antud pind ja kõrguseks selle pinna sügavus.



Joonis 24.

Altsurve ja altrõhu suurust arvutatakse seega samade valemitega (valemid 8 ja 9) kui survet ja rõhku anuma põhjale.

Vedelate kehade altrõhku tuleb tehnikas mitmel juhul arvestada. Näitena olgu toodud altrõhu tähtsus valamisvormide juures, kus altsurve võib tõusta nii suureks, et nihutab vormi ülemise poole omalt kohalt, kui see pole küllalt raske. Valamisel täidab sulametall vormi, kusjuures vedelik – sulametall – rõhub vormi põhjale, külgedele ja üles. Kui sulametalli erikaal on 7,25 (malm), siis on altsurve (joonis 25)



Joonis 25.

$$P = S \cdot h \cdot e = 50 \cdot 8 \cdot 7,25 = 2900 \text{ kg.}$$

Nagu arvutus näitab, tõuseb suuremate valatiste puhul surve vormi pealmisele poolele õige suureks.

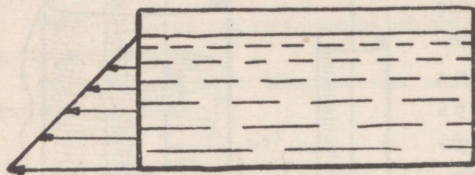
Ulesanne:

48. Arvutada surve joonisel 25 näidatud vormi alumisele pinnale.

28. Vedeliku külgrõhk ja -surve. Vedelik rõhub ka anuma külgedele. Anuma külgpinna osakesele mõjuv rõhk on võrdne vedeliku rõhuga anuma põhjale samas sügavuses.

Külgrõhk oleneb külgpinna osakeste sügavusest ja on seda suurem, mida sügavamal asub vastav koht vedeliku

pinnalt. Külgrõhu muutumine on näidatud diagrammina joonisel 26. Kuna külgrõhk on all suurem, kui ülal, sellepärast ongi tammid



Joonis 26.

ja paisud alt paksemad kui ülal; suurtel veepaakidel on alumised plekid samuti paksemad kui ülemised.

Vedeliku surve anuma külgpinnale arvutatakse valemiga

$$P = S \cdot h_o \cdot e \quad (10)$$

kus S – rõhu all olev külgpind (mitte kogu anuma külgpind), h_o – selle pinna raskuskeskpunkti kaugus vedeliku pinnast ja e – vedeliku erikaal.

Märkus: Ruudu, ristküliku ja rõõpküliku raskuskeskpunkt asub nende nelinurkade diagonaalide lõikpunktis. Ringi raskuspunkt asub ringi sentris.

Näide:

22. Kui suur on surve veereservuaari külgselina asetatud väljavoolutoru siibrile, kui toru läbimõõt on 4 cm, toru keskpunkt on 3 cm põhjast kõrgemal ja veepind anumas on 2,5 m põhjast kõrgemal?

$$\text{Siibri pindala } S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,001256 \text{ dm}^2$$

Siibri pindala raskuskeskpunkti kaugus vedeliku pinnalt

$$h = 25 - 0,3 = 24,7 \text{ dm}$$

Surve siibrile

$$P = S \cdot h_o \cdot e = 0,001256 \cdot 24,7 \cdot 1 = 0,031 \text{ kg}.$$

Ulesandeid:

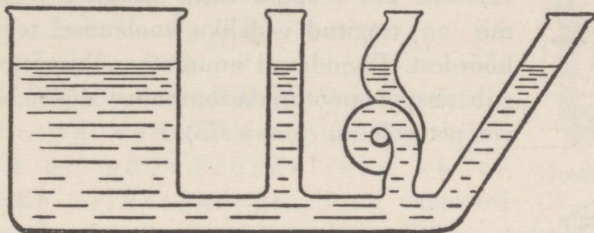
49. Kui suur on rõhk veeanuma külgselinal vedeliku pinnast sügavusel a) 0,5 m; b) 2 m ja c) 10 m?

50. Arvutada surve joonisel 25 näidatud valamisvormi külgpinnale.

51. Kui suur on surve ruudukujulise veepaagi külgsiintele, kui paagi külje pikkus on 3 m, kõrgus 1,5 m ja ülevoolutoru on asetatud 20 cm kõrgusele paagi ülemisest servast?

52. Kui suur on surve reservuaari väljavoolutorru asetatud sübrile, kui toru läbimõõt on 50 mm, toru keskpunkt vedelikupinnast on 2400 mm kaugusel ja reservuaar täidetud petrooleumiga?

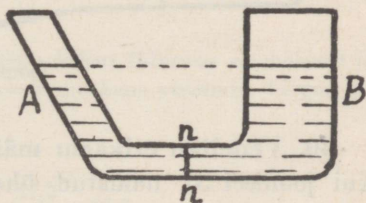
29. Ühendatud anumad. Ühendatud anumaid nimetatakse anumaid, mille alumised osad on omavahel



Joonis 27.

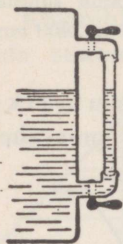
ühendatud (joonis 27). Kui kallata ühte anumasse mõnda vedelikku, voolab vedelik ka teistesse. Võttes mistahes kujuga anumad või mistahes vedeliku, selgub, et ühendatud anumais, mis on täidetud sama vedelikuga, on vedelikupind kõigis anumais samal rõhtloodis tasapinnal.

Selle nähte selgitamiseks kujutame ette anumaid *A* ja *B* ühendavas torus liikuvat vaheseina *nn* (joonis 28). Vedelik anumus *A*, samuti vedelik anumus *B* rõhuvad vaheseinale teatud survega. Vahesein jääb tasakaalu, samuti ka vedelik on tasakaalus, kui surved mõlemalt poolt on võrdsed. See on võimalik ainult siis, kui vedelikusammaste kõrgused on võrdsed, s. t. kui vedelikupind mõlemas anumus asub samal rõhtloodis tasapinnal, kusjuures pole sugugi tähtis vedeliku hulk ühes või teises anumus.

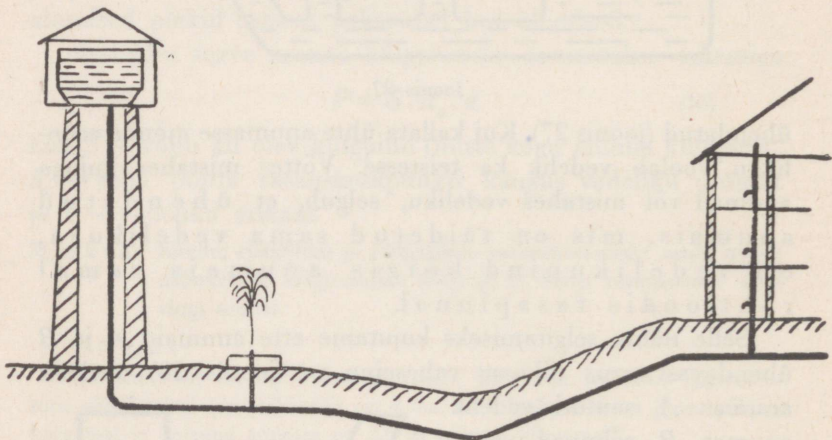


Joonis 28.

Ühendatud anumate põhimõtte leiab rohkem praktilist kasutamist. Joonisel 29 on näidatud vedelikupaakide ja aurukatelde veeklaas, mille abil saab jälgida kinnises anumas asuva vedeliku pinna kõrgust. Veevärk ja purskkaevud (joonis 30) on samuti rajatud ühendatud anumate põhimõttele; tõusukõrgus vee jaotustorustikus on siin küll pisut väiksem kui veepind torni asetatud veepaagis, mis on tingitud vedeliku voolamisel tekkivast hõõrdest. Ühendatud anumate põhimõttel valgub sisepõlemootori karburaatori düüsi bensiin või petrooleum (joonis 75).



Joonis 29.



Joonis 30.

30. Vedeliku erikaalu määramine ühendatud anumais. Kui joonisel 31 näidatud ühendatud anumaisse, U-taolisse torru, kallata kaht erineva erikaaluga vedelikku, näiteks elavhõbedat ja vett, asetuvad vedelikkude pinnad erinevatele kõrgustele. Tasapinnal A, s. t. vee ja elavhõbeda piirjoonel toruharus a , on vedelikkude surved kummaski toruharus võrdsed, sest vedelikud on tasakaalus. Kuid sealjuures on

raskema vedelikusamba kõrgus h_2 väiksem kui kergema vedelikusamba kõrgus h_1 . Kui märgime toru põiklõike pindala tähega s , kergema vedeliku erikaalu tähega e_1 ja raskema vedeliku erikaalu tähega e_2 , on

$$S \cdot h_1 \cdot e_1 = S \cdot h_2 \cdot e_2$$

$$\text{ehk } h_1 \cdot e_1 = h_2 \cdot e_2$$

Moodustades viimase võrrandi ümber, saame

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{e_2}{e_1} \quad (11)$$

ehk sõnadega: vedelikkude piirjoonelt mõõdetud vedelikusammaste kõrgused on pöördvõrdelised vedelikkude erikaaludega. Sama vahetust jääb maksvaks ka isesuguse lähimõõduga torude korral.

Eeltoodud seadust saab kasutada vedelikkude erikaalu määramiseks, kui ühe vedeliku erikaal on tuntud ja vedelikud ei segune. Tundmatu erikaal arvutatakse valemist 11 tuletatud valemiga

$$e_2 = e_1 \frac{h_1}{h_2} \quad (12)$$

kus e_1 ja h_1 – tuntud erikaaluga vedeliku erikaal ja samba kõrgus ning e_2 ja h_2 – tundmatu erikaaluga vedeliku erikaal ja samba kõrgus.

Näide:

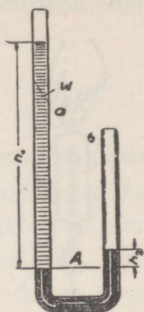
23. Elavhõbeda erikaalu määramiseks kallati U-torusse elavhõbedat ja vett. Elavhõbedasamba kõrgus oli $h_2 = 2$ cm, kuna veesamba kõrgus oli $h_1 = 27,2$ cm.

Elavhõbeda erikaal on seega

$$e_2 = e_1 \frac{h_1}{h_2} = 1 \cdot \frac{27,2}{2} = 13,6$$

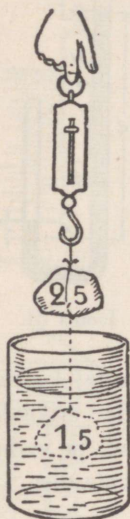
U l e s a n n e:

53. U-toru ühes harus on elavhõbe, teises glütseriin. Vedelikkude piirjoonelt mõõtes on elavhõbeda samba kõrgus 20 mm, glütseriini samba kõrgus 23 cm. Arvutada glütseriini erikaal.



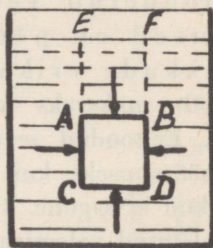
Joonis 31.

31. Keha kaalukaotus vedelikus. Kui tõsta mõnda keha veest välja, tundub, et keha on vees kergem kui õhus. Selle nähte selgitamiseks riputame mingi keha vedrukaalu külge ning loeme, kui palju kaal näitab (joonis 32). Kui langetada keha vette, selgub, et keha kaal vees on väiksem kui õhus. Katse kordamisel mitmesuguste kehade ja vedelikkudega kordub sama.



Joonis 32.

Kaalukaotus vedelikus on seletatav vedeliku rõhumisega. Joonisel 33 näidatud vedelikku asetatud kehale $ABCD$ mõjub vedeliku surve ülalt alla, alt üles ja külgedelt. Kuna külgsurved on võrdsed, tasakaalustub nende mõju. Vedeliku surve ülalt alla võrdub vedelikusamba $ABFE$ kaaluga, kuna surve alt üles võrdub vedelikusamba $CDFE$ kaaluga. Kuna viimane sammas on keha ruumala võrra suurem, siis on altsurve suurem pealtsurvest niipalju, kui suur



Joonis 33.

on vedeliku kaal selle keha ruumalas. Et altsurve kehale on suurem kui surve ülalt alla, selle tagajärjel püüab vedelik keha üles tõugata jõuga, mille suurus on võrdne survete vahega. Survete vahe aga on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumalas. Sellest järgneb Archimedese seadus: Iga keha tõrjutakse vedelikust välja jõuga, mille suurus võrdub vedeliku kaaluga keha ruumalas.

Keha vedelikust väljatõrjuv jõud põhjustabki keha kaalu-kaotust vedelikus. Keha kaalukaotus vedelikus on samuti võrdne vedeliku kaaluga keha ruumalas.

Kui keha kaal õhus on G , ruumala V ja vedeliku erikaal on e , siis on keha kaal vedelikus

$$G_v = G - V \cdot e \quad (13)$$

Keha kaalukaotus vedelikus on

$$g = V \cdot e \quad (14)$$

Teades keha kaalukaotust vedelikus, on võimalik arvutada keha ruumala valemiga

$$V = \frac{G - G_v}{e} \quad \text{ehk} \quad V = \frac{g}{e} \quad (15)$$

Viimase valemi abil saab väga täpselt määrata ebakorrapärase kujuga keha ruumala. Selleks tuleb antud keha kaaluda õhus ja vedelikus, kusjuures vedeliku erikaal peab olema teada. Eriti hõlpus on leida keha ruumala, kaaludes antud keha õhus ja vees. Kuna vee erikaal on 1, on keha ruumala arvuliselt võrdne keha kaalukaotusega vees.

Näiteid:

24. Kui palju kaalub 150 kg tina vees?

$$\text{Tina ruumala on } V = \frac{G}{e} = \frac{150}{11,3} = 13,3 \text{ dm}^3$$

$$\text{Tina kaal vees on } G_v = G - V \cdot e = 150 - 13,3 \cdot 1 = 136,7 \text{ kg.}$$

25. Keha kaalub õhus 200 g, vees 175 g. Kui suur on selle keha ruumala?

$$V = \frac{G - G_v}{e} = \frac{200 - 175}{1} = 25 \text{ cm}^3$$

Ulesandeid:

54. Kui palju kaalub vees a) 1 t rauda; b) 5500 kg vaske?

55. Kui palju kaalub 75 kg seatina a) vees; b) petrooleumis?

56. Tükk soola erikaaluga 2,4 kaalub õhus 150 g. Kui suur on selle soolatüki kaal piirituses?

57. Keha ruumala on 250 cm³. Kui palju kaotab see keha oma kaalust a) puhtas vees; b) mere vees; c) petrooleumis ja d) elavhõbedas?

58. Keha kaalub õhus 360 g, vees 320 g. Kui suur on keha ruumala?

59. Keha kaalub õhus 120 g, petrooleumis 108 g. Kui suur on keha ruumala?

32. Tahkete kehade erikaalu määramine kaalukaotuse kaudu. Archimedese seadus võimaldab määrata ainult kaalumise kaudu kehade erikaalu. Erikaal on teatavasti keha kaalu ja ruumala jagatis; keha ruumala on aga arvuliselt niisama

suur nagu keha kaalukaotus vees. Tähistades tahke keha erikaalu tähega e_1 , leidub seega keha erikaal valemist

$$e_1 = \frac{G}{G - G_g} \quad \text{ehk} \quad e_1 = \frac{G}{g} \quad (16)$$

Kui keha on veest kergem, siis seotakse kehale külge lisaraskus ja kaalutakse mõlemad kehad koos õhus ja vees. Lõpuks kaalutakse lisaraskus õhus ja vees. Tundmatu erikaaluga keha kaalukaotus vees (s. t. ruumala) leitakse, kui mõlema keha kaalukaotusest vees lahutada lisaraskuse kaalukaotus vees. Erikaal arvutatakse samuti eeltoodud valemi abil.

Kui keha lahustub vees, tuleb kaalukaotuse määramiseks kaaluda keha seesuguses vedelikus, milles ta ei lahustu. Sel korral kaalukaotus selles vedelikus ei ole mitte võrdne keha ruumalaga, vaid vedeliku kaaluga keha ruumalas. Keha ruumala leitakse valemi 15 abil ja arvutatakse erikaal, jagades keha kaalu õhus keha ruumalaga.

Näiteid:

26. Valgevase tükk kaalub õhus 2 kg ja vees 1,77 kg. Arvutada valgevase erikaal.

$$e = \frac{G}{G - G_v} = \frac{2}{2 - 1,77} = 8,7$$

27. Tükk puitu kaalub 20 g, lisaraskus kaalub 140 g. Puit ühes lisaraskusega kaalub vees 112 g, lisaraskus kaalub vees 122 g. Arvutada puidu erikaal.

Puidu ja lisaraskuse kaalukaotus vees: $20 + 140 - 112 = 48 \text{ g}$

Lisaraskuse	„	„	140 - 122 = 18 „
-------------	---	---	------------------

Puidu kaalukaotus vees	30 g.
------------------------	-------

Puidu ruumala on seega 30 cm^3

ja puidu erikaal $e = \frac{G}{V} = \frac{20}{30} = 0,66.$

28. Suhkrutükk kaalub õhus 10 g, petrooleumis 5,1 g. Arvutada suhkru erikaal.

Suhkrutüki ruumala on $V = \frac{G - G_v}{e} = \frac{10 - 5,1}{0,8} = 6,1 \text{ cm}^3$

ja erikaal $e = \frac{G}{V} = \frac{10}{6,1} = 1,7.$

Ulesandeid:

60. Kivi kaalub õhus 860 g, vees 516 g. Kui suur on kivi erikaal?

61. Tükk vaske kaalub õhus 300 g, vees 266 g. Kui suur on vase erikaal?

62. Tükk kasepuitu kaalub õhus 18 g, lisaraskus kaalub 93 g; puit ja lisaraskus kaaluvad vees 71 g, lisaraskus üksi kaalub vees 85 g. Kui suur on kasepuidu erikaal?

33. Vedelikkude erikaalu määramine kaalukaotuse kaudu.

Vedeliku erikaal on võrdne teatava hulga vedeliku ja niisama suure hulga vee kaalu jagatisega. Kui kaaluda mistahes keha õhus ja tundmatu erikaaluga vedelikus, siis näitab kaalukaotus antud vedelikus selle vedeliku kaalu keha ruumalas. Kui aga kaaluda sama keha vees, näitab kaalukaotus vee kaalu sama keha ruumalas. See asjaolu võimaldab määrata vedeliku erikaalu, kaaludes mingi keha õhus, antud vedelikus ja vees.

Kui mingi keha kaal õhus on G , kaal vees G_v ja kaal tundmatu erikaaluga vedelikus G_t , siis on vedeliku erikaal

$$e = \frac{G - G_t}{G - G_v} \quad (17)$$

Kirjeldatud kaalumist õhus, vees ja tundmatu erikaaluga vedelikus võib toimetada mistahes kehaga. Ainuke nõue keha kohta on, et ta oleks säärastest ainest, mis vees ega antud vedelikus ei lahustu ega astu nendega keemilisse ühendusse. Sageli kasutatakse selleks otstarbeks klaaskera, mis on haavlitega või elavhõbedaga raskemaks tehtud, et ta vajuks ka suure erikaaluga vedelikesse.

Näide:

29. Keha kaalub õhus 50 g, vees 42 g ja õlis 44 g. Leida õli erikaal.

$$e = \frac{G - G_t}{G - G_v} = \frac{50 - 44}{50 - 42} = 0,75.$$

Ulesanne:

63. Keha kaalub õhus 100 g, vees 75 g ja naftas 72 g. Arvutada nafta erikaal.

34. Kehade ujumine. Vedelikus asetsevale kehale mõjub kaks jõudu: keha raskus, mis on suunatud loodsihis ülevalt alla, ja vedeliku altrõhk ehk tõstejõud suunaga alt üles. Neist püüab esimene jõud keha uputada, kuna teine tõukab keha veepinnale.

Keha raskus, mis püüab keha uputada, on püsiv suurus, kuid vedeliku tõstejõu kohta seda väita ei saa. Vedeliku tõstejõud võrdub keha kaalukaotusega vedelikus, mis Archimedeese seaduse järgi oleneb keha veesolevast ruumalast ja vedeliku erikaalust.

Vette asetatud keha juures võib esineda kolm juhtu:

1) keha kaal on suurem kui vedeliku kaal keha ruumalas, s. t. keha erikaal on suurem vedeliku erikaalust – keha vajub põhja;

2) keha kaal on võrdne vedeliku kaaluga keha ruumalas, s. t. keha erikaal on võrdne vedeliku erikaaluga – keha hõljub vees mistahes sügavuses;

3) keha kaal on väiksem kui vedeliku kaal keha ruumalas, s. t. keha erikaal on väiksem vedeliku erikaalust – keha ujub vedeliku pinnal.

Eelöeldut tõendab lihtne katse. Kui asetada värske kanamuna kangesse soolalahusesse, ei vaju muna põhja, vaid ujub pinnal. Kui lisada lahusele vähehaaval puhast vett, vajub muna sügavamale, kuni lahuse teatud lahjenduse juures hõljub muna vedelikus igasuguses sügavuses. Täiesti puhtas vees langeb aga muna kohe põhja.

Vedelikust raskemad kehad ujuvad vedelikul ainult siis, kui nad on seest õõnsad. Raudlaevad ujuvad veepinnal seepärast, et nende keskmine erikaal on väiksem vee erikaalust. Allveelaeva sukeldumisel suurendatakse laeva raskust sel teel, et täidetakse mereveega laeva väliskesta ja siseruumide vahelised veetankid. Merepinnale tõusuks surutakse vesi neist tankidest välja kaasasoleva surutud õhuga.

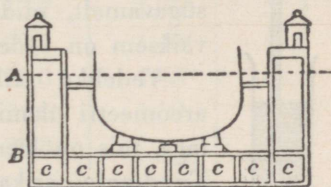
Kui täita joonisel 34 näidatud ülevoolu anum veega ülevoolutoru kõrguseni ja asetada vette veepinnal ujuv keha,

voolab anumast välja nii palju vett, kui suur on vees oleva kehaosa ruumala. Väljavoolanud veehulga kaalumisel selgub, et väljatõrjutud vee kaal võrdub ujuva keha raskusega. Seega ujuv keha vajub vedelikku nii sügavale, et väljatõrjutud vedeliku hulga kaal võrdub ujuva keha kaaluga.



Joonis 34.

Eelöeldust järgneb, et 1) keha vajub vedelikku seda sügavamale, mida kergem on vedelik (puutükk ujub bensiinis sügavamal kui vees), ja 2) ühes ja samas vedelikus ujub sügavamalt see keha, mille kaal ühesuguse ruumala juures on suurem (puutükk ujub vees sügavamalt kui niisama suur korgitükk).

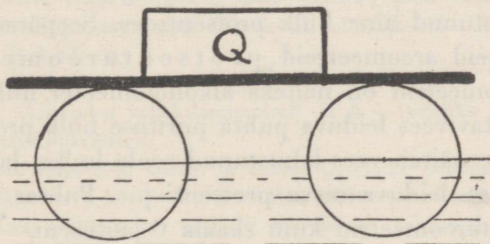


Joonis 35.

Joonisel 35 on näidatud ujuva doki läbilõige. Kui kambrid c on vett täis, ujub dokk vees joone A sügavusel. Kui pumbata vesi kambreist c välja, kerkib dokk veepinnale jooneni B ja tõstab laeva veest välja.

Näide:

30. Kui suurt raskust Q taluvad kaks vette asetatud raudsilindrit (joonis 36), mille kummagi ruumala on 1 m^3 ja kaal 100 kg ?



Joonis 36.

Kui silindrid on täiesti vees, siis on väljatõrjutud vee ruumala 2 m^3 . Kogu seadeldise raskus võrdub vee kaaluga keha ruumala suuruses, mis on $V \cdot \rho = 2 \cdot 1 = 2 \text{ t}$.

Kui lahutada sellest silindrite omakaal 200 kg, on nende silindrite kõige suurem kandejõud

$$2 - 0,2 = 1,8t.$$

U l e s a n n e :

64. Raudsilinder, mille ruumala on 15 m^3 , kaalub 3 t. Kui suurt lisaraskust suudab ta vette asetatult kanda ilma uppumata?

35. Areomeeter. Vedelikkude erikaalu otseseks mõõtmiseks kasutatakse areomeetrit (joonis 37). Areomeetri moodustab kinnine õõnes klaassilinder, mille alumises kerataolises osas on raskus (elavhõbe või haavlid). Kui asetada areomeeter vedelikku, ujub ta seda sügavamalt, mida kergem on vedelik, s. t. mida väiksem on vedeliku erikaal.



Joonis 37.

Vedeliku erikaalu määramiseks varustatakse areomeetri ülemine silindriline osa paberist skaalaga, mis on kleebitud areomeetri siseseinte külge. Tundmatu erikaal leidub, kui langetame areomeetri sellesse vedelikku ja loeme vedeliku pinna kohalt skaala vastava jaotuskriipsu.

Areomeetrit kasutatakse ka soolade ja hapete lahuste kontsentratsiooni (lahuse kõvaduse ehk kanguse) määramiseks, sest lahuse erikaal oleneb lahustunud aine hulgast. Need eriotstarbelised areomeetrid varustatakse skaalaga, millelt on kohe loetav lahustunud aine hulk protsentides. Seepärast nimetatakse sääraseid areomeetreid protsentareomeetreiks. Protsentareomeetrid on näiteks alkoholomeeter, mille skaalalt on kohe loetav vees leiduva puhta piirituse hulk protsentides; salinomeeter näitab vees lahustunud soola hulka, laktomeeter näitab piimas leiduva rasva protsenti jne. Puhtas vees vajuvad protsentareomeetrid kuni skaala 0-jaotuseni.

Hapete erikaalu määramiseks kasutatakse sageli Baumé (loe: bomee) areomeetrit. Baumé areomeetri skaala on valmistatud nii, et areomeeter langetatakse alguses puhtasse vette ja siis keedusoola 10-protsendilisse lahusesse ja jagatakse

areomeetri näitamiste vahe kümneks võrdseks osaks. Iga seesugust jaotust nimetatakse Baumé kraadiks (tähis: °Bé). Vee erikaal on 0°Bé.

Erikaalu ja Baumé kraadide arvuline vahekord on antud tabelis 2.

Tabel nr. 2.
Erikaalu ja Baumé kraadide vahekord.

Erikaal	°Bé	Erikaal	°Bé	Erikaal	°Bé
1,00	0	1,12	15,4	1,30	33,4
1,02	2,7	1,14	17,7	1,35	37,4
1,04	5,4	1,16	19,9	1,40	41,2
1,06	8,0	1,18	22,0	1,45	44,8
1,08	10,6	1,20	24,0	1,50	48,1
1,10	13,0	1,25	28,8		

Et areomeetri skaala on valmistatud vedeliku teatava temperatuuri juures (temperatuur on märgitud iga areomeetri skaalale), näitavad areomeetrid täpselt ainult vedeliku sellel temperatuuril.

36. Vedeliku väljavoolamine anumast. Vedelikuga täidetud pealt lahtise anuma seinavõi põhjaavause kaudu vedeliku väljavoolu kiirus on seda suurem, mida kõrgemal asub vedeliku pind väljavooluavausest. Täpsed vaatlused ja arvutused tõendavad, et väljavoolu kiirus (meetreis ühe sekundi jooksul) on:

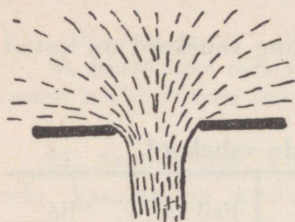
$$v = \sqrt{2gh}$$

kus $g = 9,81$ (kiirendus vabal langemisel) ja h – vedeliku pinna kõrgus meetreis väljavooluavausest.

Kui teada väljavoolu kiirust ja avause põiklõike pindala, on võimalik arvutada väljavoolava vee hulka (veehulka mõõdetakse kuupmeetreis). Ühe sekundi jooksul väljavoolav veehulk moodustab tahksamba või silindri, mille aluseks on avause põiklõike pindala ja kõrguseks väljavoolava vee kiirus, s. o. teekonna pikkus, mille katab vedeliku tilk 1 sek. jooksul. Kui avause põiklõike pindala on S ja väljavoolu kiirus v , siis t sekundi jooksul väljavoolav veehulk

$$Q = S \cdot v \cdot t = S \cdot t \sqrt{2gh}$$

Tegelikult väljavoolav vedeliku hulk on väiksem, sest väljavoolava vedeliku joa tõeline põiklõige on väiksem avause põiklõike pindalast (joon. 38).

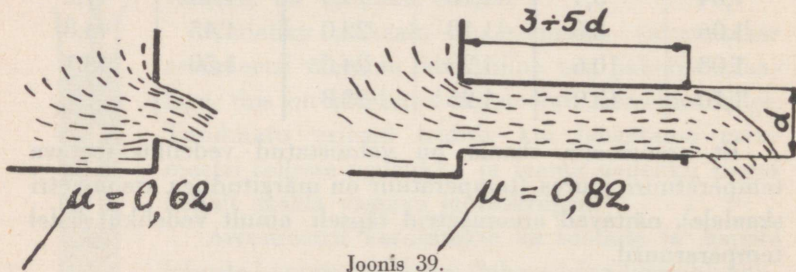


Joonis 38.

See nähtus seletub sellega, et piki anuma põhja tulevad vedeliku osakesed ei saa järele muuta oma liikumise sihti, vaid voolavad väikese kaarega ümber avause servade. Selle tagajärjeks on väljavoolava vedeliku joa peenenemine. Tegelikult väljavoolanud vedeliku hulk

$$Q = \mu \cdot S \cdot t \cdot \sqrt{2gh} \quad (18)$$

Kui sellesse valemisse asetada avause põiklõige S ruutmeetreis, t sekundeis ja h meetreis, siis leiame veehulga Q kuupmeetreis. μ on väljavoolamistegur, mille väärtus kõigub 0,5 ja 1 vahel ning oleneb avause ehitusviisist. Joonisel 39 on antud μ väärtused kahe väljavooluavause jaoks.



Joonis 39.

Ulaloodud valem on maksev ainult siis, kui vedeliku pind püsib anumates ühesugusel kõrgusel, kusjuures väljavooluavaus võib asuda paagi põhjas või külgselinas.

Näide:

31. Veepaagi põhjas on 25 mm läbimõõduga avaus. Kui palju vett voolab paagist 10 minuti jooksul välja, kui vee pind püsib 2 m kõrgusel ja avause väljavoolamistegur $\mu = 0,62$?

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 0,0005 \text{ m}^2$$

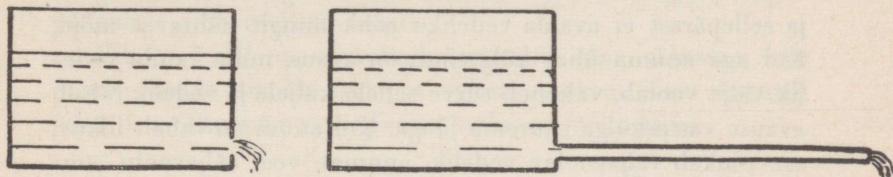
$$t = 60 \cdot 10 = 600 \text{ sek.}$$

$$Q = \mu \cdot S \cdot t \cdot \sqrt{2gh} = 0,62 \cdot 0,0005 \cdot 600 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2} = 1,17 \text{ m}^3.$$

Ulesanne:

65. Paagi külgselinas on avaus läbimõõduga 10 cm; vee pind püsib 4 m kõrgusel. Kui palju vett voolab paagist välja 1 tunni jooksul, kui avause väljavoolamistegur $\mu = 0,82$?

37. Vedeliku voolamine torustikus. Joonisel 40 kujutatud veepaagist voolab välja külgselja avause kaudu ühe ajaühiku jooksul teatav hulk vett. Kui ühendame sama paagi väljavooluavause pikema toruga, võiks eeldada, et toru otsast väljavoolava vedeliku hulk sama aja vältel on endine, kui vee pinna algkõrgus on endine. Kui teha vastavad mõõtmised, selgub, et tegelikult voolab toru kaudu välja siiski vähem vett kui paagi külgselja avause kaudu.



Joonis 40.

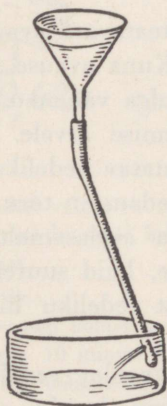
Väljavoolava vedeliku hulk oleneb teatavasti avause põiklõike pindalast ja väljavoolu kiirusest. Kuna avause põiklõige jäi endiseks, saab väljavoolanud veehulga vähenemist kirjutada ainult väljavoolu kiiruse vähenemise arvele. Vedeliku kiiruse vähenemine torustikus on seletatav vedeliku hõõrumisega vastu torustiku seinu. Mida jämedam on toru ja mida siledamad on toru seinad ning mida aeglasemalt vedelik voolab, seda väiksem on ka hõõrumine, kuid suureneb toru pikkuse suurenemisega. Suurt takistust vedeliku liikumisele avaldavad järsud käänakud torustikus.

Kui soovitakse, et toru kaudu väljavoolav vedeliku hulk oleks niisama suur nagu anuma avause kaudu, siis peab vedeliku pinda anumast tõstma teatava kõrguse võrra. Seejärel hinnatakse vedeliku hõõrumise takistuse suurust vee-samba kõrgusega.

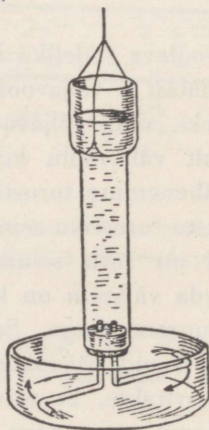
Vedeliku voolamise kiirus ühtlase jämedusega torus on ühtlane kogu toru pikkusel, asetsegu toru mistahes sihis. Kui aga torustik on kohati jämedam või peenem, siis muutub voolamise kiirus toru vastavas osas. See on ka arusaadav, sest

vedelikud on kokkusurumatud ja sellepärast ühes ajaühikus läbivoolav vedeliku hulk mitmesuguse torustiku jämeduse juures on igas torustikuosas ühesugune. Vastavalt sellele toru jämenemisel vedeliku voolamise kiirus väheneb, ja ümberpöördult – toru peenenemisel suureneb vedeliku voolamise kiirus.

38. Voolava vedeliku vastusurve. Vedelik avaldab anuma seintele rõhku, mille suurus oleneb vedeliku erikaalust. Igasugusel sügavusel on rõhumine seintele igas sihis ühesugune ja sellepärast ei avalda vedeliku rõhk mingit nähtavat mõju. Kui aga anuma ühes külge on avaus, mille kaudu vedelik välja voolab, väheneb surve sellele küljele ja vedelik rõhub avause vastaskülge suurema jõuga. Kui anum on vabalt liikuv, siis tõukab väljavoolav vedelik anumad vee väljavoolu suunale vastupidises suunas (joonis 41).



Joonis 41.



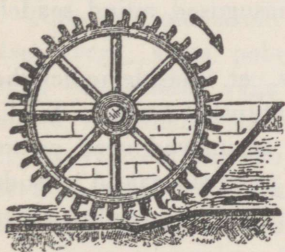
Joonis 42.

Voolava vedeliku vastusurve leiab praktilist kasutamist vesiturbiinides. Kõige lihtsam vesiturbiin on Segneri ratas (joonis 42). Silindrilisest anumast voolab vesi põiktorudesse, mille otsad on keeratud täisnurga all. Vee väljavoolamisel tõukuvad torude otsad vee väljavoolamisele vastupidises suunas, mis paneb tiirlema kogu silindri.

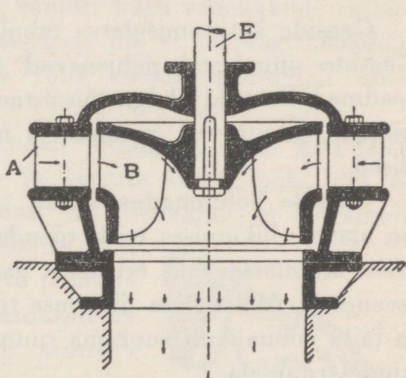
39. Vesimootorid. Kõrgemalt tasemelt madalamale voolava vee energia muudetakse mehaaniliseks tööks vesimootorite abil. Vesimootorid jagunevad kahte pealiiki: vesirattad ja vesiturbiinid.

Altlöödava vesiratta (joonis 43) juures voolab vesi vesivärava alt läbi ja põrkab teatava kiirusega vastu vesiratta labidaid, pannes sellega ratta tiirlema. Altlöödava vesiratta juures mõjub vee kiirus. Pealtlöödava vesiratta labidaile juhitakse vesi ülevalt renni mööda. Vesi paneb ratta tiirlema peamiselt oma raskuse mõjul.

Viimasel ajal on vesirattad kaotanud oma tähtsuse, sest nende tiirude arv on väike ja vähene osa vee jõust kasutatakse ära. Tänapäeva veejõumasinaks on vesiturbiin.



Joonis 43.



Joonis 44.

Vesiturbiini (Francis'e turbiini) ehitusviis on näidatud joonisel 44. Turbiin koosneb paigalseisvast juhtrattast, mille juhtlabidate A vahelt voolab vesi töörattele. Tööratta labidad B on säärase kujuga, et juhtrattast tulev vesi põrkab vastu tööratte labidaid ja paneb seega tööratte ühes völliiga E tiirlema. Turbiinides kasutatakse peale voolava vee tõuke ka turbiinist väljavoolava vee vastusurvet (sama põhimõte, mis paneb liikuma Segneri ratta). Vastavalt vee mõjumisviisile jagunevad vesiturbiinid mitmesse alaliiki.

Gaasid.

40. Gaaside üldomadused. Kõige levinum gaas on õhk, mis täidab meid ümbritsevat ruumi, kus parajasti ei asetse mingi muu tahke, vedel ega gaasiline aine. Teised tehniliselt tähtsamad gaasid on hapnik, vesinik, süsihapu gaas, ammoniaak, atsetüleen, valgustusgaas ja teised.

Gaaside kasutamiselatus tehnikas on õige mitmekülgne. Gaaside omadustel põhjenevad ruumide kütte- ja jahutus-seadmed, surutud õhuga tööriistad ja liiklemisvahendite õhkpidurid, õhulaevad, pumbad ja mitmesugused muud seadeldised.

Gaaside põhiomadus seisab selles, et gaaside molekulid on alatises liikumises, mida tõendab nähtus, et kui lasta kinnisesse anumasse kaks erisugust gaasi, segunevad need gaasid iseenesest. Molekulide liikuvuse tõttu püüavad gaasid paisuda ja täita võimalikult suurema ruumala; gaasidel puudub seega kindel ruumala.

Kinnises anum asuva gaasi paisumistung avaldub gaasi rõhuna anuma seintele. Rõhu suurus oleneb gaasi molekulide arvust ühes ruumala-ühikus – mida rohkem neid on, seda suurem on ka gaasi rõhk.

Gaasid on kergesti kokkusurutavad. Kui suruda õhk kokku näiteks jalgratta õhupumba silindris, hoides näppu õhutoru otsal, suureneb õhu molekulide arv silindris igas ruumala-ühikus ja seetõttu suureneb õhu rõhk. Surve lakkamisel tõukab suurenenud õhurõhk kolvi endisesse asukohta tagasi. Õhk ja samuti ka teised gaasid on seega elastsed.

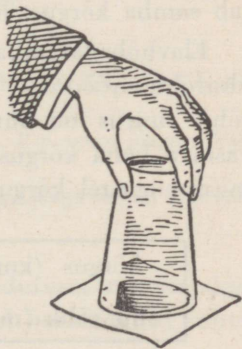
Kuna gaasi osakesed on väga kergesti liikuvad, kandub gaasile avaldatud surve edasi igas sihis ühesuguse rõhuga. Selles mõttes on gaasid samade omadustega kui vedelikud; ka mõned teised gaaside omadused ühtivad vedelikkude omadustega.

41. Õhu rõhk. Maakera ümbritseb mitmesaja kilomeetri kõrguselt õhukiht, mida nimetatakse õhkkonnaks ehk atmosfääriks. Õhkkonda võib võrrelda suure sügava ookeaniga, mille põhjaks on maakera pind.

Kuna ka õhul on teatav kaal, siis rõhuvad ülemised õhukihi oma raskusega alumisi. Õhu rõhk on seega seda suurem, mida lähemal asub vastav kiht maakera pinnale. See rõhk andub edasi igas sihis, samuti nagu vedelikkude raskusest esilekutsutud rõhk. Seepärast me ei märkagi kehadele mõjuvat õhurõhku, sest see rõhk mõjub igakülgsest ühesuguse jõuga.

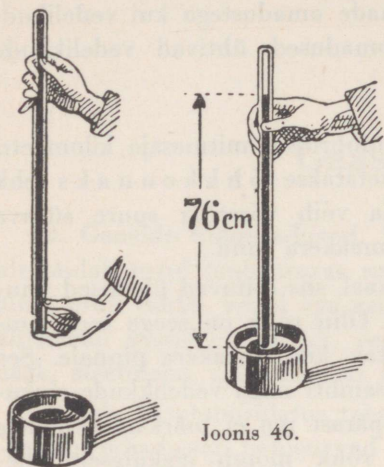
Õhurõhu olemasolu tõendab järgmine katse. Kui täita klaas veega, katta paberiga ja keerata klaasil põhi üles, ei voola vesi klaasist välja (joonis 45). Seletatav on see ainult sellega, et vedeliku surve paberile ülalt alla on väiksem kui õhu surve paberile alt üles. Õhu rõhumist tõendavad ka järgmised katsed: õhukeste seintega kummitoru surutakse kokku paelaks, kui torust õhk välja imeda; veega täidetud pudel, mis on asetatud kaelaga vette, ei tühjene; õhukeste seintega kinnine plekktoos surutakse kokku, kui sellest õhk kõrvaldada jne.

Õhkkonna rõhu suurus määratakse kindlaks Torricelli (loe: torritšelli) katsega. Selleks täidetakse ühest otsast kinnine, vähemalt 80 cm pikkune klaastoru ääreni elavhõbedaga, kaetakse toru ots sõrmega, pööratakse toru kummuli ja asetatakse toru ots



Joonis 45.

elavhõbedaanumasse (joonis 46). Sõrme äravõtmisel ei voola toru elavhõbedast tühjaks, vaid elavhõbedasammas torus langeb umbes 760 mm kõrgusele, arvates elavhõbeda pinnast anumas. Toru ülemine osa on õhutühi ja seega elavhõbedasambale ülalt mingit rõhku pole. Kuna elavhõbe püsib torus, peab elavhõbedasamba rõhku tasakaalustama õhu rõhk anumas oleva elavhõbeda pinnale.



Joonis 46.

samba surve küll suurem, kuid rõhk, s. t. surve 1 cm² pinnale, on siiski endine. Seetõttu asetub elavhõbedasammas ikka ühele ja samale kõrgusele igasuguse läbimõõduga torudes, eeldusel, et õhu rõhk ei muutu. Väga peenes torus mõjutab samba kõrgust jõhvsus.

Elavhõbedasamba kõrgus ülalt õhutühjas torus on seega õhurõhu mõõduks. Normaalne õhurõhk on 760 mm. Õhurõhu suurus on muutuv, olenedes ilmastikutingimustest ja vastava koha kõrgusest merepinnast. Keskmiselt on õhurõhk mitmesugustel kõrgustel järgmine:

kõrgus (km)	0	10	20	30	40	50
õhu rõhk (mm)	760	228	68	20	6	1

Õhu normaalset rõhku nimetatakse füüsikaliseks atmosfääriks.

Kui elavhõbedasamba kõrgus on 76 cm ja elavhõbedaeerikaal on 13,6, siis valemi 9 järgi on elavhõbeda rõhk

$$p = 0,1 \cdot h \cdot e = 0,1 \cdot 0,76 \cdot 13,6 = 1,033 \text{ kg/cm}^2,$$

s. t. õhu rõhk on 1,033 tehnilist atmosfääri. Käesolevas raamatus on atmosfääri all mõeldud igal pool tehnilist atmosfääri.

1 at rõhumisele vastav elavhõbedasamba kõrgus on

$$760 : 1,033 = 735 \text{ mm.}$$

Kui Torricelli katset korrata veega, oleks veesamba kõrgus 13,6 korda suurem, sest vesi on nii mitu korda kergem elavhõbedast. Seega suudab normaalne õhurõhk hoida veesammast, mille kõrgus on $76 \cdot 13,6 = 1033 \text{ cm}$ ehk 10,33 m.

Näiteid:

32. Mitu atmosfääri on rõhk 745 mm elavhõbedasammast?

$$735 \text{ mm} = 1 \text{ at}$$

$$1 \text{ mm} = \frac{1}{735} \text{ at}$$

$$745 \text{ mm} = 745 \cdot \frac{1}{735} = 1,013 \text{ at.}$$

33. Kui suure jõuga surub õhk 100 cm² suurusele pinnale, kui õhurõhk on 750 mm?

$$\text{Õhurõhk atmosfäärides on } 750 \cdot \frac{1}{735} = 1,02 \text{ at.}$$

$$\text{Survejõud } P = p \cdot S = 1,02 \cdot 100 = 102 \text{ kg.}$$

Ulesandeid:

66. Mitu atmosfääri on rõhk a) 830 mm; b) 700 mm elavhõbedasammast?

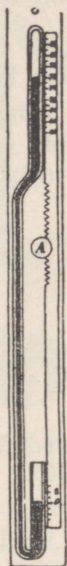
67. Silindris liikuva kolvi läbimõõt on 20 cm. Kui suure jõuga rõhub õhk kolvile, kui silindrist õhk välja pumbata?

68. Inimese keha pindala on 1,5 m². Kui suure jõuga mõjub õhurõhk inimesele?

42. Baromeetrid. Õhurõhumise mõõduriista nimetatakse baromeetrik. Ehitusviisilt jagunevad baromeetrid kahte rühma: elavhõbe- ja aneroidbaromeetrid.

Kõige lihtsam baromeeter on nn. anumberbaromeeter, mida moodustab Torricelli katseks kasutatav toru ühes elavhõbedaanumaga; toru kõrvale on asetatud mõõtlatt elavhõbedasamba kõrguse lugemiseks. Otstarbekohasema ehitus-

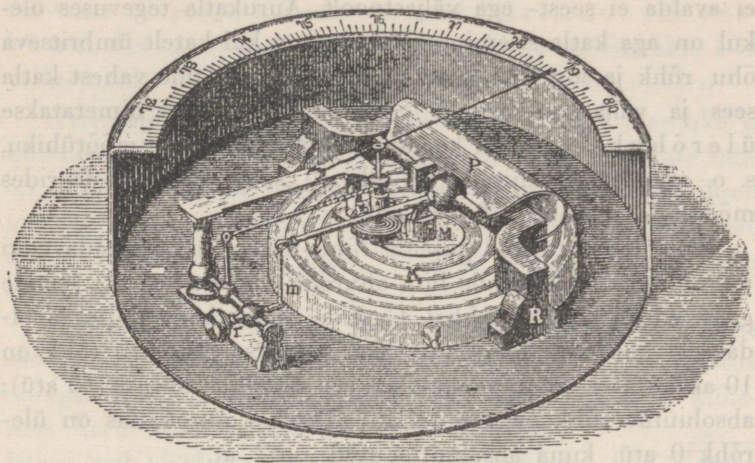
viisiga on nn. sifoonbaromeeter (joonis 47). Sellel baromeetril on toru lahtine ots keeratud U-taoliselt kõveraks. Elavhõbedaanuma aset täidab siin toru lühem haru, milles asuvale elavhõbedale mõjub õhu rõhk. Õhurõhu suurenemisel tõuseb elavhõbeda pind toru pikemas harus ja langeb lühemas harus. Elavhõbedasamba kõrguseks tuleb lugeda elavhõbeda pindade vahet. Rõhu mõõtmisel peab sellepärast elavhõbeda madalama pinna asetama kohastikku mõõtlatti nullpunktiga. Selleks nihutatakse mõõtlatti kruvi *A* abil.



Elavhõbe-baromeeter on täpne, kuid vajab oma kõrguse tõttu palju ruumi ja on kergesti purunev. Ka tuleb tähele panna, et baromeeter oleks alati loodis. Vedelikuta baromeetrid aga vajavad väga vähe ruumi ja näitavad ühtviisi igas asendis.

Aneroidbaromeeter (joonis 48) koosneb lamedast õhutühjast metallkarbist *K*, mille ülemine kaas on lainekujuline. Et väline õhurõhk ei saaks karpi kokku suruda, on kaas ühendatud temale asetatud samba *M* kaudu lehtvedruga *P*, mille teine ots on kinnitatud raami *R* külge. Õhurõhu vähenemisel tõuseb karbi *K* kaas veidi ülespoole, mille tõttu kangi *l* vasakpoolne ots pöörduv ülespoole. Kangi *m*, võlli *r* ja kangi *t* kaudu kandub see liikumine edasi ketile *s*, mille teine ots on keeratud ümber osuti võlli. Seega kangi *t* pöördumisel vasakule nihkub ka osuti vasakule. Osuti liigub piki skaalat, millele on märgitud osuti igale asukohale vastavad elavhõbedasamba kõrgused. Õhurõhu suurenemisel pöörduvad kangid vastupidises suunas ja kett *s* jääks lõdvalt ripsuma. Et ka nüüd osuti pöörduks, selle eest hoolitseb osuti võlli alumise otsa külge kinnitatud spiraalvedru, mis hoiab ketti alati pingul. Metallbaromeetri puudumiks on karbi *K* kaane elastsuse vähenemine aja jooksul. Seetõttu tuleb metallmanomeetrit aeg-ajalt reguleerida.

Baromeetri tegelik tähtsus seisab selles, et teda kasutatakse ilmade ennustamiseks ja kõrguse mõõtmiseks õhulaevadel ja lennukitel. Õhurõhu vähenemisel võib oodata sadusid ja tuuli; õhurõhu suurenemisel tuleb loodetavasti ilus ilm.



Joonis 48.

Kõrguse mõõtmiseks kasutatakse nähtust, et õhurõhk väheneb kõrgemates õhukihtides. Alumistes õhukihtides langeb baromeeter ligikaudu 1 mm võrra iga 10 m tõusu kohta. Kõrgemates õhukihtides on rõhu vähenemine väiksem, sest ülal on õhk hõredam.

43. Gaaside rõhk ja selle mõõtmine. Kinnises anum asuval gaasil on samuti nagu õhulgi teatav rõhk. Gaaside rõhku mõõdetakse harilikult atmosfäärides. Aga samuti saab gaasi rõhku mõõta elavhõbedasamba kõrgusega; väga väikest rõhku mõõdetakse veesamba kõrgusega millimeetreis.

$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 735 \text{ mm elavhõbedasammast} = 10\,000 \text{ mm veesammast}.$

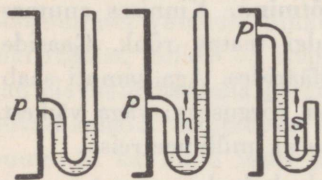
Harilikult pole vajadust teada, kui suur on gaasi tõeline rõhk, vaid palju vajalikum on teada, kui palju on kinnises

anumas asuva gaasi rõhk suurem või väiksem anumad ümbritseva õhu rõhust. Kui näiteks aurukatel on «tühi», s. t. sisaldab ainult õhku, on õhurõhk katlas niisama suur kui väljastpoolt katelt ja katla seintele õhurõhk mingisugust mõju ei avalda ei seest- ega väljastpoolt. Aurukatla tegevuses olekul on aga katla sisemine rõhk suurem kui katelt ümbritseva õhu rõhk ja surve katla seintele oleneb rõhkude vahet katla sees ja väljaspool katelt. Seda rõhkude vahet nimetatakse ülerõhuks. Ülerõhu korral lisatakse vahel rõhu mõõtühiku, s. o. atmosfääri tähisele (at) täht ü; seega on atmosfäärides mõõdetud ülerõhu tähiseks atü.

Kõik mõõduriistad gaaside rõhu mõõtmiseks mõõdavadki ülerõhku. Kui ülerõhule liita õhurõhk (ligikaudu 1 at), leiame gaasi absoluutse rõhu. Gaaside rõhust kõnelemisel mõeldaksegi harilikult ülerõhku. Kui öeldakse, et auru rõhk on 10 atmosfääri, siis tähendab see arv ülerõhu suurust (10 atü); absoluutne rõhk on aga 11 at. «Tühjas» aurukatlas on ülerõhk 0 atü, kuna absoluutne rõhk on 1 at.

44. Manomeetrid ja vaakuummeetrid. Manomeetriks nimetatakse riista, millega mõõdetakse vedelikkude ja gaaside rõhku. Manomeetrid jagunevad kahte pearühma: vedelikmanomeetrid ja metallmanomeetrid.

Vedelik-manomeetrid. Vedelik-manomeeter (joon. 49–50) koosneb U-taolisest torust, mille üks ots on ühendatud anumaga, milles asub mõõdetav gaas, kuna toru teine ots on lahtine. Torusse on kallatud mingisugune vedelik. Kui gaasi rõhk p on niisama suur kui õhu rõhk, asub vedelik toru mõlemas harus ühekõrgusel ja ülerõhk anumas on seega null (joonis 49).



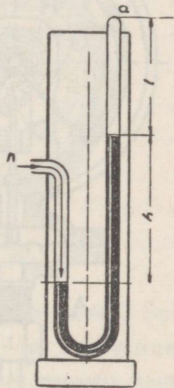
Joonis 49–51.

Kui gaasi rõhk p anumas on suurem õhu rõhumisest, tõuseb vedeliku pind lahtise otsaga torus; ülerõhk on võrdeline

vedeliku pindade kõrguste vahega h (joonis 50). On aga gaasi rõhk p väiksem õhu rõhust, tõuseb vedelikusammas gaasi-anumaga ühendatud toruharus (joonis 51). Vedeliku pindade vahe s näitab, kui palju gaasi rõhk on väiksem õhu rõhust, või teiste sõnadega, kui suur on gaasi hõrendus ehk vaakuum. Seesuguseid manomeetreid, millega mõõdetakse 1 at väiksemaid rõhke, nimetatakse vaakuummeetreiks.

Vesimanomeetriga saab mõõta ainult väikesi ülerõhke ja hõrendusi, sest 1 mm veepindade vahele vastav rõhkude vahe on ainult 0,0001 at. Elavhõbe-manomeetriga saab praktiliselt mõõta 0 – 2 at absoluut-rõhku (0 at absoluut-rõhku tähendab täiesti õhutühja ruumi, nagu Torricelli tühjus elavhõbe-baromeetri torus).

Suuremate ülerõhkude mõõtmiseks kasutatakse kinnise otsaga manomeetrit (joonis 52), mis on harilikult elavhõbeda täitega. Hariliku õhurõhu juures on elavhõbeda pind mõlemas harus ühekõrgusel, sest toru kinnises harus asub elavhõbedasamba peal õhk. Rõhu suurenemisel anumas surutakse toru kinnises osas olev õhk kokku ja seega suureneb vasturõhk toru kinnises harus seda enam, mida kõrgemale elavhõbedasammas tõuseb. Seejärest ei suurene elavhõbeda pindade vahe võrdeliselt gaasi rõhuga, nagu see sünnib lahtise otsaga manomeetri juures, vaid pindade vahe suurenemine jääb seda väiksemaks, mida suuremaks muutub mõõdetav rõhk. Kinnise otsaga manomeetreid kasutatakse võrdlemisi harva.



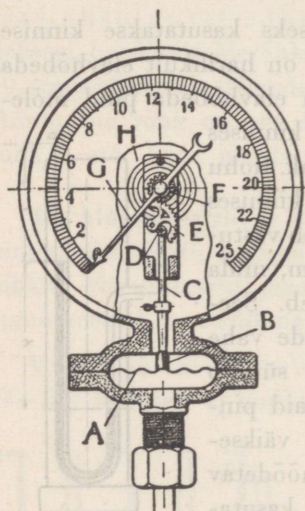
Joonis 52.

Kinnise toruotsaga vaakuummeeter sarnaneb täiesti joonisel 52 kujutatud manomeetriga. Ainuke vahe seisab selles, et hariliku õhurõhu juures on kinnine toruosa täiesti täidetud elavhõbedaga (kui toru kinnine ots ei ole toru lahtises harus asuvast elavhõbeda pinnast kõrgemal, kui on elavhõbedasamba kõrgus baromeetris). Kui lahtine

toruots ühendada ruumiga, kus valitseb alarõhk, langeb elavhõbeda pind toru kinnises osas. Elavhõbeda pindade vahe millimeetris näitab absoluut-rõhku. Elavhõbeda pinnad mõlemas toruharus on ühekõrgusel siis, kui mõõdetav rõhk on null, s. t. kui lahtine toruharu on ühendatud täiesti õhutihja ruumiga.

Metallmanomeetrid. Tehnikas kasutatakse harilikult metallmanomeetreid, sest need on palju lihtsamini käsitatavad ja sealjuures on nendega võimalik mõõta igasuguse suurusega üle- ja alarõhke. Metallmanomeetrid jagunevad kahte rühma: membraanmanomeetrid ja torumanomeetrid.

Membraanmanomeeter (joonis 53) on toru kaudu ühendatud anumaga, milles asub mõõdetav gaas või vedelik. Rõhk andub edasi terasplekist vetruvale membraanile *A*, mis surve mõjul paindub ülespoole seda enam, mida suurem on rõhk. Membraani liikumine kandub edasi tihvti *B*, varda *C* ja liigendi *D* kaudu hammassektorile *E*, mis rõhu suurenemisel pöörduv ja ühes sellega pöörab ka hammasratast *F* ja selle külge kinnitatud osutit *G*. Osuti liigub piki ringskaalat, millel on jaotused atmosfäärides. Rõhu vähenemisel pöörab spiraalvedru *H* osuti algseisakusse tagasi.

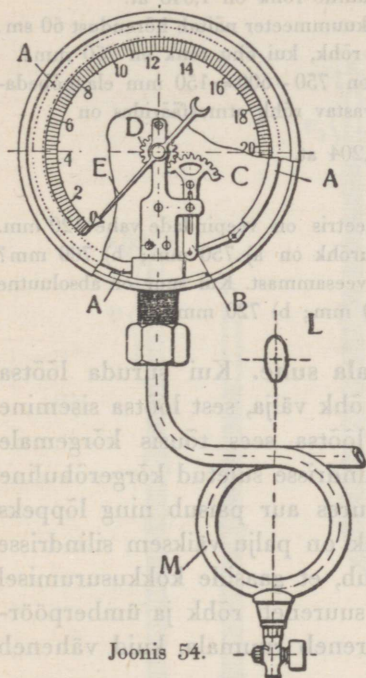


Joonis 53.

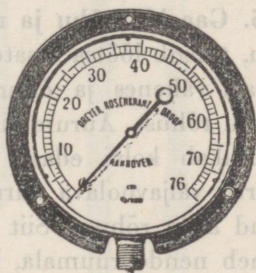
Torumanomeetri (joonis 54) tähtsam osa on kõveraks keeratud ovaalse põiklõikega toru *A*. Toru vasakpoolne ots on ühenduses rõhu all oleva anumaga toru *M* kaudu, kuna parempoolne vaba ots on kinnine ja ühendatud hoova kaudu kangiga *B*, mille teises otsas on hammassektor *C*.

Hammassektori hambad on ühenduses hammasrattaga *D*, mille külge on kinnitatud osuti *E*. Manomeetri tööviis seisab selles, et rõhu suurenemisel püüab toru sirgeneda, rõhu vähenemisel aga kõverdub toru rohkem. Toru otsa liikumine andub edasi osutile, nii et skaalalt on otsekohe loetav rõhu suurus.

Et manomeetri toru kõverus oleneb ka temperatuurist, sellepärast tuleb aururõhu mõõtmiseks määratud manomeetri toru kaitsta kuuma auru eest. Selleks on manomeetrit ja aurukatelt ühendav toru keeratud spiraali või teeb toru U-



Joonis 54.



Joonis 55.

taolise käänaku, milles tekib veeldunud aurust «veekott». Sel viisil täitub manomeetri sisemus jaheda veega ja aur sinna ei pääse. Manomeetri näitamine selle tagajärjel ei muutu, sest vesi torus on samasuguse rõhu all nagu aurgi.

Metallvaakuummeetri tööviis sarnaneb manomeetri tööviisiga. Joonisel 55 on näidatud ühe vaakuummeetri skaala, millelt on loetav, mitu elavhõbedasamba sentimeetrit on mõõdetav rõhk väiksem õhu rõhust. Kui osuti on viimasel jaotusel (76), siis tähendab see, et vaakuummeetriga ühendatud anum on täiesti õhutühi.

Näiteid:

34. Lahtise otsaga vedelik-manomeetris on veepindade kõrguste vahe 15 cm. Kui suur on gaasi absoluutne rõhk, kui õhurõhk on 760 mm?

760 mm elavhõbedasamba rõhk on 1,033 at

15 cm kõrguse veesamba rõhk on 0,015 at

gaasi absoluutne rõhk on 1,048 at.

35. Aurumasina kondensaatori vaakuummeeter näitab hõrendust 60 sm. Kui suur on kondensaatoris absoluutne rõhk, kui õhu rõhk on 750 mm?

Absoluutne rõhk kondensaatoris on $750 - 600 = 150$ mm elavhõbedasammast. Sellele elavhõbedasambale vastav rõhk atmosfäärides on

$$\frac{150}{735} = 0,204 \text{ at.}$$

Ulesandeid:

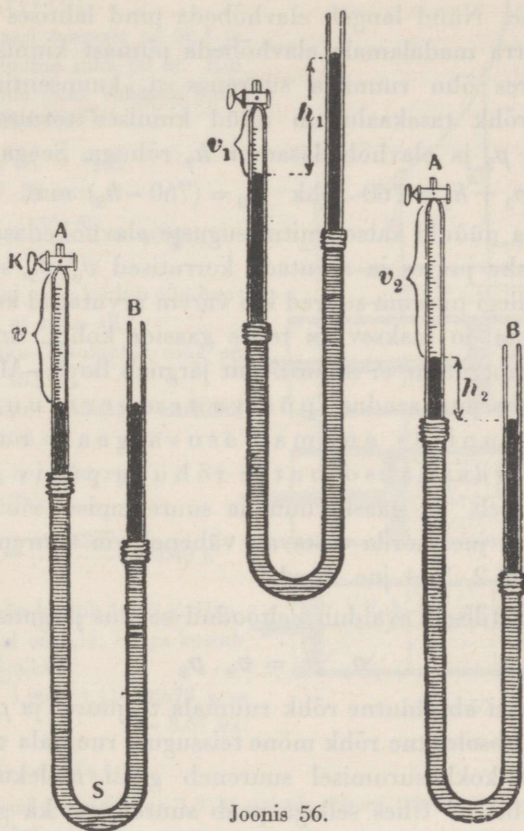
69. Lahtise otsaga vedelik-manomeetris on veepindade vahe 120 mm. Kui suur on absoluutne rõhk, kui õhurõhk on a) 750 mm; b) 700 mm?

70. Korstnas on hõrendus 10 mm veesammast. Kui suur on absoluutne rõhk korstnas, kui õhurõhk on a) 750 mm; b) 720 mm?

45. Gaaside rõhu ja ruumala suhe. Kui suruda lõõtsa kokku, tungib lõõtsa otsatorust õhk välja, sest lõõtsa sisemine ruumala vähenes ja õhurõhk lõõtsa sees tõusis kõrgemale välisõhu rõhust. Aurumasina silindrisse suletud kõrgerõhuline aur tõukab kolvi edasi, kusjuures aur paisub ning lõppeks silindrist väljavoolava auru rõhk on palju väiksem silindrisse juhitud auru rõhust. Siit nähtub, et gaaside kokkusurumisel väheneb nende ruumala, kuid suureneb rõhk ja ümberpöörduvalt – gaaside paisumisel suureneb ruumala, kuid väheneb rõhk.

Gaasi rõhu ja ruumala vahetada selgitatakse joonisel 56 kujutatud aparaadiga. Kaks klaastoru *A* ja *B* on omavahel ühendatud kummivoolikuga *S*. Toru *A*, mille ülemine ots on suletav kraaniga *K*, on kinnitatud aparaadi jala külge, kuna lahtise otsaga toru *B* on võimalik kõrgemale tõsta ja madalale lasta. Voolik ja osa klaastorudest on täidetud elavhõbedaga. Kui kraan *K* on avatud, asub elavhõbeda pind mõlemas torus ühekõrgusel, sest õhurõhk mõlemas torus on ühesuurune. Kraani sulgemisega eraldub torus *A* teatav õhuhulk, mille ruumala on loetav torule tehtud skaalalt.

Toru B tõstmisel tõusevad elavhõbedasambad mõlemas torus, kui kraan K on suletud. Lahtises torus aga asetub elavhõbeda pind kõrgemale h_1 mm võrra, kuna kinnises torus väheneb õhu ruumala v_1 kuupsentimeetritni. Õhu absoluutne



Joonis 56.

rõhk kinnises torus võrdub seega h_1 mm kõrguse elavhõbedasamba rõhuga, millele tuleb liita välisõhu rõhk. Seega on kinnises torus oleva õhu rõhk $p_1 = (h_1 + 760)$ mm. Korrates katset mitmesuguste elavhõbedasammaste vahe juures ja mõõtes igakord kinnises torus asuva õhu ruumala ja selle rõhku ning korrutades igakord kinnises torus oleva õhu ruumala v_1

tema absoluutse rõhuga p_1 , leiame, et õhu kokkusurumisel on see korrutis $v_1 \cdot p_1$ alati püsiv suurus.

Sama saab tõendada ka õhu ruumala suurenemise ehk hõrenduse kohta. Selleks langetatakse toru B algseisakust madalamale. Nüüd langeb elavhõbeda pind lahtises torus B h_2 mm võrra madalamale elavhõbeda pinnast kinnises torus A , kusjuures õhu ruumala suurenes v_2 kuupsentimeetrini. Välisõhu rõhk tasakaalustub nüüd kinnises toruosas oleva õhurõhuga p_2 ja elavhõbedasamba h_2 rõhuga. Seega

$$p_2 + h_2 = 760 \quad \text{ehk} \quad p_2 = (760 - h_2) \text{ mm.}$$

Kui korrata nüüdki katset mitmesuguste elavhõbedasammaste pindade vahe juures ja arvutada korrutised $v_2 \cdot p_2$, selgub, et need on jällegi niisama suured kui varem arvutatud korrutised $v_1 \cdot p_1$. Sama on maksev ka teiste gaaside kohta, tingimusel, et gaasi temperatuur ei muutu. Siit järgneb Boyle–Marriotte'i (loe: boil-marjoti) seadus: püsiva temperatuuri juures on kinnises anum asuva gaasi ruumala korrutis gaasi absoluutse rõhuga püsiv suurus. Sellest järgneb, et gaasi ruumala suurenemisel või vähenemisel 2, 3, 4 jne. korda vastavalt väheneb või suureneb gaasi rõhk samuti 2, 3, 4 jne. korda.

Matemaatiliselt avaldub eeltoodud seadus järgmisel kujul:

$$v_1 \cdot p_1 = v_2 \cdot p_2 \quad (19)$$

kus p_1 – gaasi absoluutne rõhk ruumala v_1 juures ja p_2 – sama gaasihulga absoluutne rõhk mõne teissuguse ruumala v_2 juures.

Gaaside kokkusurumisel suureneb gaasi molekulide arv ruumala ühikus. Uhes sellega peab suurenema ka gaasi erikaal. Siit järeldub, et gaasi erikaal oleneb gaasi rõhust.

Gaasi rõhu muutumist ruumala muutumisel näitab kõige piltlikumalt vastav diagramm (joonis 57). Selleks märgitakse diagrammi rõhtloodis teljele gaasi ruumala, kuna loodis teljele märgitakse gaasi rõhk. Saadud kõverast nähtub, et ruumala vähenemisel võrreldes algruumalaga suureneb gaasi rõhk kiiresti.

Õhu rõhul ja Boyle-Marriotte'i seadusel põhjeneb rida mitmekesiseid aparate ja seadmeid, mis igapäevases elus ja tehnikas on laialt kasutamisel, nagu pipett, sifoon, pumbad jt.

Näiteid:

36. Gaasi ruumala on 50 l ja gaasi absoluutne rõhk 80 at. Kui suur on selle gaasi ruumala harilikul õhurõhumisel?

$$v_1 \cdot p_1 = v_2 p_2$$

$$50 \cdot 80 = v_2 \cdot 1$$

$$v_2 = \frac{50 \cdot 80}{1} = 4000 \text{ l.}$$

37. Kui palju kaalub 40 l hapnikku 150 at rõhu all?

Hapniku absoluutne rõhk on $150 + 1 = 151$ at.

Hapniku ruumala harilikul õhurõhumisel on

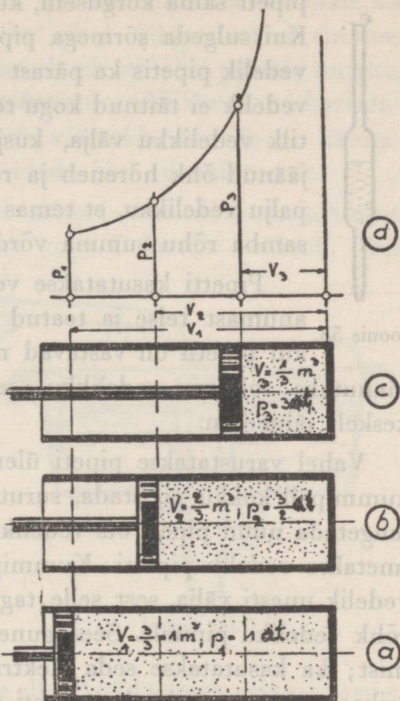
$$v_1 \cdot p_1 = v_2 p_2$$

$$40 \cdot 151 = v_2 \cdot 1$$

$$v_2 = \frac{40 \cdot 151}{1} = 6040 \text{ l.}$$

1 l õhku kaalub 1,293 g. Hapniku erikaal on 1,11. Seega kaalub 6040 l hapnikku

$$G = 6040 \cdot 1,293 \cdot 1,11 = 8670 \text{ g} = 8,67 \text{ kg.}$$



Joonis 57.

Ulesandeid:

71. 6 m^3 gaasi rõhuga 1,5 at paisub rõhuni 0,5 at. Kui suur on gaasi uus ruumala?

72. Kui suur on 1 m^3 õhu ruumala 50 at rõhu all?

73. Õhu ruumala 1 at rõhu all on 100 l. Kui suur on õhu rõhk, kui õhku kokku suruda 80 liitriini?

74. Keevitamise algul näitab hapnikupudeli manomeeter rõhku 150 at ja keevitamise lõpul – 110 at. Mitu kuupmeetrit hapnikku hariliku rõhuga tarvitati? (Arvutada hapniku ruumala harilikul rõhul keevitamise algul ja lõpul.)

46. Pipett. Pipett ehk tõstetoru (joonis 58) on mõlemast otsast lahtine toru, mille alumine ots on peenemaks tehtud. Kui pipeti peenem ots langetada vedelikku, täitub pipett sama kõrguseni, kui on vedeliku pind anumask. Kui sulgeda sõrmega pipeti ülemine ots, siis hoidub vedelik pipetis ka pärast vedelikust väljatõstmist. Kui vedelik ei täitnud kogu toru, siis voolab pipetist mõni tilk vedelikku välja, kusjuures pipeti ülemisse ossa jäänud õhk hõreneb ja rõhk langeb. Pipetti jääb nii palju vedelikku, et temas oleva õhu rõhu ja vedelikusamba rõhu summa võrdub välisõhu rõhuga.

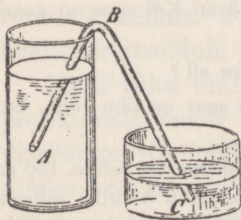


Joonis 58.

Pipetti kasutatakse vedelikkude tõstmiseks ühest anumast teise ja teatud hulga vedeliku mõõtmiseks, kui pipetil on vastavad mõõtekriipsud peal. Et pipett mahutaks rohkem vedelikku, selleks tehakse ta harilikult keskelt jämedam.

Vahel varustatakse pipeti ülemine ots kummipalliga. Kui kummipall kokku pigistada, surutakse õhk pipetist välja. Kui langetada nüüd pipeti ots vedelikku ja lasta kummipall lahti, imetakse vedelik pipetti. Kummipalli kokkusurumisel voolab vedelik uuesti välja, sest selle tagajärjel suurenes pipetis õhurõhk vedeliku pinnale. Seesugune pipett leiab rohket tarvitamist; ka kasutatakse seda elektriakumulaatorite elektrolüüdi erikaalu määramiseks, kui pipeti sisse on asetatud väike areomeeter.

47. Sifoon. Sifoon ehk tõstel (joonis 59) on kõveraks painutatud toru, mida kasutatakse vedeliku ümbervalamiseks ühest anumast teise.



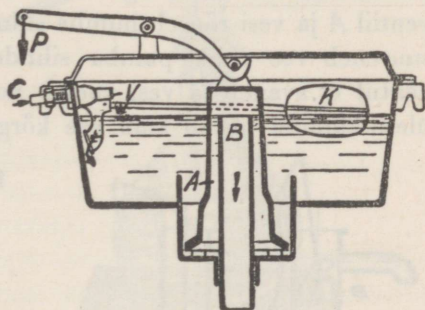
Joonis 59.

Sifooni toru ots A langetatakse tühjendatavasse anumasse. Kui imeda teise toru otsa kaudu õhk torust välja, tõuseb vedelik välise õhu rõhu mõjul torus üles, sest õhurõhk torus langes. Kui

vedelik on tõusnud toru käänakuni *B*, voolab ta sealt oma raskuse mõjul alla toru teise haru *C* kaudu. Kui toru on kord täitunud vedelikuga, siis voolab vedelik ühest anumast teise senikaua, kuni vedeliku pinnad mõlemas anumast ühekõrgusel või kuni vedeliku pind tühjendatavas anumast langeb madalamale toru otsast *A*, nii et õhk pääseb torusse. Hapete, leheliste ja muude mürgiste vedelikkude ümbervalamiseks kasutatakse sifoone, mis võimaldavad sifooni käimalaskmiseks hädaohutult kõrvaldada õhu sifooni torust.

Joonisel 60 on näidatud sifooni praktiline kasutamine klosetiloputajana. Vesi voolab toru *C* kaudu veekasti. Kui

veepind on tõusnud vajaliku kõrguseni, suleb ujuk *K* veetoru ventiili *V* ja vee juurdevool katkeb. Klosetiloputamiseks tõmmatakse kangi ots *P* korra alla, millega tõstetakse ühtlasi üles kangi teise otsa külge kinnitatud karp *A*. Selle tagajärjel väheneb õhu rõhk karbi all ja veepind tõuseb karbi all nii kõrgele,



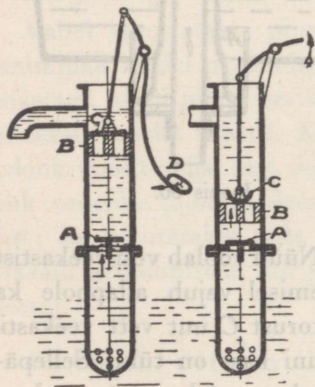
Joonis 60.

et toru *B* ülemine osa jääb vee alla. Nüüd voolab vesi veekastist toru *B* kaudu alla. Veepinna langemisel vajub allapoole ka ujuk *K* ja avab ventiili, mis laseb torust *C* uut vett veekasti. Veekastist voolab vett seni alla, kuni kast on tühi. Sellepärast peab juurdevoolava vee hulk olema väiksem äravoolava vee hulgest. Veepinna tõusuga sulgub ventiil *V* ja seade on uuesti töövalmis.

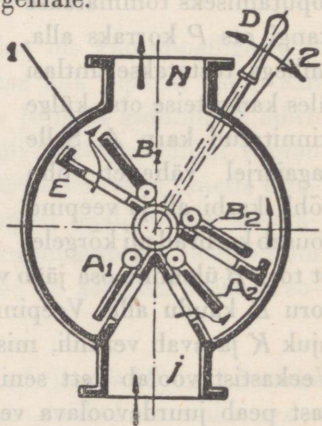
48. Pumbad. Pumpadega tõstetakse vedelikke madalamal asetsevast anumast kõrgemal asuvasse anumasse. Harilikult toimub tõstmine kahes osas: alguses imetakse vedelik pumba sisse ja tõstetakse siis edasi ülespoole. Kõige lihtsama ehitus-

viisiga on kolbpumbad, mis ehitus- ja tööviisilt jagunevad kahte pearühma: 1) tõstepumbad ja 2) survepumbad. Mõlemal tüübil toimub vedeliku imemine ühel ja samal viisil; erinevus seisab ainult imetud vedeliku edasitõstmise viisis.

Tõstepump. Joonisel 61 on näidatud tavalise tõstepumba ehitus. Pumbakang *D* on ühendatud pumba silindris tihedalt liikuva kolviga *B*. Kolvis on avause, mis on kaetud ülespoole avaneva ventiiliga (klapiga) *C*, milleks võib olla näiteks kummi- või nahkseib. Silindri põhjas on samuti ülespoole avanev ventiil *A*. Kolvi ülespoole liikumisel väheneb rõhk pumba silindris ja välise õhu rõhk surub ventiili *C* kinni; ühtlasi avaneb aga välise õhu rõhu mõjul veepinnale ventiil *A* ja vesi tõuseb pumba silindrisse. Kolvi allaliikumisel suureneb vee rõhk pumba silindris, ventiil *A* sulgub, kuna ventiil *C* avaneb ja vesi voolab kolvi peale. Järgmisel kolvi ülesliikumisel tõstab kolb vee kõrgemale.



Joonis 61.



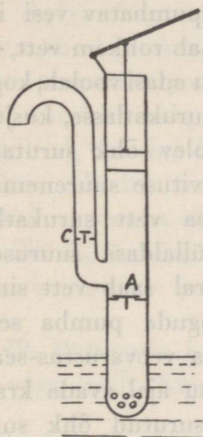
Joonis 62.

Vee tõstjaks pumba imemisel on õhu rõhk pumbatava vee pinnale. Kui pumbatav vesi oleks kinnises anumask, mis täielikult veega täidetud, siis ei töötaks pump.

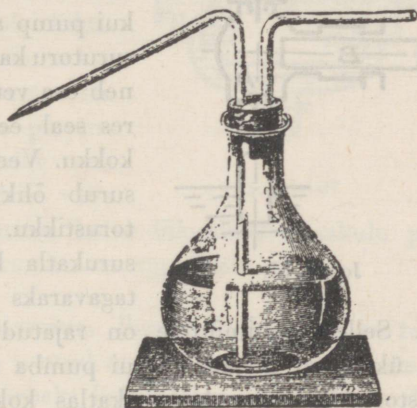
Peale kirjeldatud ehitusviisi on tegelikult tarvitusel ka teis-suguse ehitusviisiga, kuid samal põhimõttel töötavaid pumpi. Näitena on toodud joonisel 62 kujutatud tiibkolbpump.

Pumba imemistoru kinnitatakse toruliitmiku J külge, tõstetoru toruliitmiku N külge. Pumba tiibkolbi E liigutatakse käepideme D kaudu vahemikus $1-2$. Pumba ventiilide A_1 ja A_2 ning B_1 ja B_2 avanemine ja sulgumine selgub jooniselt.

Kui võrrelda tiibkolbpumpa harilikku tõstepumbaga, selgub, et viimases tõuseb vesi tõstetorus ülespoole ainult kolvi ülesliikumisel. Tiibkolbpumbas tõuseb vesi tõusutorus pumba hoova mõlemasihilisel liikumisel; seetõttu on sellel pumbatüübil väljavoolava vee juga ühtlasem.



Joonis 63.



Joonis 64.

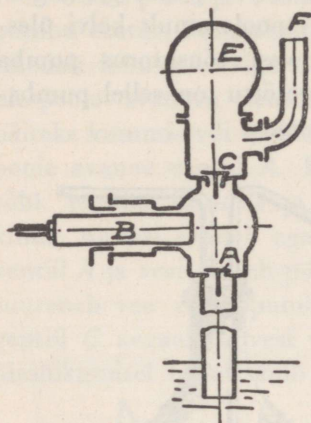
Survepump. Survepump erineb tõstepumbast sellega, et pumba kolb on massiivne ja et pumba silindrisse imetud vee tõstmiseks kasutatakse eritoru, mille alguses on surveventiil.

Joonisel 63 on näidatud ühe seesuguse pumba skeem. Kolvi allaliikumisel sulgub ventiil A , kuna ventiil C avaneb; kolvi ülesliikumisel avaneb ventiil A , kuna ventiil C sulgub.

Survepumpade juures kasutatakse sageli vee tõstmiseks surutud õhku. Joonisel 64 on näidatud kõige lihtsam sellekohane seade. Kui puhuda lühema toru kaudu õhku pudelisse, suureneb pudelis õhu rõhk vee pinnale. Selle tagajärjel

tõuseb vesi põhjani ulatuvas torus kõrgemale, kuni viimaks küllaldase rõhu juures purskub torust välja.

Samuti mõjub surukatel pumpade juures. Joonisel 65 on näidatud ühe seesuguse pumba skeem, kus on märgitud:



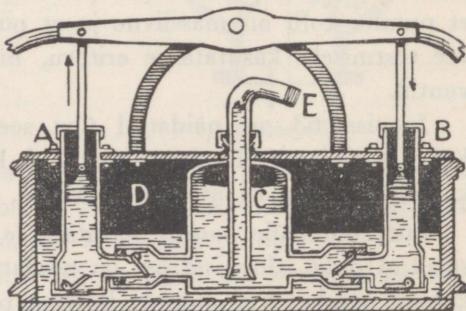
Joonis 65.

B – pumba kolb, *A* – imemisventiil, *C* – suruventiil, *E* – surukatel, *F* – surutoru. Tarvilikku ülerõhku surukatlas ei tekitata siin mitte lisaõhu juurdepuhumisega, vaid seda tekitab pumbatav vesi ise: kui pump annab rohkem vett, kui surutoru kaudu edasi voolab, koguneb osa vett surukatlasse, kusjuures seal ees olev õhk surutakse kokku. Veetarvituse suurenemisel surub õhk osa vett surukatlast torustikku. Küllaldase suurusega surukatla korral saab vett sinna tagavaraks koguda pumba seisu

ajaks. Sellele põhimõttele on rajatud osa veevarustus-seadmeid üksikutes majades: kui pumba seisu ajal avada kraan jaotustorustikus, surub surukatlas kokkusurutud õhk surukatlasse pumbatud vee torustiku ja kraani kaudu välja.

Surukatla ülesandeks on ka pumba torust väljavoolava veejoa ühtlustamine.

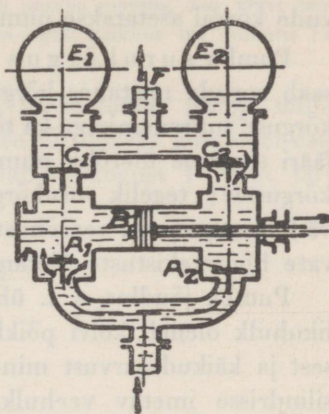
Ilma surukatlata tõugatakse vesi igakordsel kolvi allaliikumisel väljavoolu-torustikku järsu tõukega. Surukatlas kokkusurutud õhk aga pehmen­dab neid tõukeid, nii et torustikust voolab vesi välja ühtlase joana.



Joonis 66.

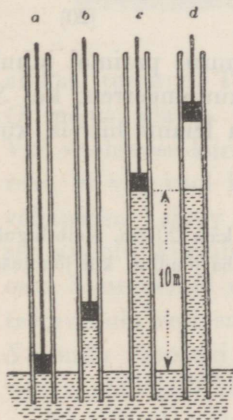
Tuletõrjeprits (joonis 66), mis annab väga ühtlast veejuga, koosneb kahest survepumbast, mis töötavad ühisele surukat-
lale. Pumba kolvid pannakse liikuma ühise kangi abil.

Joonisel 67 on näidatud ühe-
silindriline kahepoolse töö-
tamisega pump, mis surub
vett surukatlasse iga kolvi käiguga
(kolvi käiguks nimetatakse kolvi
teekonda ühest surnud punktist,
s. t. kolvi äärmisest seisakust
teise surnud punkti). Kolvi liiku-
misel paremale poole imetakse
vett silindri vasakpoolsesse ossa
ventiili A_1 kaudu, kuna parem-
poolses silindri osas olev vesi
surutakse pumba silindrist välja
ventiili C_2 kaudu. Pumba kolvi liikumisel vasakule poole
toimub imemine ja surumine vastupidiselt.



Joonis 67.

49. Pumpade kasutamine. Pumpasid kasutatakse tehni-
kas väga laialt. Kõigile tuntud on kaevu pump, milliseks ots-
tarbeks kasutatakse tavaliselt harilikku
tõstepumpa. Survepumpade kasutamis-
ala on laialdasem. Peale vesivarustus-
seadmete kasutatakse neid vedeliku
surve tekitamiseks vesipressides, tule-
tõrjepritsides, aurukatelde toitepumpa-
dena, mootorite põletusõlide ja jahutus-
vee pumpadena jne.



Joonis 68.

Pumba i m i k õ r g u s, s. t. pumba
imiventili kõrgus pumbatava vedeliku
pinnast võiks olla normaalse õhurõhu
juures 10 m (joonis 68), sest nii kõr-
gele suudab õhu rõhk vett tõsta, kui
imitorus oleks täielik vaakuum. Et seda

on raske saavutada ja et vee liikumine torustikus on seotud teatava takistusega, on praktiliselt kõige suuremaks pumba imikõrguseks 8 m, harilikult aga 6–7 m. Sügavamate kaevude korral asetatakse pumba silinder sügavamale kaevu sisse.

Pumba surukõrgus on teoreetiliselt piiramatu ja vett saab suruda mistahes kõrgusele. Loomulikult suureneb surukõrguse suurenemisega ka tõstmiseks vajalik jõud. Ühe atmosfääri suurune ülerõhk pumbas surub vett teoreetiliselt 10 m kõrgusele; tegelik surukõrgus on samuti nagu imikõrguski väiksem, sest osa veerõhust kulub vee liikumise seoses olevate hõõretakistuste ületamiseks.

Pumba jõudlus, s. t. ühe minuti jooksul pumbatav vedelikuhulk oleneb kolvi põiklõike pindalast, kolvi käigu pikkusest ja käikude arvust minutis. Iga imemiskäiguga on pumba silindrisse imetav veehulk $Q = S \cdot l$, kus S – kolvi põiklõike pindala ja l – kolvi käigu pikkus. Teeb pump minutis n imemiskäiku, siis on ühe minuti jooksul pumba jõudlus

$$Q = S \cdot l \cdot n$$

Et aga pumba ventiilid kolvi käigu suuna muutumisel ei saa silmapilkselt avaneda ega sulguda, voolab osa vett tagasi. Seepärast arvutatakse pumba tõeline jõudlus valemiga

$$Q = \mu \cdot S \cdot l \cdot n \quad (20)$$

kus μ on pumba jõudluse tegur, mille suurus parimal juhul on $\mu = 0,96$. (Veehulga minutis leiame kuupmeetreis, kui S ja l asetada valemisse meetreis; veehulga leiame liitreis, kui S ja l on detsimeetreis.)

Näide:

38. Pumba silindri läbimõõt on 6 cm ja kolvi käik 20 cm. Kolb liigub minutis 40 korda üles ja alla. Kui suur on pumba jõudlus, kui jõudluse tegur $\mu = 0,85$?

Kolvi põiklõike pindala

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,06^2}{4} = 0,28 \text{ dm}^2$$

Pumba jõudlus

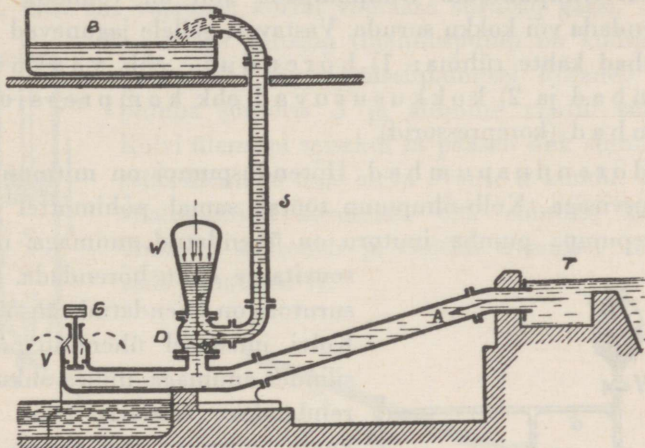
$$Q = \mu \cdot S \cdot l \cdot n = 0,85 \cdot 0,28 \cdot 2 \cdot 40 = 19 \text{ l/min.}$$

Ulesandeid:

75. Arvutada pumba jõudlus, kui kolvi läbimõõt on 20 cm, kolvi käik 50 cm, edasi-tagasi käikude arv minutis 65 ja jõudluse tegur 0,9.

76. Arvutada kahepoolse töötamisega pumba jõudlus, kui kolvi läbimõõt on 15 cm, kolvi käik 40 cm, edasi-tagasi käikude arv minutis 150 ja jõudluse tegur 0,88.

50. Vesioinas. Vesioinas on isetöötav pump, milles kasutatakse liikuva vee energiat vee tõstmiseks kõrgemal asuvasse paaki (joonis 69). Vesi voolab veekogust T (jõgi, järv,



Joonis 69.

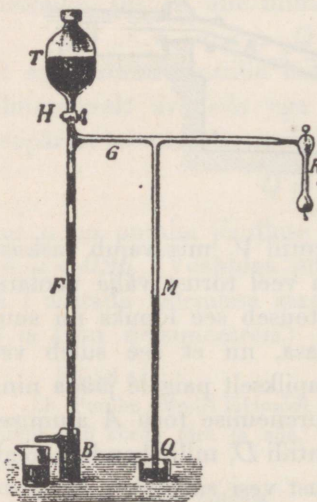
allikas) torru A . Toru otsas on ventiil V , mis vajub raskuse G mõjul alla ja võimaldab seega veel torust välja voolata. Vee voolamise kiiruse suurenedes tõuseb see lõpuks nii suureks, et vee vool kisub ventiili kaasa, nii et see suleb vee väljapääsu. Liikuv vesi ei saa silmapilkselt paigale jääda ning see asjaolu kutsub esile rõhu suurenemise toru A alumises osas. Suurenenud veerõhk avab ventiili D , mille kaudu voolab teatav hulk vett surukatlasse W , kust vesi surutakse surutoru S kaudu veepaaki B . Vahepeal avaneb aga ventiil V uuesti, vesi voolab läbi ventiili jne.

Vesioinast saab kasutada ainult neis kohtades, kus pumbatav vesi voolab iseenesest toru A mööda alla. Suurem osa

torust läbivoolavast veest kulub vesioina töölepanemiseks, kuna ainult väiksem osa tõstetakse üles, kusjuures ülestõstetava vee hulk oleneb vesioina toitevee langemise kõrguse ja tõstekõrguse suhtest. Kui näiteks tõstekõrgus on kaks korda suurem toitevee languse kõrgusest, tõstetakse üles umbes 35% vesioinast läbivoolanud veest, 10 korda suurema tõstekõrguse juures aga ainult umbes 30%.

51. Õhupumbad. Õhupumpade abil on võimalik õhku hõrendada või kokku suruda. Vastavalt sellele jagunevad õhupumbad kahte rühma: 1) hõrendus- ehk vaakuumpumbad ja 2) kokkusuruvad ehk kompressioonpumbad (kompressorid).

Hõrenduspumbad. Hõrenduspumpi on mitmesuguse ehitusviisiga. Kolb-õhupump töötab samal põhimõttel nagu survepump: pumba imitoru on ühendatud anumaga, milles soovitakse õhku hõrendada, kuna surutoru on ühendatud välisõhuga. Kolvi imemisel ühendub pumba silinder anumaga, milles õhku hõrendatakse; silindris tekib vaakuum, mistõttu õhk paisub anumas ja tungib silindrisse. Kolvi tagasiliikumisel surutakse silindrisse imetud õhk välja. Kolb-õhupump hõrendab õhku kuni 3–4 mm elavhõbedasamba rõhuni.



Joonis 70.

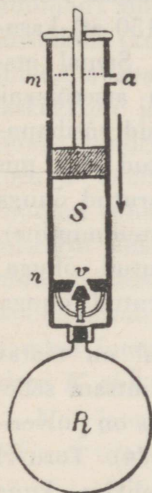
Elavhõbedaga töötav hõrenduspump on näidatud joonisel 70. Õhust tühjendatav anum *R* ühendatakse toru *G* kaudu umbes 1 m pikkuse toruga *F*. Toru *F* on kraani *H* kaudu ühendatud anumaga

T, mis on täidetud elavhõbedaga. Kraani *H* avamisel voolab elavhõbe mööda toru *F* alla ja kisub sealjuures õhu torust *G*

kaasa. Seega tühjeneb õhust ka anum R . Saavutatud hõrendust mõõdetakse torus M tõusva elavhõbedasamba kõrgusega. Täieliku vaakuumi juures on samba kõrgus torus M võrdne baromeetri seisuga.

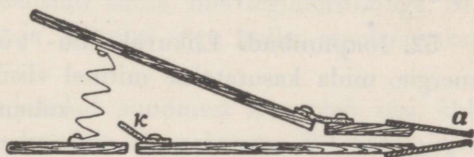
Hõrenduspumpi kasutatakse tehnikas vaakuumkurnades, elektri-hõõglampidest õhu kõrvaldamiseks jne.

Kompressorid. Kompressori ehk tihenduspumba ülesandeks on õhku või mõnda muud gaasi kokku suruda kogujasse, kust siis vajaduse korral võetakse surutud gaasi.



Joonis 71.

Kõige lihtsam tihenduspump on kolbpump (joonis 71). Kolvi ülesliikumisel hõreneb õhk pumba silindris S ja alumine ventiil sulgub. Kolvi ülemisel seisakul m pääseb õhk silindrisse selle ülemises osas oleva avause a kaudu. Kolvi allaliikumisel surutakse õhk silindris kokku, õhurõhk suureneb ja ventiili avamisel tungib õhk anumasse R .

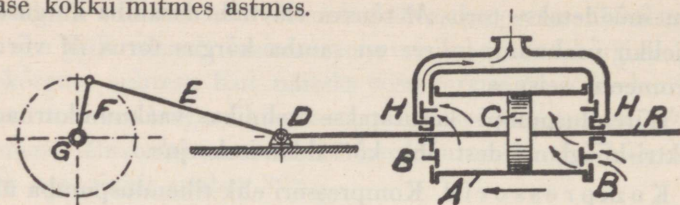


Joonis 72.

Tihenduspumpade hulka kuulub ka lõõts (joonis 72). Lõõts koosneb kahest laialitõmmatavast lauast, mis on teineteisega ühendatud nahast külgedega. Lõõtsa laialitõmbamisel tungib õhk läbi klapi k lõõtsa sisemusse; kokkusurumisel tungib õhk tugeva joana lõõtsa otsatorust a välja.

Joonisel 73 on kujutatud suurema jõudlusega kahepoolse töötamisega masinkompressor, mille tööviis on samane survepumba tööviisiga. Pumba kolb C saab edasi-tagasi liikumise tiirlevalt võllilt G vända F , vântaja E ja ristpea D kaudu. Silindri A kummaski otsas on imiventiidid B ja suruventiidid H .

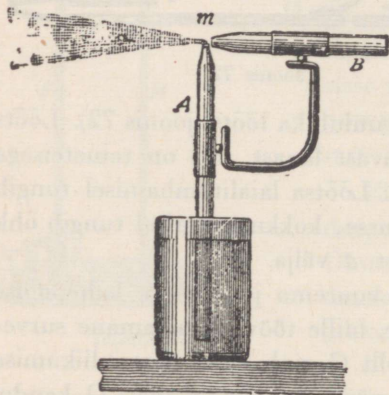
Väga kõrgete rõhkude saamiseks (üle 50 at) surutakse gaase kokku mitmes astmes.



Joonis 73.

Kokkusurutud gaase kasutatakse mitmesuguseiks otstarbeiks. Teraspudeleisse surutud hapnikku (rõhk 150 at) kasutatakse igas autogeenilise keevitamise töökojas. Samal otstarbel surutakse teraspudeleisse ka vesinikku ja atsetüleen. Karastavate jookide tehased vajavad kokkusurutud süsihappugaasi. Väga laialt on tehnikas tarvitusel surutud õhk, mis paisudes sooritab samuti tööd nagu aurgi. Surutud õhuga töötavad mitmesugused tööriistad (needimine, stemmimine); kaevandustes liiguvad maaalused vedurid surutud õhuga; raudteerongide õhkpidurid töötavad samuti surutud õhuga.

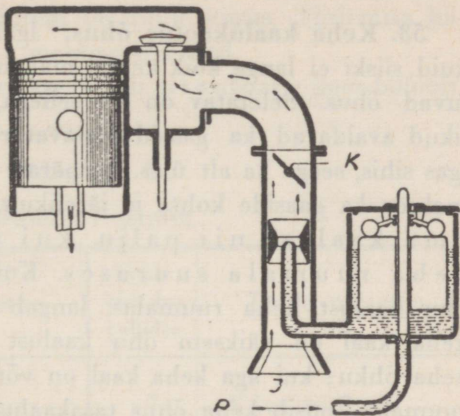
52. Joapumbad. Liikuval õhu- või gaasijoal on teatav energia, mida kasutatakse mitmel viisil. Kõige lihtsam selle-



Joonis 74.

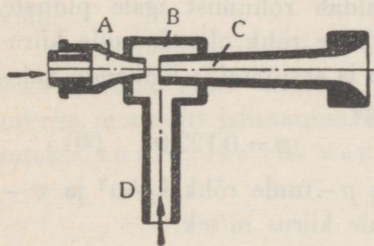
kohane seadeldis on pulverisaator (joonis 74). Toru A asetatakse vedelikku, kuna toru B puhutakse. Toru B suudmest *m* väljavoolav õhuga laieneb järsku, mille tagajärjel tekib sel kohal õhuhõrendus, mis andub edasi ka toru A. Selle tagajärjel tõuseb vedelik mööda toru üles; jõudes toru ülemisse otsa, paiskab torust B tulev õhuga vedeliku peente piiskadena laiali.

Õhujoa imemisel põhjeneb ka sise põlemootori karburaatori tööviis (joonis 75). Bensiin voolab toru P kaudu karburaatori ujukambrisse, kus bensiini pinna kõrgus hoidub püsival kõrgusel ujuki ja nõelventiili abil. Ujukikambrist voolab bensiin düüsi (ühendatud anumad). Mootori imemistaktil (kolb liigub ülalt alla) avaneb sisselaskeklapp ja mootor imeb silindrisse õhku toru J kaudu. Düüsi suudme kohal on imemistorul väiksem läbimõõt. Seetõttu suureneb selles kohas õhu kiirus, rõhk langeb ja õhk kisub düüsisist bensiini kaasa, mis seguneb õhuga. Sel kombel imetavat õhu ja bensiini segu hulka reguleeritakse klapi K abil.



Joonis 75.

Kui joonisel 76 kujutatud suudmest A voolab vesi, õhk või aur torru C , tekib kambris B vaakuum. Sel põhimõttel



Joonis 76.

töötavad mõned õhu- ja vee-pumbad. Vedureil kasutatakse seda nähtust tõmbe suurendamiseks küttekolde: töötanud aur juhitakse masina silindrist toru A kaudu korstnasse C ; kamber B on ühendatud toru D kaudu küttekoldega. Sel viisil on võimalik saada veduri lühikese korstna juures suure kütteainehulga põlemiseks vajalikku tõmmet. Kui toru D on langetatud veeanumasse ja torru A

kese korstna juures suure kütteainehulga põlemiseks vajalikku tõmmet. Kui toru D on langetatud veeanumasse ja torru A

juhtida auru, imetakse vesi nii suure rõhuga kaasa, et see ületab isegi katla rõhu. Seesugust katla toiteabinõu nimetakse inžektoriks.

53. Keha kaalukaotus õhus. Igal kehal on teatav kaal, kuid siiski ei lange kõik kehad maapinnale, vaid mõned hõljuvad õhus. Seletatav on see sellega, et samuti nagu vedelikud avaldavad ka gaasid teatavat rõhku, mis andub edasi igas sihis, seega ka alt üles. Seepärast on Archimedese seadus maksev ka gaaside kohta ja järelikult iga keha kaotab oma kaalust nii palju, kui palju kaalub õhk keha ruumala suuruses. Kui keha kaal on suurem õhu kaalust keha ruumalas, langeb keha maapinnale; kui keha kaal on väiksem õhu kaalust keha ruumalas, tõuseb keha õhku; kui aga keha kaal on võrdne õhu kaaluga keha ruumalas, püsib keha õhus tasakaalus.

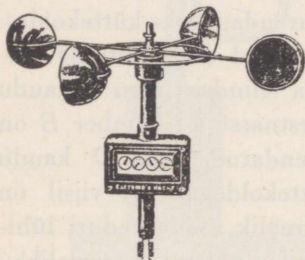
Sellele gaaside omadusele on rajatud õhupallid (aerostaadid), mille kergest metallist ja siidist kest on täidetud mõnesuguse õhust kergema gaasiga – vesinikuga, valgustusgaasiga või mittepõleva heeliumiga. Õhulaev (tsepeliin) erineb õhupallist selle poolest, et ta on varustatud mootorite ja tüüridega, kuna õhupalli kannavad edasi õhuvoolud. Õhupallid ja õhulaevad on alati kergemad kui õhu kaal maapinnal nende ruumala suuruses.

54. Tuule rõhk. Tuul avaldab rõhumist igale pinnale, mis on ees tema teekonnal. Tuule rõhk oleneb tuule kiirusest ja arvutatakse ligikaudu valemiga

$$p = 0,122 v^2 \quad (21)$$

kus p – tuule rõhk kg/m^2 ja v – tuule kiirus m/sek .

Tuule kiirust mõõdetakse anemomeetriga (joonis 77), mis koosneb püstvõllist ja selle otsa asetatud neljajarulisest ristist. Iga



Joonis 77.

ristiharu külge on kinnitatud poolkera taoline kauss. Tuul avaldab kausi nõgusale pinnale suuremat rõhku kui kumerale küljele ja selle tagajärjel hakkab rist tuule mõjul pöörlema seda kiiremini, mida suurem on tuule kiirus. Tiirlemise kiirust loetakse sellekohase mehhanismi abil.

Tuule kiirust avaldatakse sageli Beaufort'i (loe: bofoori) astmiku järgi (tabel 3).

Tabel nr. 3.
Beaufort'i astmik.

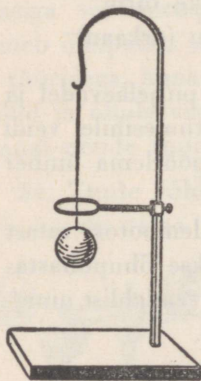
Tuule kõvadus pallides	Tuule nimetus	Tuule kõvadus pallides	Tuule nimetus
1	Tasane tõmme	7	Kõva tuul
2	Tasane tuul	8	Tormine tuul
3	Kerge tuul	9	Torm
4	Mõõdukas tuul	10	Kõva torm
5	Värske tuul	11	Raske torm
6	Kange tuul	12	Raju (orkaan)

Tuule rõhumist kasutatakse jõuallikana purjelaevadel ja tuulemootoreis. Tuulemootoris rõhub tuul tuulesihile veidi kaldu asetatud tiibadele, pannes tiibratta pöörlema ümber võlli.

Kui talitada vastupidiselt ja tiirutada tuulemootori ratast seisvas õhus, tekib õhuvool, mida kasutatakse õhupuhastamiseks, mootorite jahutamiseks jne. Seesugust seadeldist nimeatakse tuulutiks ehk ventilaatoriks.

Soojus.

55. Soojus ja temperatuur. Soojus on füüsikaline nähtus, mida tajume aistimise abil. Selle aistingu järgi, mida avaldab keha meie nahale, nimetame keha külmaks, jahedaks, leigeks, soojaks või kuumaks. Igal kehal on teatav soojasisaldavus, mis annab kehale teatava temperatuuri. Soojusest kõnelemisel tuleb teha selge vahe soojushulga ja temperatuuri vahel. Näiteks raudahi ja pottkivist ahi võivad pärast kütmist evida ühesugust soojuse astet ehk temperatuuri, kuid esimene jahtub hulga rutemini. Nähtavasti oli esimese ahju soojasisaldavus väiksem kui teise, olgugi et nende temperatuurid olid ühesuursed.



Joonis 78.

Soojus avaldab kehale mitmesugust mõju. Igasugune keha temperatuuri muutumine kutsub esile keha ruumala suuruse muutumise. Et keha soojendamisel ruumala suureneb, näitab katse metallkeraga. Külmalt mahub kera parajasti läbi rõnga (joonis 78), kuid soojendatult mitte; jahtumisel mahub kera jällegi läbi rõnga. Samuti paisuvad soojendamisel kõik vedelikud ja gaasid.

Mõnede kehadega toimuvad temperatuuri tõusmisega keemilised muutused, eeskätt põlemine. Kui neid muutusi ei teki, siis muutub temperatuuri tõusuga keha olek: tahked kehad muutuvad vedelaiks ja vedelad kehad gaasilisteks.

56. Temperatuuri mõõtmine. Aistingu järgi ei saa määrata keha temperatuuri, sest see hinnang on ebatäpne või koguni petlik. Kui asetame käe külma vette ja siis leigesse vette, tundub käele, nagu oleks leige vesi soe; kui aga asetame enne käe sooja vette ja siis leigesse, tundub leige vesi külmana. Seepärast kasutatakse keha temperatuuri mõõtmiseks sellekohaseid abinõusid – termomeetreid.

Termomeetri tööviis on rajatud enamasti kehade paisumisele soojendamisel ja kokkutõmbumisele jahutamisel. Tavalistes termomeetrites kasutatakse temperatuuri määramiseks elavhõbeda või piirituse ruumala muutumist.

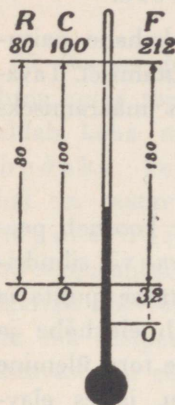
57. Termomeetrid. Elavhõbe-termomeeter koosneb peenest ühejämmedusega klaastorust, mis lõpeb kera- või silindritaolise anumaga. Anum ja osa torust täidetakse puhta ja kuiva elavhõbedaga. Toru soojendamisel paisub elavhõbe ja tõrjub õhu torust välja. Selle järele sulatatakse toru ülemine ots kinni. Jahtumisel tõmbub elavhõbe kokku, jättes elavhõbedasamba peale õhutühja ruumi. Temperatuuri muutumisel paisub või kahaneb elavhõbe rohkem kui klaas, mille tagajärjel elavhõbedasammas vastavalt tõuseb või langeb. Et termomeeter näitaks täpselt, selleks peab torukese läbimõõt olema kogu toru pikkuses ühtlane.

Temperatuuri arvuliseks määramiseks varustatakse termomeeter astmikuga. Kui asetada termomeeter sulavasse jäässe, püsib elavhõbedasammas seni ühel ja samal kõrgusel, kuni termomeetri kerakest ümbritseb veel jää. Kui aga asetada termomeeter keeva vee auru, püsib elavhõbedasammas teisel püsival kõrgusel (tingimusel, kui õhu rõhk ei muutu), kuni kõik vesi on aurunud. Need elavhõbedasamba kõrgused võetakse aluseks termomeetri astmiku valmistamisel ja jagatakse nende kahe kindla punkti vahemaa võrdseteks osadeks – kraadideks (tähis: °). On tarvilusel kolm isesugust termomeetri astmikku, ja nimelt (joonis 79):

Celsiuse astmik: jää sulamispunkt 0°C , vee keemispunkt 100°C ; vahe on jagatud 100-ks Celsiuse kraadiks.

Réaumur'i (loe: reomüüri) astmik: jää sulamispunkt 0°R , vee keemispunkt 80°R ; vahe on jagatud 80-ks Réaumuri kraadiks.

Fahrenheiti astmik: jää sulamispunkt 32°F ; vee keemispunkt 212°F ; vahe on jagatud 180-ks Fahrenheiti kraadiks.



Joonis 79.

Astmikku pikendatakse vee keemispunktist ülespoole kõrgemate temperatuuride mõõtmiseks; samuti pikendatakse astmikku nullpunktist allapoole. Nullpunktist madalama elavhõbedasamba seisu juures märgitakse kraadide arvule ette märk miinus (-).

Teaduses ja enamikus kultuurmais kasutatakse Celsiuse astmikku; Fahrenheiti astmikku kasutatakse peamiselt Inglismaal ja Ameerikas.

Et arvutada Celsiuse kraade Réaumuri kraadideks ja ümberpöördult, selleks tuleb silmas pidada, et

$$100^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{R}$$

$$\text{ehk } 5^{\circ}\text{C} = 4^{\circ}\text{R}.$$

Sellest järgneb, et

$$1^{\circ}\text{C} = \frac{4}{5}^{\circ}\text{R} \quad \text{ja} \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{4}{5}t^{\circ}\text{R} \quad (22)$$

$$1^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4}^{\circ}\text{C} \quad \text{ja} \quad t^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4}t^{\circ}\text{C} \quad (23)$$

Neis valemeis tähendab t ümberarvutatava temperatuuri kraadide arvu.

Tabelis nr. 4 on toodud kolme astmiku temperatuuri kraadide võrdlus.

Tabel nr. 4.
Temperatuuri kraadide võrdlustabel.

°C	°R	°F	°C	°R	°F
-20	-16	-4	70	56	158
-10	-8	14	80	64	176
0	0	32	90	72	194
10	8	50	100	80	212
20	16	68	110	88	230
30	24	86	120	96	248
40	32	104	130	104	266
50	40	122	140	112	284
60	48	140	150	120	302

Elavhõbe-termomeetri mõõteulatus on alates -35°C kuni $+350^{\circ}\text{C}$, sest elavhõbe kõvastub -39°C ja keeb $+357^{\circ}\text{C}$ juures. Elavhõbe-termomeetri mõõteulatust suurendatakse kuni 750°C sel teel, et täidetakse elavhõbedasamba peal olev õhutühi toruosa mõne gaasiga, näiteks lämmastikuga, mis temperatuuri suurenemisel surutakse kokku elavhõbedasamba tõusuga. Rõhu suurenemisel hakkab elavhõbe keema palju kõrgemal temperatuuril (vaata § 75).

Madalate temperatuuride mõõtmiseks täidetakse termomeeter värvitud piiritusega, sest piiritus kõvastub -114°C juures. Piiritus-termomeetrit kasutatakse ka täpsematel mõõtmistel, sest piiritus paisub kuus korda rohkem kui elavhõbe. Et puhas piiritus keeb $+78^{\circ}\text{C}$ juures, ei saa selle termomeetriga mõõta kuigi kõrgeid temperatuure.

Tahkete kehade temperatuuri mõõtmiseks mähitakse termomeetri anum hästi stanniooliga, surutakse siis kõvasti keha vastu, kaetakse pealt vatiga ja loetakse siis temperatuur. Vedelikkude temperatuuride mõõtmisel segatakse vedelikud hästi läbi, et vedeliku temperatuur oleks igal pool ühtlane. Torustikus voolavate gaaside ja aurude temperatuuri mõõt-

miseks asetatakse torustikku kinnise otsaga toru, mis täidetakse õliga; termomeetri anum asetatakse õli sisse.

Näiteid:

39. Arvutada 60°R Gelsiuse kraadidesse.

$$t^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4} t^{\circ}\text{C}$$

$$60^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4} 60 = 75^{\circ}\text{C}$$

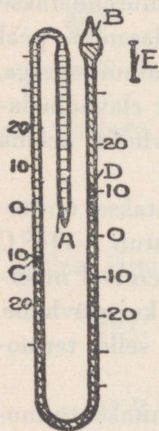
Ulesandeid:

77. Arvutada Réaumuri astmikku $+20^{\circ}\text{C}$.

78. Arvutada -35°R Celsiuse astmikku.

79. Kui madalat temperatuuri R kraadides saab mõõta elavhõbeda-termomeetriga?

58. Maksimum- ja miinimum-termomeeter. Teatavas ajavahemikus kõige kõrgema (maksimaalse) ja kõige madalama (minimaalse) temperatuuri mõõtmiseks kasutatakse



Joonis 80.

maksimum- ja miinimum-termomeetrit (joonis 80). Termomeetri toru on painutatud U-taoliselt; toru alumises osas on elavhõbe.

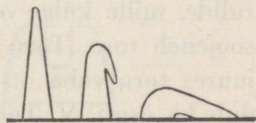
Vasakpoolne, elavhõbeda pinnast ülespoole ulatuv ja allapoole painutatud toruosa A on täidetud piiritusega. Samuti on täidetud piiritusega toru parempoolne, elavhõbeda pinnast ülespoole ulatuv osa ja anum B poolest saadik. Anuma B ülasosas on piirituse aur, mis rõhub elavhõbedasamba alati vastu toru vasakpoolses osas olevat piiritust. Temperatuuri tõusul paisub piiritus toru vasakpoolses osas ja tõukab enda ees elavhõbedasammast, nii et torus C elavhõbeda pind langeb, torus D aga tõuseb. Temperatuuri alanemisel tõmbub piiritus toruharus A kokku ja

elavhõbedasammas liigub anum B oleva piirituse auru rõhu mõjul vastupidises suunas. Temperatuuri suurust loetakse ükskõik kumma toruharu kõrvale asetatud astmikult.

Kõige kõrgema ja kõige madalama temperatuuri märkimiseks on kummaski toruharus elavhõbeda pinnal terasnõel *E* (teras ei upu elavhõbedas), mida lükkab enda ees elavhõbedasammas. Elavhõbedasamba alanemisel jääb terasnõel püsima oma kõrgeimasse asendisse, sest paisuv piiritus ei nihuta nõela, kuna piiritus pääseb vabalt nõela ja toruseina vahelt läbi. Toruosas *C* näitab terasnõela alumine ots teatava ajavahemiku kõige madalamat temperatuuri, kuna toruosas *D* püsijäänud nõel näitab kõige kõrgemat temperatuuri. Vaatlemisaja algul veetakse terasnõel magnetiga elavhõbeda pinnale tagasi.

Ihutemperatuuri mõõtja on maksimaal-termomeeter, mis töötab elavhõbedaga. Tema toruke on termomeetri anuma kohal kõveraks keeratud ja sellel kohal väga väikese läbimõõduga. Elavhõbeda paisumisel surutakse elavhõbe läbi kitsa koha, kuid jahtumisel katkeb elavhõbedasammas pindpinevuse tõttu sellel kohal ja jääb torusse püsima. Elavhõbedasammas langeb anumasse tagasi alles tugeva raputamisega.

59. Kõrgete temperatuuride mõõtmine. Kõrgete temperatuuride mõõtmiseks kasutatavaid riistu nimetatakse **püromeetriteks**. Elektriliste püromeetrite tööviis on rajatud elektrivoolu tekkimisele kahe metalli jootekohal kõrge temperatuuri korral, kusjuures voolutugevus on võrdeline temperatuuriga. Temperatuuri kõrguse üle otsustatakse seega elektrivoolu tugevuse järgi. Kiirgamispüromeetrid on rajatud asjaolule, et hõõguva keha heledus on võrdeline temperatuuriga; püromeetris võrreldakse hõõguva keha heledust teise valgustatud pinna heledusega. Püromeetritega mõõdetakse temperatuure kuni 1600°C ja rohkemgi.



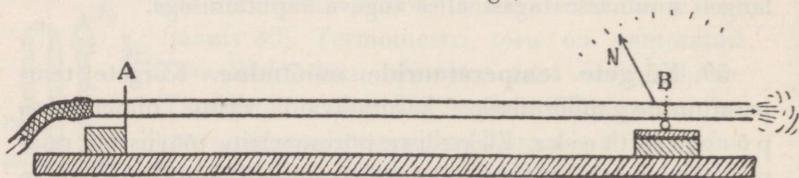
Joonis 81.

Kõrgete temperatuuride mõõtmiseks kasutatakse ka Seger'i koonuseid. Need on 6 cm kõrgused kolmetahksed püramiidid, mis on valmistatud mitmesuguse koosseisuga savidest.

Kokku on neid 59 numbrit, millest igaühel on teatav kindel sulamistemperatuur 600°C ja 2000°C vahel. Soovides saada näiteks tööstuslikus ahjus teatavat temperatuuri, asetatakse ahju kolm koonust üksteisele järgnevate numbritega, millest keskmine sulamistemperatuur vastab soovitud temperatuurile, ja reguleeritakse tuld nii, et esimene koonus sulab täiesti (joonis 81), teine hakkab pehmenema, kuna kolmas jääb muutumatuks.

60. Tahkete kehade paisumine. Keha temperatuuri suurendamisega paisub keha ja ühes sellega suurenevad kõik keha mõõtmed, pind- ja ruumala. Kuna soojendamisel suureneb keha ruumala, kaal aga jääb endiseks, peab selle tagajärjel sooja keha erikaal vähenema.

Et tahkete kehade paisumine on väga väike, mõõdetakse nende pikenemist temperatuuri tõusul kaudsel teel. Üks sellekohane võte on näidatud joonisel 82. Toru AB kinnitatakse otsast A liikumata aluse külge, kuna ots B toetub



Joonis 82.

rullile, mille külge on kinnitatud osuti N . Auru läbilaskmisel soojeneb toru. Toru saab pikeneda ainult ühele poole, kusjuures toru vaba ots B veeretab rulli ja ühes sellega pöörduvad ka osuti N . Toru pikenemist antud temperatuuril arvutatakse osuti pöördenurga suuruse ja toru pikkuse kaudu.

Katsed tõendavad, et kõik kehad ei paisu ühtlaselt, vaid üks rohkem, teine vähem, kusjuures aga keha pikenemine on (ligikaudu) võrdeline keha algpikkusega ja temperatuuri tõusuga. Keha pikenemise suhet algpikkusega temperatuuri tõusul 1°C võrra nimetatakse selle aine joonpaisumise koefitsiendiks.

Tabelis nr. 5 on antud mõnede ainete keskmised joonpaisumise koefitsiendid temperatuuri tõusmisel 0° C kuni 100° C.

Tabel nr. 5.

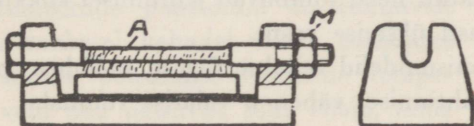
Joonpaisumise koefitsiendid.

Tsink	0,0000297	Kuld	0,0000142
Seatina	0,0000293	Nikkel	0,0000130
Inglistina	0,0000270	Teras	0,0000117
Alumiinium	0,0000239	Malm	0,0000104
Hõbe	0,0000197	Plaatina	0,0000090
Pronks	0,0000175	Kvartsklaas	0,0000005
Vask	0,0000165		

Kui tähistame joonpaisumise koefitsiendi α -ga (loe: *alfa*), keha algpikkuse – l_0 , keha lõpppikkuse – l_t , algtemperatuuri – t_1 ja lõpptemperatuuri – t_2 , siis avaldub keha lõpppikkus valemiga

$$l_t = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad (24)$$

Temperatuuri vähenemisel tõmbub keha kokku ja ühtlasi vähenevad keha pikkus, pind- ja ruumala. Nii keha paisumine kui ka kokkutõmbumine temperatuuri mõjul toimub väga suure jõuga, mida tõendab järgmine katse (joonis 83).



Joonis 83.

Kui kuumutada piiritusetulel raudpolti A, siis pikeneb polt. Kui polt on küllalt kuum, kruvitakse mutter M kõvasti kinni ja lastakse polt jahtuda. Jahtumisel tõmbub polt nii suure jõuga kokku, et ta katkeb, kui alus on küllalt tugev; vastasel korral aga paindub alus.

Soojuspaisumist tuleb tegelikus elus paljudel juhtudel arvestada, näiteks:

a) Raudteesillad ja pikad raudtalad kinnitatakse liikumatult vundamendi külge ainult ühes otsas, kuna teine ots asetatakse rullidele, mis võimaldab pikenemist ja vähenemist temperatuuri mõjul.

b) Raudteerööbaste otste vahele jäetakse väike vahe, mis võimaldab rööpail suvel paisuda. Ilma selle vaheta painduksid rööpad suvel kõveraks. Maa sisse asetatud tänavraudteerööpad ei vaja seda vahet, sest maapinna temperatuur kõigub väga väikestes piirides.

c) Telefoni- ja elektrivoolu-juhtmed monteeritakse teatava lõtvega, sest vastasel korral talvel juhtmed katkeksid, kuna nad suurte külmadega tõmbuvad pingule.

d) Aurutorustikud kinnitatakse liikumatult ainult ühest otsast, sest temperatuuri kõikumine torustikus võib olla võrdlemisi suur. Teatava vahemaa järel asetatakse torustikku kõverad torutükid, mis võimaldavad toru pikenemist.

e) Pikad transmissioonvõllid varustatakse paisumissiduritega, mis võimaldavad võlli pikkuse muutumist.

f) Raudteevagunite ja -vedurite terasrehvid treitakse ratta läbimõõdust umbes ühe tuhandendiku võrra väiksema läbimõõduga ja aetakse kuumalt rattale. Jahtumisel väheneb rehvi läbimõõt ja ta püsib kindlalt rattal. Needimisel kuumalt kohale asetatud need tõmbuvad jahtumisel kokku ja suruvad plekid kõvasti üksteise vastu.

g) Valamismudelid tehakse õigest mõõdust pisut suuremad, sest jahtumisel väheneb valatise ruumala.

h) Kui joota kokku kaks isesuguse joonpaisumise koefitsiendiga metalliriba, tõmbub soojendamisel kokkujoodetud riba kõveraks, sest üks metalliriba paisub pikemaks kui teine. Kõverdumine on seda suurem, mida suurem on temperatuuri tõus ja paisumise koefitsientide vahe. Sellele nähtusele on rajatud metalltermomeetrid ja automaatsed elektrivoolulülid, mis peavad tegevusse astuma temperatuuri muutumisel.

Näide:

40. Teraslati pikkus 0°C juures on 10 m. Kui pikk on sama latt 100°C juures?

$$l_t = l_0 + l_0 \cdot \alpha (t_2 - t_1) = 10 + 10 \cdot 0,0000117 (100 - 0) = 10,0117 \text{ m,}$$

s. t. latt pikenes 11,7 mm.

Ulesandeid:

80. Raudteerõõpa pikkus 0°C juures on 12 m. Suvel tõuseb rõõpa temperatuur kuni $+40^{\circ}\text{C}$, talvel langeb kuni -30°C . Mitu millimeetrit on kahe äärmise temperatuuri juures rõõpa pikkuste vahe?

81. Terasest aurutorustiku pikkus on 80 m 15°C juures. Kui pikk on sama torustik, kui sellest juhitakse läbi auru, mille temperatuur on 250°C ?

82. Mitu millimeetrit pikeneb 10 m pikkune varras temperatuuri tõusul 100°C , kui varda materjaliks on a) alumiinium; b) vask ja c) tsink?

83. Mõõdulint näitab täpselt 20°C juures. Kui suur on 20 m pikkuse terasmõõdulindi pikkus a) $+30^{\circ}\text{C}$; b) -10°C juures?

84. Vasest kera läbimõõt 0°C juures on 3 cm. Kui suur on sama kera läbimõõt 60°C juures?

61. Vedelikkude paisumine. Vedelikkude paisumist soojendamisel saab jälgida pudeliga, mille korgist on läbi pistetud peenike klaastoru (joonis 84). Siinjuures tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et vedeliku pinna tõus torus ei määra veel vedeliku tõelist paisumist, sest soojendamisel paisub ka anum ise. Seepärast on vedeliku tõeline paisumine suurem kui näiv paisumine.

Katsed mitmesuguste vedelikkudega tõendavad, et vedelikkude paisumine on tunduvalt suurem kui tahketel kehal. Kuid sealjuures pole vedelikkude paisumine võrdeline temperatuuriga, vaid nad paisuvad seda enam, mida kõrgem on temperatuur. Kõige ühtlasemalt paisub elavhõbe, mispärast kasutataksegi elavhõbedat termomeetris.

Vedelikkude ruumpaisumise koefitsiendiks nimetatakse arvu, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast paisub vedelik temperatuuri tõusul 1°C võrra. Tabelis nr. 6 on antud mõnede vedelikkude ruumpaisumise koefitsiendid toa temperatuuril.



Joonis 84.

Tabel nr. 6.

Vedelikkude ruumpaisumise koefitsiendid.

Eeter	0,00160	Väävelhape	0,00055
Piiritus	0,00110	Glütseriin	0,00050
Tärpentin	0,00100	Elavhõbe	0,00018
Petrooleum	0,00095	Vesi	0,00018

Et vedelikud paisuvad tahketest kehadest palju rohkem, seetõttu oleneb vedelikkude erikaal palju suuremal määral temperatuurist. Siit selgub ka, miks täpsetel õhurõhu mõõtmistel märgitakse ka õhu temperatuur: kõrgema temperatuuri korral on elavhõbedasammas kõrgem kui sama rõhu, kuid madalama temperatuuri juures.

62. Vee paisumine. Kõige korratumalt paisub soojendamisel vesi. Kõige tihedam (kõige väiksema ruumalaga) on vesi $+4^{\circ}\text{C}$ juures ning jahtumisel või soojenemisel suureneb vee ruumala. Vee erikaal ja erimaht mitmesugustel temperatuuridel on antud tabelis nr. 7.

Tabel nr. 7.

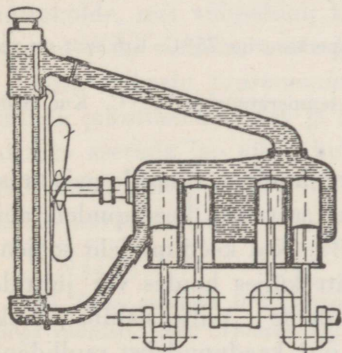
Vee erikaal ja erimaht.

Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Erikaal	Erimaht	Temperatuur $^{\circ}\text{C}$	Erikaal	Erimaht
0	0,99987	1,00013	50	0,9881	1,0121
2	0,99997	1,00003	75	0,9749	1,0258
4	1,00000	1,00000	100	0,9584	1,0434
6	0,99997	1,00003	150	0,9172	1,0903
8	0,99988	1,00012	200	0,8628	1,1590
10	0,99973	1,00027	250	0,794	1,259
20	0,99823	1,00177	300	0,70	1,42

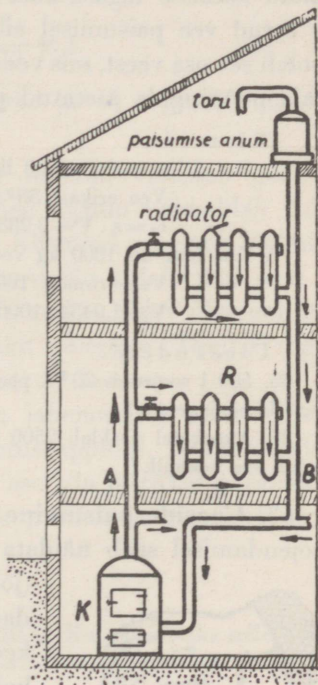
Et vee erikaal on kõige suurem $+4^{\circ}\text{C}$ juures, see selgitab, miks veekogud jäätuvad ainult pinnalt. Sügisel jahtuvad alguses ülemised veekihid, mis tihenedes vajuvad põhja, tõrjudes sealt soojemat vett pinnale. Vee ringkäik kestab seni, kuni kogu veekogul on ühtlane temperatuur $+4^{\circ}\text{C}$. Edaspidisel jahtumisel paisub aga vesi ega lange enam põhja; kui ülemine veekiht on jäätunud, on põhjas ikkagi vee temperatuur $+4^{\circ}\text{C}$.

Vee erikaalu vähenemist soojendamisel kasutatakse peamiselt mootorite jahutamiseks ja kesk- kütte-seadmeis.

Mootori töö ajal kuumenevad silindrid. Paljudel mootoritel kasutatakse vesijahutust, milleks pumbatakse vett silindri jahutussärgist läbi. Mõnedel mootoritüüpidel toi-



Joonis 85.



Joonis 86.

mu vee ringvool iseenesest (joonis 85). Silindrit ümbritsev vesi läheb soojenedes kergemaks ja tõuseb mööda toru üles, kuna külm vesi valgub asemele. Toru kaudu ülestõusnud vesi satub jahutajasse (radiaatorisse), kus voolates läbi peenikeste torude jahtub ja algab uuesti ringkäiku. Tuuluti abil jahutajast läbiimeetav õhk suurendab jahutaja jahutusvõimet.

Seesugust jahutusseadet nimetatakse termosifoon-
jahutuseks.

Vesikeskkütte-seadmes asetatakse keldrisse veekatel K (joonis 86), milles kuumutatakse vett. Katla ülemisest osast tõuseb vesi toru kaudu ülemisele korrale, kust vesi juhitakse küttekehadesse R , mida kuum vesi soojendab ja sealjuures jahtub. Jahtudes läheb vesi raskemaks ja valgub teise toru kaudu katlasse tagasi, kust algab soojenedes uuesti ringkäiku. Et torud vee paisumisel ei lõhkeks (vesi on kokkusurumatu), voolab see osa veest, mis vee paisumise tõttu torudes ei mahu, maja pööningule asetatud paisumispaaki.

Näiteid:

41. Kui palju kaalub 5000 liitrit vett 50°C juures?

Vee erikaal 50°C juures on $e = 0,9881$

$$G = e \cdot V = 0,9881 \cdot 5000 = 4940,5 \text{ kg.}$$

42. Kui suur on 1000 kg vee ruumala 100°C juures?

Vee erimaht 100°C juures on $1,0434 \text{ l/kg.}$

$$V = 1,0434 \cdot 1000 = 1043,4 \text{ l.}$$

Ulesandeid:

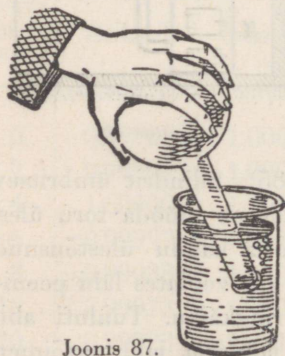
85. 500 l soojeneb 20°C pealt temperatuurini 75°C . Kui suur on vee ruumala soojenenult?

86. Aurukatel sisaldab 2500 l vett temperatuuriga 150°C . Kui palju kaalub see veehulk?

63. Gaaside paisumine soojendamisel. Gaaside paisumist soojendamisel saab näidata vette asetatud keedupudeli abil

(joonis 87). Kui keedupudelit soojendada kätt küljes hoides või juhtida keedupudelile piirituslambi leek, hakkab õhk keedupudelist mullidena välja tungima. Soojendamise lõpetamisel tiheneb õhk uuesti, õhu ruumala pudelis väheneb ja vesi täidab osaliselt keedupudeli.

Gaasid paisuvad vedelikest veelgi rohkem. Gay-Lussac'i (loe: ge-lüssaki) seaduse järgi paisuvad kõik gaa-



Joonis 87.

sid püsiva rõhu juures ühtlaselt, ja nimelt nii, et temperatuuri tõusul 1°C võrra suureneb gaasi ruumala $\frac{1}{273}$ ($= 0,00367$) võrra sellest ruumalast, mis gaasil on 0°C juures. Gaasi temperatuuri alanemisel väheneb gaasi ruumala sama sea-duse järgi.

Püsiva rõhu juures soojendamisel (s. t. gaas saab vabalt paisuda) leiame gaasi ruumala valemiga

$$V_t = V_o + \frac{1}{273} V_o t \quad (25)$$

kus V_o – gaasi ruumala 0°C juures ja V_t – gaasi ruumala temperatuuril $t^{\circ}\text{C}$.

Kuna gaasid paisuvad suurel määral, väheneb gaaside erikaal soojendamisel tunduvalt. See asjaolu võimaldab küt-misel saada vajalikku õhutõmmet. Kütmisel soojeneb korstnas olev õhk ja tõuseb üles, kuna asemele tuleb läbi resti ja küttekolde uut õhku. Sellega saavutatakse pidev õhuvool läbi küttekolde, mis võimaldab korraliku põlemise. Tõmbe tuge-vus on seda suurem, mida kõrgem on korsten.

Õhu erikaalu suurenemist õhu jähjenemisel tuleb silmas pidada jahutusseadmetes ja külmetuskappides. Jäätükid tuleb näiteks asetada lae alla; kui aga asetada jäätükid põrandale, jääb külm õhk põranda lähedusse püsima ja ülemised õhu-kihid jäävad soojaks.

Näide:

43. Gaasi ruumala 0°C juures on 10 l. Kui suur oleks selle gaasi-hulga ruumala 1500°C juures, kui gaas saaks vabalt paisuda?

$$V_t = V_o + \frac{1}{273} V_o \cdot t = 10 + \frac{1}{273} \cdot 10 \cdot 1500 = 65 \text{ l.}$$

Ülesanne:

87. Gaasi ruumala 20°C juures on 5 l. Kui suur on selle gaasihulga ruumala a) 1000°C ; b) 100°C juures? (Märkus: Enne arvutada gaasi ruumala 0°C juures.)

88. Gaasi temperatuur on 0°C . Mitme $^{\circ}\text{C}$ võrra tuleb gaasi tempe-ratuuri tõsta, et gaasi ruumala muutuks kolmekordseks?

64. Absoluutne temperatuur. Jahtumisel väheneb gaasi ruumala, ja nimelt sama seaduse järgi, nagu toimub gaasi ruumala suurenemine soojendamisel. Kui gaasi temperatuur väheneks kuni -273°C , siis Gay-Lussac'i seaduse järgi peaks gaasi ruumala võrduma nulliga, sest jahtumisel 1°C võrra väheneb gaasi ruumala $\frac{1}{273}$ võrra sellest ruumalast, mis gaasil on 0°C juures. Katsed tõendavadki, et nii madalal temperatuuril ei püsi ükski aine gaasilises olekus, vaid kõik gaasid muutuvad vedelaks juba varem.

Oletatakse, et -273°C on kõige madalam temperatuur, mis üldse võib olla. Seepärast nimetatakse seda soojuse astet temperatuuri absoluutseks nullpunktiks, mille juures igal ainel puudub vähemgi soojuse sisaldavus. Absoluutsest nullpunktist Celsiuse kraadides arvatud temperatuuri nimetatakse absoluutseks temperatuuriks, mida märgitakse tähega T . Kui keha temperatuur on üle 0°C , siis leiame absoluutse temperatuuri, kui temperatuurile Celsiuse kraadides liidame 273° ; kui temperatuur on alla 0°C , leiame absoluutse temperatuuri, kui 273° -st lahutame vastava temperatuuri Celsiuse kraadides.

Näide:

44. Arvutada keha absoluutne temperatuur, kui temperatuur on a) 130°C ; b) -15°C .

$$\text{a) } T = 273 + 130 = 403^{\circ}$$

$$\text{b) } T = 273 - 18 = 258^{\circ}$$

Ülesanne:

89. Kui suur on keha temperatuur Celsiuse kraadides, kui absoluutne temperatuur on a) 500° ; b) 218° ?

65. Gaasi rõhu suurenemine soojendamisel. Kui soojendada gaasi kinnises anumast, ei saa gaas paisuda. Et aga gaas püüab soojenemisel paisuda ja et ta seda nüüd ei saa, siis gaasi soojendamisel kinnises anumast on sama tagajärg nagu gaasi kokkusurumisel. Seega kinnises anumast asuva gaasi soojendamisel gaasi rõhk suureneb. Seda tõendab ka nähtus, et kõvasti täispuhutud kummipall lõhkeb kergesti, kui teda

asetada sooja ahju lähedale või päikese paistele. Katsed tõendavad, et kinnises anum asuva gaasi soojendamisel suureneb gaasi rõhk võrdeliselt gaasi absoluutse temperatuuriga.

Kui gaasi alg-absoluutrõhk on p_1 , absoluutne temperatuur on T_1 ja lõpptemperatuurile T_2 vastav absoluutrõhk on p_2 , siis on maksev võrrand

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (26)$$

Sama valem jääb õigeks ka siis, kui gaasi rõhk suureneb uute gaasihulkade juurdepumpamisega või gaasi kokkusurumisega: gaasi rõhu suurenemisel suureneb ka alati gaasi temperatuur ja ümberpöörduvalt – gaasi rõhu vähenemisel langeb ka temperatuur. See selgitab, miks kompressorid ja õhupumbad soojenevad töö ajal ja miks gaasipudelist välja-voolav gaas tundub jahedana.

Gaasi rõhu suurenemine temperatuuri tõusuga evib tehnikas väga suurt tähtsust, sest sellele nähtusele on rajatud kõigi sisepõlemootorite tööviis. Mootori silindris põletise põlemisel suureneb õhu temperatuur, mille tagajärjel suureneb ka rõhk, mis surub kolvi alla. Hooratas tõstab kolvi uuesti üles, kus uue põletishulga põlemisel saab kolb järgmise tõuke alla jne.

Teisest küljest saavutatakse väga madalaid temperatuure sellega, et lastakse suure rõhu alla kokkusurutud gaase vabalt paisuda: gaasi rõhu vähenemisel langeb ka temperatuur.

Näiteid:

45. Kinnises anum asuva gaasi rõhk on 2 at ja temperatuur 20°C . Kui suur on gaasi rõhk temperatuuril 340°C ?

$$p_1 = 2 + 1 = 3 \text{ at absoluut.}$$

$$T_1 = 273 + 20 = 293^{\circ}$$

$$T_2 = 273 + 340 = 613^{\circ}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{3}{p_2} = \frac{293}{613}$$

$$3 \cdot 613 = 293 p_2$$

$$p_2 = \frac{3 \cdot 613}{293} = 6,3 \text{ at abs.}$$

$$p_2 = 6,3 - 1 = 5,3 \text{ atü.}$$

46. Gaasi temperatuur on 20°C ja rõhk 10 atü. Kui suur on gaasi temperatuur, kui gaasi kokku suruda kuni 50 atü ja gaas ei jahtu?

$$p_1 = 10 + 1 = 11 \text{ at} \quad T_1 = 273 + 20 = 293^{\circ}$$

$$p_2 = 50 + 1 = 51 \text{ at}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{11}{51} = \frac{293}{T_2}$$

$$11 \cdot T_2 = 293 \cdot 51$$

$$T_2 = \frac{293 \cdot 51}{11} = 1360^{\circ}$$

$$t_2 = 1360 - 273 = 1087^{\circ}\text{C}.$$

Ulesandeid:

90. Gaasi algtemperatuur on 20°C ja lõpptemperatuur 1200°C . Kui suur on gaasi lõpprõhk, kui algrõhk on a) 0 atü; b) 3 atü; c) 6 atü?

91. Kinnises anum asuva gaasi temperatuur on 0°C ja rõhk 0 atü. Kui suur on gaasi temperatuur, kui rõhk suureneb a) 5 atü; b) 40 atü?

92. Auto kummi sisse on pumbatud õhku 0°C juures kuni 6 atü. Kui suur on rõhk, kui temperatuur a) tõuseb kuni $+35^{\circ}\text{C}$; b) langeb kuni -10°C ?

66. Soojuse hulk. Kui kuumutada ühesugustes tingimustes kaks isesuguse suurusega rauatükki, siis on nende temperatuurid teatava aja möödumisel võrdsed. Mõõtes kahte anumasse ühesugused hulgad vett ja langetades kummassegi anumasse ühe rauatüki, selgub, et anum, kuhu langetati suurem rauatükk, on vee temperatuur kõrgem kui teises anum. Nähtavasti sisaldas suurem rauatükk rohkem soojust kui väiksem, olgugi et nende temperatuurid olid võrdsed.

Soojuse hulga mõõtühikuks on kalor (tähis: cal) ehk gramm-kalor. 1 cal on see soojushulk, mille 1 g vett juurde saab temperatuuri tõstmisel 1°C võrra või kaotab temperatuuri langemisel 1°C võrra. Tuhat korda suuremat soojushulka nimetatakse kilokaloriks (tähis: kcal).

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}.$$

1 kcal on see soojushulk, mille 1 kg vett juurde saab temperatuuri tõstmisel 1°C võrra või kaotab temperatuuri lange-

misel 1°C võrra. Kuna 1 cal on väga väike soojushulk, mõeldakse kõnes kalori all harilikult kilokalorit.

Vee soojendamiseks vajalik soojushulk arvutatakse valemiga

$$Q = G(t_2 - t_1) \quad (27)$$

kus Q – soojushulk kcal-tes, G – vee kaal kg-des; t_2 – vee lõpptemperatuur $^{\circ}\text{C}$ ja t_1 – vee algtemperatuur. Sama valemi järgi arvutatakse ka vee jahtumisel vabanev soojushulk.

Näide:

47. Mitu kcal on vaja 5 kg vee soojendamiseks temperatuurilt 15°C temperatuurini 75°C ?

$$Q = G(t_2 - t_1) = 5 \cdot (75 - 15) = 300 \text{ kcal.}$$

Ulesanded:

93. Mitu kcal on vaja 10 l vee soojendamiseks 0°C pealt 100°C -ni?

94. Kuumaksaetud rauatükk tõstis 2 kg vee temperatuuri 25°C võrra.

Mitu kcal soojust kandus raualt veele?

95. Keskkütte radiaatorist voolab tunnis läbi 120 kg vett, kusjuures vesi jahtub $+80^{\circ}\text{C}$ -lt kuni $+30^{\circ}\text{C}$. Kui palju soojust annab radiaator tunnis?

96. 2 m^3 vee soojendamiseks tarvitati 4000 kcal soojust. Kui kõrgele tõusis vee temperatuur, kui algtemperatuur oli 10°C ?

97. 5 l vett temperatuuriga 80°C segatakse 30 l veega, mille temperatuur on 20°C . Kui suur on selle segu temperatuur?

67. Erisoojus. Kui soojendada rauast ja vasest üheraskusi kehi teatava temperatuurini, hoides näiteks need kehad keevas vees või auras, ja langetada siis need kehad eraldi veeanumaisse, milles on ühepalju vett ühesuguse temperatuuriga, ning mõõta vee temperatuuri tõusu igas anumast, selgub, et raud tõstab vee temperatuuri rohkem kui vask. Siit järeldub, et raud andis veele rohkem soojust kui vask. Et mõlema keha temperatuur ja raskus oli ühesuurune, siis pidi raud sisaldama rohkem soojust kui vask. Kuna jahtumisel võib vabaneda ainult niisama suur soojushulk, nagu on tarvilik keha temperatuuri tõstmiseks, siis võib väita, et mitmesugusest aineist kehade temperatuuri tõstmiseks ühesuguse arvu kraadide võrra vajab iga aine isesugusel hulgal soojust.

Aine erisoojuseks nimetatakse seda soojuse hulka, mis on tarvilik 1 kg aine temperatuuri tõstmiseks 1°C võrra. Kuna 1 kg vee soojendamiseks 1°C võrra on vajalik 1 kcal, on seega vee erisoojus 1 kcal. Vedelikkude erisoojus on üldiselt suurem kui tahketel kehal. Gaaside erisoojus oleneb sellest, kas gaas soojeneb püsiva rõhu või püsiva temperatuuri juures.

Tabelis nr. 8 on antud mõnede ainete keskmised erisoojused.

Tabel nr. 8.

Mitmesuguste ainete erisoojused.

Tahkete ainete erisoojused.			
Puit (mänd)	0,65	Vask	0,094
Jää	0,50	Tsink	0,094
Alumiinium	0,22	Hõbe	0,056
Tuhk	0,20	Inglistina	0,056
Teras	0,11	Seatina	0,031
Nikkel	0,11	Kuld	0,031

Vedelikkude erisoojused.

Vesi	1,00	Petrooleum	0,50
Glütseriin	0,58	Masinaõli	0,40
Piiritus	0,56	Elavhõbe	0,03

Õhu erisoojus.

Püsival rõhul	0,241
Püsival ruumalal	0,172

Kui märkida aine erisoojus tähega c , siis on keha soojendamiseks vajalik soojushulk

$$Q = G \cdot c (t_2 - t_1) \quad (28)$$

Sama valemi järgi arvutatakse ka keha jahtumisel vabanev soojushulk.

Kehade erisoojuse mõõtmiseks soojendatakse keha teatava temperatuurini ja langetatakse siis vette. Teades vee hulka ja temperatuuri tõusu, arvutatakse vastava aine erisoojus eeltoodud valemi abil. Seesuguseid mõõtmisi toimetatakse selleks määratud erilistes anumates, kalorimeetrites.

Näiteid:

48. Kui palju soojust on vaja, et tõsta 100 kg terase temperatuuri 300° C võrra?

$$Q = G \cdot c (t_2 - t_1) = 100 \cdot 0,11 \cdot 300 = 3300 \text{ kcal.}$$

49. Seatina erisoojuse arvutamiseks kuumutatakse 1 kg raskune tinatükk keevas vees (temperatuur 100° C) ja langetatakse siis veeanumasse, milles on 0,5 kg vett. Vee temperatuur tõusis 10° C-lt kuni 15° C.

Vee soojendamiseks kulub soojust

$$Q = G (t_2 - t_1) = 0,5 (15 - 10) = 2,5 \text{ kcal.}$$

Niisama palju soojust kaotas ka tinatükk. Tina soojusekaotus avaldub valemiga

$$Q = G \cdot c (t_2 - t_1)$$

Asetades valemisse tähtede asemele tuntud suurused, saame

$$2,5 = 1 \cdot c \cdot (100 - 15)$$

$$2,5 = 85 c$$

Tina erisoojus

$$c = \frac{2,5}{85} = 0,03$$

Ulesandeid:

98. Kui palju soojust on vaja selleks, et tõsta 100° C võrra 150 kg vase, terase ja tsingi temperatuuri?

99. 50 kg raskuse terasetüki temperatuur on 230° C. Kui palju vabaneb soojust, kui terasetükk jahtub toa temperatuurini?

100. 50 cm³ vaske soojendatakse 1000° C võrra. Kui palju kulub selleks soojust?

101. Mitme kraadi võrra tõuseb 20 kg masinaõli temperatuur, kui talle juurde anda 300 kcal soojust?

102. Toa mõõdud on 3 × 4 × 4 m. Kui palju soojust on vaja selleks, et tõsta toas oleva õhu temperatuuri 0°-lt kuni +20° C?

68. Sulamine ja kõvastumine. Kestval soojendamisel muutuvad tahked ained vedelaks, nad – sulavad. Ei sula need ained, mis kuumutamisel lagunevad või muutuvad keemiliselt, nagu paber, puit jne.

Kui asetada anumasse jäätükid ja soojendada anumad, siis selgub, et sulamise vältel püsib jää ja sulanud vee temperatuur püsival kõrgusel, nimelt 0°C , kusjuures sulamistemperatuur ei olene soojendamise tugevusest. Alles siis, kui kõik jää on sulanud, tõuseb edaspidisel soojendamisel vee temperatuur.

Vee jahutamisel langeb temperatuur pidevalt kuni 0°C ja edaspidisel jahutamisel hakkab vesi kõvastuma ja muutub jääks. Kogu jäätumise kestel püsib temperatuur samal kõrgusel nagu sulamiselgi. Seega on jää sulamistemperatuur ja vee kõvastumistemperatuur üks ja sama. Alles siis, kui kõik vesi on jäätunud, langeb edaspidisel jahutamisel jää temperatuur.

Samuti nagu jää sulamine ja vee jäätumine, toimub ka teiste kehade tahkeoleku muutumine vedelaks ja ümberpöörduvalt. Igal ainel on kindel sulamis- ja kõvastumistemperatuur; tabelis nr. 9 on antud need temperatuurid mõnede tähtsamate ainete kohta.

Tabel nr. 9.

Mitmesuguste ainete sulamistemperatuurid.

Süsinik umbes 3920°C	Alumiinium 658°C
Wolfram umbes 3000	Tsink 419
Plaatina 1764	Seatina 327
Portselan umbes 1500	Inglitina 232
Raud (keemilis. puhas) 1520	Vaha 64
Nikkel 1450	Parafiin 54
Teras 1300–1400	Vesi 0
Malm 1100–1200	Merevesi $-2,5$
Vask 1083	Elavhõbe -39
Kuld 1063	Piiritus -114
Hõbe 960	Bensiin -150

Kui aine sisaldab vähemalgi määral mõnesuguseid lisan-deid, väheneb selle tagajärjel sulamistemperatuur (võrdle

puhta raua, terase ja malmi sulamistemperatuure). Wood'i (loe: wuudi) metall, mis on seatina, kadmiumi (sulamistem. 321°C), vismuti (sulamistem. 271°C) ja inglistina sulam, sulab koguni 70°C juures, olgugi et sulamit koostavate metallide sulamistemperatuurid on palju kõrgemad. Samuti on lahuste kõvastumistemperatuurid madalamad lahustaja kõvastumistemperatuurist.

Mõned ained, nagu vaha, klaas, raud jt. pehmenevad enne sulamist, kuna teiste ainete, nagu jää, tsink jt. juures seda märgata ei saa, vaid need vedelduvad järsku. Ainete pehmenemine enne sulamist evib suurt tähtsust, sest see võimaldab valmistada mitmesuguse kujuga esemeid (metallide sepitsemine, valtsimine ja keevitamine; klaasi puhumine; vaikainete pressimine jne.).

Enamik aineid paisub sulamisel ja kõvastumisel tõmbub uuesti kokku. Seepärast langevad metallitükid sula metalli sees põhja. Ainult mõned vähesed ained, nagu vesi ja malm tõmbuvad sulamisel kokku, s. t. nende erikaal suureneb, ja jäätükk ujub veepinnal, samuti ujub malmitükk sulamalmi pinnal. Jäätumisel paisub vesi õige tunduvalt, umbes 10% vee ruumalast. Seepärast tuleb külmal aastaajal kaitsta veetorustikke, seisvaid aurukatlaid, mootorite jahutusseadmeid jne. neis leiduva vee jäätumise eest, sest paisumisel avaldab jäätuv vesi väga suurt rõhku, nii et isegi veega täidetud tugevasinaline raudpomm puruneb, kui selles vesi jäätub.

69. Sulamissoojus. Sulamiseks on vaja soojust, sest kui sulavale ainele katkestada soojuse juurdevool, lõpeb sulamine. Sulamise vältel ei suurene aga sulava aine ega sulatise temperatuur, olgugi et kogu aeg soojust juurde juhitakse. Sulamiseks vajanev soojus ei tõsta seega sulava aine temperatuuri, vaid see soojus kulub aine muutmiseks tahkest olekust vedelasse olekusse.

Kui segada kalorimeetris 1 kg vett temperatuuriga 80°C 1 kg jääga, mille temperatuur on 0°C , siis sulab jää kuumas

vees, kusjuures saadakse 2 kg vett, mille temperatuur on 0°C . Sulamiseks vajaliku soojuse sai jää kuumalt veelt, kusjuures vesi andis oma soojusest jää sulatamiseks 80 kcal. Nähtavasti kulub seega 1 kg jää sulatamiseks 80 kcal. Katsed tõendavad, et iga aine vajab sulamiseks isesugusel hulgal soojust.

Aine sulamissoojuseks nimetatakse seda soojushulka, mis on tarvilik 1 kg sulamistemperatuuril oleva aine sulatamiseks. Vedela aine kõvastumisel vabaneb uuesti see soojus, mida keha vajab sulamiseks, kusjuures vabanev soojus andub ümbritsevatele kehadele, eeskätt õhule. Kõvastumise vältel keha ei jahtu, vaid tulemuseks on tahke keha sama temperatuuriga.

Tabelis nr. 10 on antud mõnede ainete sulamissoojused.

Tabel nr. 10.

Mõnede ainete sulamissoojused.

Jää	80	Tsink	28
Alumiinium	77	Hõbe	21
Vask	43	Inglistina	14
Parafiin	35	Seatina	7
Raud	30		

Näide:

50. Kui palju soojust on vaja 3 kg seatina sulatamiseks, mille algtemperatuur on 20°C ?

Tina soojendamiseks sulamistemperatuurini vajalik soojushulk on

$$Q_1 = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 3 \cdot 0,031 (327 - 20) = 28,5 \text{ kcal.}$$

Sulatamiseks vajalik soojushulk on $Q_2 = 3 \cdot 7 = 21 \text{ kcal.}$

Kokku on vaja soojust $Q = Q_1 + Q_2 = 28,5 + 21 = 49,5 \text{ kcal.}$

Ulesandeid:

103. Kai palju soojust on vaja, et sulatada a) 100 kg vaske; b) 100 kg rauda; c) 100 kg alumiiniumi, millede algtemperatuur on 15°C ?

104. Kui palju soojust vabaneb, kui 1 tonn sula vaske kõvastub?

70. Lahustumine ja selle soojus. Aine lahustumine vedelikus on teataval määral sulamisega sarnanev nähtus, sest ka lahustumisel lõhutakse lahustuva aine üksikute osakeste vaheline side. Kui lahustada näiteks soola vees, langeb lahuse temperatuur. Nähtavasti vajab ka aine lahustumine teatavat hulka soojust, mida lahustuv aine saab lahustajalt. Sulamisest erineb lahustumine selle poolest, et sulamine toimub teataval kindlal temperatuuril, kuna lahustumine võib toimuda igasugusel temperatuuril. Ainult antud lahustajas lahustuva aine hulk oleneb lahustaja temperatuurist.

Lahustumise soojus leiab praktilist kasutamist jahutussegudes. Kui segada 3 osa lund 1 osa keedusoolaga, alaneb selle segu temperatuur kuni -21°C . Peale nimetatud segu tuntakse veel terve rida mitmesuguseid teisi jahutussegusid.

71. Aurustumine. Igapäevase elu kogemustest teame, et lahtisest anumast haihtuvad vedelikud, märjad esemed kuivavad jne. Kõigil neil juhtumel lähevad vedelikud vedelast olekust gaasitaolisse olekusse – vedelikud aurustuvad. Gaasilisse olekusse üleläänud vedelikku nimetatakse auruks.

Vedelikkude aurustumine toimub vedeliku pinnalt igasugusel temperatuuril ja rõhul mitte üksi õhku, vaid mistahes gaasi, mis asub vedeliku pinna kohal. Vedeliku aurustumine oleneb vedeliku omadustest: piiritus ja bensiin aurustuvad näiteks palju kiiremini kui vesi, vesi omakorda aurustub kiiremini kui elavhõbe jne. Teisest küljest oleneb aurustumine vedeliku vaba pinna – auramispinna – suurusest: ühesugune vedeliku hulk aurustub laiast anumast palju kiiremini kui kitsast. Suurel määral mõjutab vedeliku aurustumist vedeliku temperatuur: mida kõrgem on temperatuur, seda kiirem on ka aurustumine.

Kui raamitud kivitahvel niisutada mõlemalt poolt veega ja asetada siis tahvel rõhtloodis soojale pinnale, kuivab tahvli väline külg kiiresti, kuna sisemine külg jääb märjaks. Seletatav on see sellega, et tahvli sisemise külje ja sooja pinna

vaheline õhuruum on niivõrd väike, et see ei suuda vastu võtta seda veeauru hulka, mis tekiks plaadilt kogu vee aurustumisel. Aurustumine katkeb, kui gaas on vedeliku aurudest küllastunud, samuti nagu soola lahustamisel vees tekib küllastunud lahus, milles sool enam ei lahustu. Seepärast peab näiteks kuivatusseadmeis hoolitsema korraliku õhuvahe- tuse eest, mis ei lase õhku küllastuda, vaid kõrvaldab tekkinud aurud.

Mõned tahked ained võivad muutuda gaasilisteks ilma vahepealse vedeldumiseta. Näiteks kuivab ka külmaga õue kuivama pandud pesu; ainete lõhna tekitavad gaasistunud aine osakesed jne. Seesugust tahkete ainete gaasistumist nimetatakse *lendumiseks*.

Samuti nagu sulamine nii ka aurustumine vajab soojust. Kui kallata käele tilk piiritust, siis jaheneb käsi kohal, kus piiritus aurustub. Aurustumiseks vajaliku soojuse saab vedelik ümbritsevalt keskkonnalt ja ka vedelikult endalt, mille tagajärjel vedeliku temperatuur võib tunduvalt langeda, olenedes auramise suurusest. Seda asjaolu kasutatakse näiteks kuumal aastaajal joogivee hoidmiseks jahedana, milleks mähitakse veeanuma ümber märg riie ja asetatakse anum tuulsesse kohta.

72. Õhuniiskus. Veekogudest vee aurustumise tõttu sisaldab õhk alati mõnesugusel määral veeauru. Õhk võib sisaldada veeauru seda rohkem, mida kõrgem on õhu temperatuur; seega oleneb õhu küllastuspunkt veeaurudest õhu temperatuurist. Tabelis nr. 11 on toodud õhu küllastuse korral veeauru hulk grammides 1 kuupmeetris õhus mitmesugustel temperatuuridel.

Õhuniiskusest kõnelemisel tehakse vahet absoluutse niiskuse ja relatiivse ehk suhtelise niiskuse vahel.

Õhu absoluutseks niiskuseks nimetatakse 1 kuupmeetris õhus sisalduvat veeauru hulka grammides. Õhu suhteline ehk relatiivne niiskus näitab aga küllastuse astet, s. t. suhet

antud temperatuuril õhus tõeliselt sisalduva veeauru hulga ja sinna mahtuva auruhulga (küllastushulga) vahel. Sisaldagu näiteks 1 m³ õhku temperatuuril 20° C 10 g veeauru; selle temperatuuri juures võib õhk sisaldada kõige rohkem veeauru 17,3 g. Suhteline niiskus on seega $10:17,3 = 0,58$ ehk 58 %.

Tabel nr. 11.

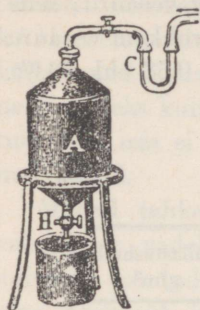
Veeauru küllastushulk õhus.

Temperatuur °C	Küllastushulk g/m ³	Temperatuur °C	Küllastushulk g/m ³
-20	0,0	14	12,1
-10	2,2	16	13,7
-5	3,2	18	15,4
0	4,8	20	17,3
2	5,6	22	19,4
4	6,4	24	21,8
5	7,3	26	24,7
8	8,3	28	27,1
10	9,4	30	30,2
12	10,7		

Kui õhu relatiivne niiskus on näiteks 50 %, siis tähendab see, et õhku mahub veel täpselt niisama palju niiskust, kui seal juba olemas.

Uhesuguse absoluutse niiskuse juures tundub kuivemana see õhk, mille suhteline niiskus on väiksem, sest seda rohkem mahub temasse uut veeauru ja seda kiiremini aurustub selles õhus vesi. Soojas «kuivas» õhus võib olla absoluutne niiskus koguni suurem kui külmas «niiskes» õhus. Seepärast tundubki õhk sügisel niiskemana kui suvel. Tervishoiuliselt on inimesele kõige soodsam, kui õhu relatiivne niiskus on 50 – 60 %, millist niiskuse sisaldavust tuleks hoida elu- ja tööruumides, haiglates, koolides jne.

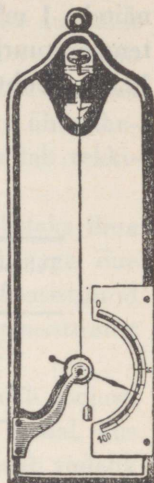
73. Hügromeetrid. Õhu absoluutset niiskust mõõdetakse joonisel 88 näidatud riistaga. Anum *A* mahutab täpselt 1 m³



Joonis 88.

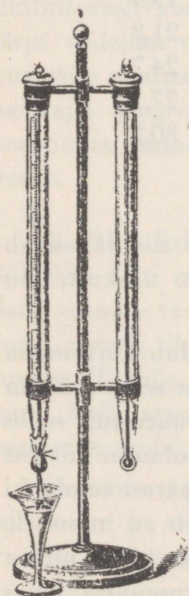
vett. U-taolisse torru *C* asetatakse kloorkaltsiumi, millel on omadus imeda endasse niiskust. Kraani *H* lahtikeeramisel voolab anumast *A* vesi välja, kuna asemele tuleb toru *C* kaudu täpselt 1 m³ õhku, kusjuures kloorkaltsium imeb endasse õhus oleva niiskuse. Toru *C* kaalu suurenemine näitab 1 m³ õhus sisalduvat niiskuse hulka.

Õhu suhtelist niiskust määratakse hügroskoobiga. Joonisel 89 on kujutatud juushügroskoop; selle tähtsamaks osaks on rasvast



Joonis 89.

vabastatud juuksekarv, mille alumine ots on keeratud ümber osutiga võlli. Hügroskoobi tööviis põhjeneb nähtusel, et niiskuse suurenemisel imeb juuksekarv endasse niiskust ja pikeneb, kuna õhu kuivenemisel karv lüheneb.



Joonis 90.

Kõige lihtsam vahend relatiivse niiskuse määramiseks on psükromeeter (joonis 90). Psükromeeter koosneb kahest täiesti ühesugusest täpsest termomeetrist. Üks termomeeter mõõdab õhu temperatuuri (kuiv termomeeter), kuna teise termomeetri anuma ümber on mähitud riie, mille alumine ots ulatub veenõusse. Selle tagajärjel aurustub vesi märja termomeetri anuma ümber; auramisega käib aga kaasas temperatuuri langemine. Et vee aurustumine ja temperatuuri langemine on seda suurem, mida väiksem on õhu suhteline niiskus, siis on termomeetrite näitamiste

vahe õhu suhtelise niiskuse mõõduks. Kui õhk on küllastunud, näitavad mõlemad termomeetrid ühepalju. Niiskuse määramiseks loetakse mõlemate termomeetrite näitamised ja nende andmete põhjal määratakse õhu suhteline niiskus sellekohasest tabelist. Tabelis nr. 12 on toodud väljavõte täielikust psükromeetri tabelist.

Tabel nr. 12.

Psükromeetri tabel relatiivse õhuniiskuse määramiseks.

		Märja termomeetri näitamine (°C)										
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Kuiva termomeetri näitamine (°C)	10	57	68	79	98	100						
	11	49	59	69	79	89	100					
	12	40	50	60	70	80	90	100				
	13	33	42	51	61	71	81	91	100			
	14	26	34	43	52	62	72	81	91	100		
	15	21	28	37	45	54	63	72	81	91	100	
	16	16	24	31	38	46	55	63	72	81	91	100
	17	11	18	25	33	40	48	56	64	72	81	91
	18		14	21	28	34	41	48	57	65	73	81
	19			16	23	30	36	42	50	57	65	73
	20			12	18	25	31	38	44	51	58	66
	21				14	21	27	33	39	45	52	59
	22				11	17	23	28	34	40	47	53
	23					14	19	24	30	36	41	48
	24					11	16	21	26	31	36	42
	25						13	18	23	28	33	38

Näide: Märg termomeeter näitab 10° C, kuiv – 14° C. Tabelist leiame nende arvude kohalt relatiivse niiskuse 62 %.

74. Keemine ja vedeldumine. Vedelikkude soojendamisel hakkavad need keema, s. t. kiiresti aurustuma. Keemisel ei aurustu vedelik mitte üksi pinnal, vaid ka vedeliku sees, eriti neis kohtades, kus vedeliku soojenemine on kõige suurem. Vedeliku sees tekkinud ja pinnale tõusvad aurumullid panevad keemisel kogu vedeliku liikuma.

Keemine algab teataval kindlal temperatuuril, mida nimetatakse keemistemperatuuriks. Kui vedelik asub lahtises anumas, püsib vedeliku temperatuur kogu keemise vältel ühel ja samal kõrgusel. Tule suurendamisega ei saa keeva vedeliku temperatuuri tõsta; suurenenud soojuse juurdevool kiirendab ainult vedeliku aurustumist keemisel. Nähtavasti kulub keemisel vedelikku juhitud soojus aine muutmiseks vedelast olekust gaasilisse olekusse. Alles siis, kui kõik vedelik on aurunud, tõuseb edaspidisel soojendamisel auru temperatuur.

Auru jahtumisel langeb auru temperatuur pidevalt kuni keemistemperatuurini ja edaspidisel jahutamisel hakkab aur vedelduma, kusjuures tekkinud vedelikul on sama temperatuur, nagu selle aine keemistemperatuur. Vedeldumistemperatuur on seega võrdne keemistemperatuuriga. Vedeldumisel vabaneb uuesti see soojus, mis kulus vedeliku aurumiseks.

Igal ainel on kindel keemis- ja vedeldumis-temperatuur. Tabelis nr. 13 on antud mõnede ainete keemistemperatuurid normaalse õhurõhu (760 mm) juures.

Tabel nr. 13.

Mõnede ainete keemistemperatuurid.

Kuld	2610° C	Vesi	100° C
Tsink	930	Piiritus	78
Väävel	444	Eeter	35
Elavhõbe	357	Ammoniaak ¹	-33
Linaõli	316	Heelium	-269
Parafiin	300		

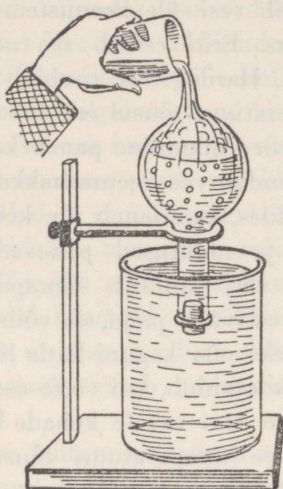
Vees lahustunud soolad tõstavad vähesel määral vee keemistemperatuuri. Näiteks küllastatud keedusoola lahus keeb 108°C juures.

Teatavail juhtumeil kuumeneb vesi üle keemistemperatuuri, ilma et ta keema hakkaks. Eriti esineb see nähtus mitmekordselt keenud vee juures. Harilik vesi sisaldab teataval määral õhku, mis vee temperatuuri tõusul eraldub veest ja tõuseb mullidena vee pinnale. See liikumine paneb ka vee liikuma, mis mõnel määral kergendab vee keema hakkamist. Õhuvaene vesi, näiteks laevakateldes, kuumeneb üle keemistemperatuuri. Juhuslikud tõuked ja raputused panevad aga vee kohe keema, kusjuures hulk vett muutub silmapilkselt auruks. Et aurustumisel paisub vesi väga palju, siis võib seesuguse järsu aurustumise tagajärjeks olla koguni katla lõhkemine. Ulekuumenemise hädaoht kõrvaldub, kui vette asetada väikesi esemeid, näiteks plekitükke, sest nende kehade külge jäänud õhuosakesed eralduvad vee temperatuuri tõusul ja soodustavad oma liikumisega vee keema hakkamist ning takistavad ulekuumenemist.

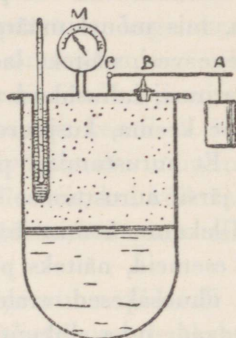
75. Keemistemperatuuri olenevus rõhust. Vedeliku keemistemperatuur oleneb rõhust, mis valitseb vedeliku pinnal. Seda tõendab järgnev katse veega. Ajame keedupudelis vee keema ja korgime pudeli kinni, kui tekkinud veeaur on keedupudelist välja tõrjunud seal leiduva õhu. Nüüd pöörame pudeli põhja üles, pistame kaela vee alla ja kallame pudeli põhjale külma vett (joonis 91). Selle tagajärjel jahtub aur ja vedeldub. Kuna auru ruumala on tunduvalt suurem teda tekitava vee ruumalast, siis väheneb auru vedeldumisel rõhk vedeliku pinnale ja see vesi hakkab uuesti energiliselt keema, kuid keemistemperatuur on nüüd madalam. Vesi keeb 100°C juures ainult siis, kui õhu rõhk on 760 mm. Kõrgetel mägedel on seetõttu vee keemistemperatuur palju madalam (näiteks Mont-Blanc'i tipul 84°C).

Kui aga vett kuumutada kinnises anumas, siis koguneb tekkinud aur vedeliku pinna kohale. Selle tagajärjel suureneb

auruosakeste hulk ja seega ka rõhk vee pinnale. Rõhu suure-
nemisega muutub vedeliku aurustumine raskemaks ning vesi
hakkab keema alles kõrgemal temperatuuril. Vee keemis-



Joonis 91.



Joonis 92.

temperatuuri mitmesugusel rõhul mõõdetakse joonisel 92
näidatud nn. Papin'i kattega.

Vee keemistemperatuurid mitmesugusel õhu rõhumisel
on toodud tabelis nr. 14.

Tabel nr. 14.

Vee keemistemperatuur mitmesugusel õhu rõhumisel.

720 mm elavhõbedasammast	98,5° C
730 " "	98,9
735 " "	99,1
740 " "	99,3
750 " "	99,6
760 " "	100
770 " "	100,4

Vee keemistemperatuurid suure hõreduse ja kõrge rõhu juures on toodud tagapool, tabelis nr. 16.

Samasugune keemistemperatuuri sõltuvus rõhust on maksev ka kõigi teiste vedelikkude juures, milline asjaolu leiab ka mõningat praktilist kasutamist.

76. Aurumissoojus. Kogu keemise vältel püsib vedeliku temperatuur ühel ja samal kõrgusel, kui samal ajal ei muutu auru rõhk. Seega kulub vedelikku juhitud soojus ainult vedeliku aurustamiseks.

Aurumissoojuseks nimetatakse seda soojahulka, mis on tarvilik püsival rõhul 1 kg vedeliku aurustamiseks, kui vedelik on juba soojendatud keemistemperatuurini.

Aurumissoojus oleneb auru rõhumisest vedeliku pinnale; rõhu suurenemisega väheneb aurumissoojus. Mõnede vedelikkude aurumissoojused keemistemperatuuril ja normaalsel rõhul on toodud tabelis nr. 15.

Tabel nr. 15.

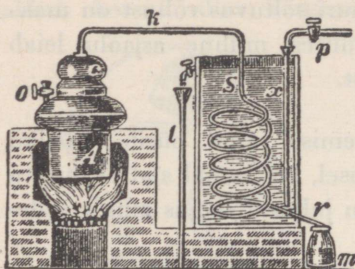
Mõnede vedelikkude aurumissoojused.

Vesi	539 kcal	Eeter	90 kcal
Piiritus	210	Petrooleum	75
Bensool	94	Elavhõbe	68

Auru jahtumisel muundub aur uuesti vedelaks kehaks, kusjuures vabaneb sama hulk soojust, mis kulus aurustamiseks. Seda nähtust kasutatakse vee soojendamiseks auru juhtimisega vette.

77. Destilleerimine. Vedeliku aurustumist ja auru kondenseerumist, s. t. auru vedeldumist kasutatakse rohkelt vedelikkude puhastamiseks neis leiduvaist lisandeist. Seda toimingut nimetatakse destilleerimiseks. Joonisel 93

on näidatud destilleerimisaparaat: *A* – aurustumiskatel, *S* – vette asetatud jahutusspiraal, *m* – destillaadi kogumise



Joonis 93.

anum, *p* – jahutusvee juurdevoolu toru ja *t* – jahutusvee äravoolu toru. Kirjeldatud anum kasutatakse näiteks keemiliselt puhta, nn. destilleeritud vee saamiseks.

Mitme vedeliku segu destilleerimisel aurustub kõigepealt madalama keemistemperatuuriga vedelik. Selle aurumise

järel lakkab keemine ja vedeliku temperatuur tõuseb järgmise lisandi keemistemperatuurini jne. Seetõttu saab destilleerimisega eraldada mitme vedeliku segust üksikud segunenud vedelikud, mille keemistemperatuurid üksteisest erinevad. Seesuguse järgulise destilleerimisega eraldatakse näiteks naftast bensiin, petrooleum ja teised õli liigid. Vahel destilleeritakse üksikud aetised veel kord.

Tarbe korral, kui temperatuuri tõstmine pole soovitatav, toimub destilleerimine madala rõhu all (näiteks suhkrutööstuses vee kõrvaldamine suhkrust).

78. Küllastunud aur. Vedeliku aurustumisel mahutab õhk endasse teatava hulga auru, mille hulk oleneb temperatuurist. Kui teatav ruum sisaldab antud temperatuuril kõige rohkem auruosakesi, siis öeldakse, et aur on küllastunud (õigemini: ruum on aurust küllastunud). On see seisukord saavutatud, lõpeb aurustumine ning edaspidisel kuumutamisel hakkab vedeliku ja auru temperatuur tõusma. Temperatuuri suurenemisega mahutab aga ruum endasse uut auru ning seetõttu suureneb auru rõhk seni, kuni on saavutatud uuesti küllastus. Seega täiesti kinnises katlas vesi üldse ei saagi ägedalt keeda, vaid katlasse juhitud soojus kulub peamiselt vee temperatuuri ja auru rõhu suurendamiseks. Kui aga osa auru katlast välja juhtida, väheneb auru rõhk, vesi

hakkab keema ja keeb seni, kuni auru rõhk on tõusnud vastavaks vee temperatuurile.

Töötavas aurukatlas on alati küllastunud aur. Veeauru rõhu ja temperatuuri vahetõrge on toodud tabelis nr. 16. Peale selle on tabelis antud veel vee soojasisaldavus, auramis-soojus ja auru erimaht mitmesugustel rõhkudel.

Tabel nr. 16.
Küllastunud auru tabel.

Auru abs. rõhk kg/cm ²	Keemistem- peratuur °C	Vee soojasisal- datus kcal	Aurumis- soojus kcal	1 kg auru ruumala m ³	Auru abs. rõhk kg/cm ²	Keemistem- peratuur °C	Vee soojasisal- datus kcal	Aurumis- soojus kcal	1 kg auru ruumala m ³
0,02	17,1	17,1	585,8	68,27	7	164,2	165,7	495,2	0,278
0,1	45,4	45,4	570,5	14,96	8	169,6	171,4	490,9	0,245
0,5	80,9	80,9	550,6	3,30	9	174,5	176,6	486,8	0,219
0,8	93,0	93,0	543,6	2,13	10	179,0	181,3	483,1	0,198
1	99,1	99,1	539,9	1,73	15	197,4	200,7	466,7	0,135
2	119,6	119,9	527,0	0,903	20	211,4	215,8	452,9	0,102
3	132,9	133,4	518,1	0,618	30	232,8	239,1	429,5	0,068
4	142,9	143,7	511,1	0,472	40	249,2	257,4	409,2	0,051
5	151,1	152,2	505,2	0,382	50	262,7	272,7	390,7	0,040
6	158,1	159,4	499,9	0,322	100	309,5	328,7	311,8	0,018

Vee soojasisaldavuse all mõistetakse seda sooja-hulka, mis on tarvilik 1 kg vee temperatuuri tõstmiseks 0° C-lt vee keemistemperatuurini. (Vee soojasisaldavus ei vasta täpselt temperatuuri kraadide arvule, sest vee erisoojus muutub vähesel määral temperatuuriga.)

Kui liidame vee soojasisaldavuse ja aurumissoojuse, leiame auru kogusoojuse. Auru kogusoojus näitab, kui palju on vaja soojust, et muuta auruks 1 kg vett, mille temperatuur on 0° C. Näiteks rõhul 1 at on 1 kg auru kogusoojus 99,1 + 539,9 = 639,0 kcal, kuid rõhul 20 at on 1 kg auru kogusoojus 215,8 + 452,9 = 668,7 kcal. Siit selgub, et auru

rõhu suurendamisel suureneb auru kogusoojus ja seega ka küttekulu õige vähe, kuid auru töövõime suureneb väga palju. See ongi põhjuseks, miks on kasulikum kasutada kõrgerõhulist auru.

Edasi nähtub tabelist, et rõhul 1 at (ligikaudu harilik õhu rõhk) on 1 kg auru ruumala $1,73 \text{ m}^3$ ehk 1730 l; on arusaadav, et 1 kg auru tekitamiseks on vaja 1 kg vett – seega selle auru ruumala on 1730 korda suurem aurunud vee ruumalast. Tavaliselt töötavad katlad kõrge rõhuga, kusjuures katlavee temperatuur on üle 100°C . Katla lõhkemisel väheneb järsku rõhk vee pinnale 1 atmosfäärini ja seetõttu kõik katlas olnud vesi aurub silmapilkselt, võttes enda alla 1730 korda suurema ruumala. Otsides väljapääsu purustab järsku tekkinud suur auruhulk katlamaja ja võib ohtlikuks saada ka lähedastele ehitustele.

Eespool selgus, et gaaside kokkusurumisel suureneb gaasi rõhk vastavalt ruumala vähenemisele. Küllastunud aur ei allu sellele seadusele, vaid kokkusurumisel jääb auru rõhk endiseks, kuid osa auru vedeldub. Samuti ka auru jahutamisel kondenseerub osa auru veeks, sest madalamale temperatuurile vastab väiksem rõhk.

Näiteid:

51. Kui palju soojust on vaja 100 kg vee muutmiseks auruks ülerõhuga 8 at, kui vee algtemperatuur on 15°C ?

Auru absoluutne rõhk on $8 + 1 = 9$ at. Selle auru kogusoojus on $176,6 + 486,8 = 663,4$ kcal. Et vee algtemperatuur on 15°C , siis sisaldab vesi juba soojust 15 kcal ja seega tuleb 1 kg veele soojust juurde juhtida.

$$663,4 - 15 = 648,4 \text{ kcal}$$

ja 100 kg vee aurustamiseks on vaja

$$100 \cdot 648,4 = 64840 \text{ kcal.}$$

52. Kui palju vett on vaja 50 m^3 auru tekitamiseks ülerõhuga 3 at?

Auru absoluutne rõhk on 4 at ja seega 1 kg auru ruumala on $0,472 \text{ m}^3$. 50 m^3 auru kaal on seega

$$\frac{50}{0,472} = 106 \text{ kg}$$

106 kg auru saavutamiseks on vaja 106 kg vett.

Teine lahendusviis. 1 kg auru ruumala on $0,472 \text{ m}^3$. Auru erikaal on $\frac{1}{0,472} = 2,12 \text{ kg/m}^3$ ja 50 m^3 auru kaalub seega

$$50 \cdot 2,12 = 106 \text{ kg.}$$

Ulesandeid:

105. Kui suur on auru erikaal a) temperatuuril $211,4^\circ \text{C}$; b) ülerõhul 5 at?

106. Kui palju soojust on tarvis 120 kg vee aurustamiseks, kui auru ülerõhk on 19 at ja vee algtemperatuur 18°C ?

107. Kui palju vett on tarvis 500 kg auru tekitamiseks ülerõhuga 7 kg/cm^2 ?

108. Aurukatel peab andma tunnis 800 kg küllastunud auru rõhuga 10 kg/cm^2 . a) Kui palju soojust vaja juhtida 1 tunni jooksul katlaveele, kui katla toitevee temperatuur on 10°C ? b) Kui palju vett peab 1 tunni jooksul katlasse pumpama katkestamata töö korral?

79. Ülekuumendatud aur. Aurukatlast tulev küllastunud aur sisaldab alati teataval määral katlast kaasakistud veetilku – aur on märg. Selle vee kõrvaldamiseks kuumutatakse auru väljaspool katelt. Seesugust kuivatatud auru nimetatakse kuivaks küllastunud auruks. Auru kuivamisel ei suurene auru temperatuur.

Ka kuiv küllastunud aur pole sobiv kasutamiseks aurumasinais, sest vähimalgi jahtumisel kondenseerub osa auru veeks, mis pole soovitav. Seepärast kuumutatakse kuiva küllastunud auru veelgi, kusjuures tõuseb auru temperatuur ja suureneb ruumala, kuid rõhk jääb endiseks. Seesugust auru nimetatakse ülekuumendatud auruks.

Auru ülekuumendamine toimub nn. ülekuumendajas, mis kujutab endast torustikku, millest aur lastakse läbi. Ülekuumendaja on asetatud katla suitsukäiku, võrdlemisi lähedale küttekoldele. Harilikult on ülekuumendatud auru temperatuur $100 - 150^\circ \text{C}$ kõrgem kui küllastunud auru temperatuur.

Ülekuumendatud aur allub kõigile seadustele, millele gaasidki. Seepärast väheneb ülekuumendatud auru jahtumisel auru ruumala või rõhk, ja auru paisumisel väheneb ning kokkusurumisel suureneb rõhk. Ülekuumendatud auru jahtumisel või kokkusurumisel selle määrani, et

auru temperatuur ja rõhk vastavad küllastunud auru temperatuurile ja rõhule, tekib küllastus ja auru edaspidisel jahutamisel või kokkusurumisel algab auru kondenseerumine.

80. Gaaside vedeldamine. Osa kehi, mis temperatuuri tõstmisega muutuvad kergesti gaasideks, vedeldub juba hariliku õhu rõhu ja temperatuuri juures. Seesuguseid gaase nimetatakse aurudeks; päris gaasid on aga need ained, mis harilikul temperatuuril tahkes ja vedelas olekus ei esine.

Eeldades, et kõik gaasid on vastava aine ülekuumendatud aurud, võib arvata, et gaaside jahutamisel ja kokkusurumisel saab neid vedeldada samuti, nagu vedeldub ülekuumendatud veeaur. Katsed mitmesuguste gaasidega tõendavadki seda väidet.

Igal gaasil on teatav kindel temperatuur, millest kõrgemal vastav aine ei esine vedelas olekus, kuigi gaasi kokku suruda mistahes suure rõhuga. Seda piirtemperatuuri nimetatakse kriitiliseks temperatuuriks. Seepärast peab vedeldatava gaasi temperatuur olema madalam kriitilisest temperatuurist. Kriitilisel temperatuuril vedeldub gaas teatava rõhu all; seda rõhku nimetatakse kriitiliseks rõhuks. Tabelis nr. 17 on toodud mõnede ainete kriitiline temperatuur ja rõhk.

Tabel nr. 17.

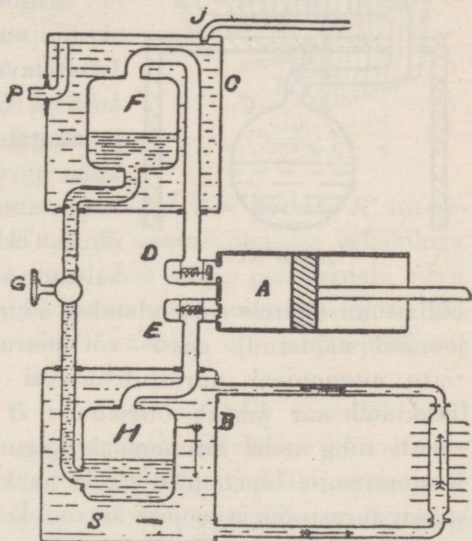
Kriitiline temperatuur ja rõhk.

	Kriitiline	
	temperatuur °C	rõhk at
Elavhõbe	1450	1000
Vesi	374	225
Ammoniaak	133	116
Süsihapu gaas	31	75
Hapnik	−119	51
Lämmastik	−147	35
Heelium	−268	2,3

Gaaside vedeldamiseks tegelikult vajalik rõhk oneneb gaasi temperatuurist: mida madalam on temperatuur kriitilisest temperatuurist, seda väiksem on ka vajalik rõhk.

81. Jahutusseadmed. Paljudes asutistes, nagu toitaine- tööstustes ja -ladudes, ei tohi temperatuur ületada teatavat piiri, et vältida ainete rikenemist. Temperatuuri hoidmiseks parajal tasemel kasutatakse jahutusseadmeid, mille tööviis põhjeneb vedeldatud gaasi aurumisel ja selleks vajaneva soojuse võtmisel ümbritsevalt keskkonnalt, mille tagajärjel selle temperatuur langeb.

Joonisel 94 on näidatud kompressiooni- viisil töötava seadme skeem. Anumas *H* on harilikult vedel ammoniaak. Kompressori *A* kolvi liikumisel paremale avaneb imemis- ventiil *E*, mille tagajärjel rõhk anumaski *H* langeb, osa ammoniaaki aurub ja imetakse kompressori silindrisse. Kolvi liikumisel vasakule surutakse aur kokku ja juhitakse suruventiili *D* kaudu ja-

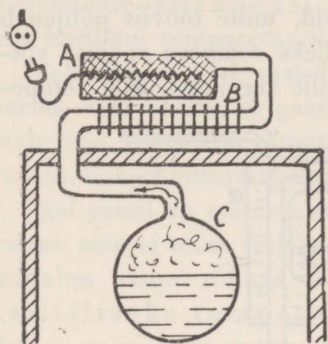


Joonis 94.

hutisse *F*, kus kokkusurutud kuum ammoniaagi aur jahtub ja vedeldub. Jahutit jahutatakse külma veega. Vedeldatud ammoniaak valgub reguleeriva ventiili *G* kaudu uuesti anumasse *H*, kust algab ringkäik uuesti. Aurustis *H* ammoniaagi aurustamiseks vajalik soojus saadakse aurustit ümbritsevalt soola lahusest, mis asub anumaski *S*. Soola lahus jahtub isegi kuni -10°C . Külma soolalahuse juhitakse torustiku kaudu

jahutatavasse ruumi, kus ta ribijahutis jahutab õhku ja tuleb soojendatult tagasi anumasse S.

Teisel põhimõttel, nn. absorptsioonviisil töötava jahutusseadme töö põhjeneb nähtusel, et mitmed tahked (ja ka vedelad) kehad imavad ehk absorbeerivad (s. t. imevad endasse) rohkel määral vedelikkude auru. Jahutava aine kasutatakse peamiselt ammoniaaki; imavaks aineks on harilikult kloorkaltsium, mis on suuteline suurel määral imama ammoniaaki.



Joonis 95.

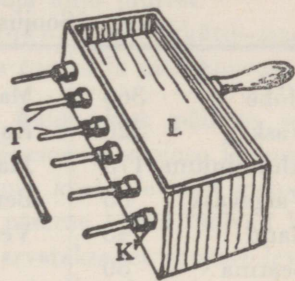
Absorptsioon - jahutusseadme skeem on näidatud joonisel 95. Jahutatavasse ruumi paigutatud aurustis C aurustub ammoniaak ja jahutab seejuures jahutusruumi, kuna aurumiseks vajaliku soojust saab ammoniaak jahutusruumi õhult. Tekkinud aurud imab kloorkaltsium anumast A. Kloorkaltsiumi

küllastumise järele soojendatakse anumast A elektrivoolu (nagu joonisel näidatud), gaasi- või petrooleumileegi abil, mille tõttu ammoniaak aurustub uuesti ja lahkub anumast A. Tekkinud aur jahutab õhkjahutis B ja seejuures vedeldub uuesti ning vedel ammoniaak koguneb jällegi aurustisse C. Kuumutamise lõpetamise järele hakkab ammoniaak aurustis uuesti aurustuma ja soojust ära vool kestab, kuni kloorkaltsium on jällegi küllastunud või kogu ammoniaak auruks. Nüüd kuumutatakse anumast A uuesti jne. Majapidamistes kasutatavais absorptsioon-jahutuskappides vältab külma tekitamise periood 5–10 tundi.

82. Soojuste levimisviisid. Kui mitmesuguste temperatuuridega kehad asuvad üksteise naabruses, siis kandub soojus kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehale seni, kuni nende temperatuurid on võrdsed. Soojuste

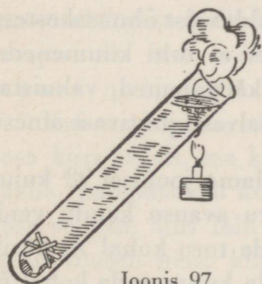
levimine toimub kolmel viisil: juhtivuse, edasikandumise ja kiirgamise teel.

83. Soojusejuhtivus. Kui hoida raudvarda üht otsa tules, teist käes, tundub peagi, et ka käeshoitav varda ots soojeneb: soojus levib mööda keha soojemast osast külmemasse. Seda soojuse levimise viisi nimetatakse soojusejuhtivuseks. Kui aga hoida käes põlevat puutükki, ei soojene käeshoitav puutüki ots sugugi. Siit selgub, et kehade soojusejuhtivus on erinev: mõned ained on head, teised halvad soojusejuhid. Mitmesuguste ainete soojusejuhtivust näitab järgmine katse (joon.96).



Joonis 96.

Plekk-kasti *L* külge seinast on pistetud läbi korkide *K* mitmesuguseist aineist vardad *T*, mis on kaetud õhukese vahakihihiga. Kui kallata kasti kuuma vett, levib soojus piki vardaid edasi, kusjuures vaha sulamise kiirus üksikuil vardail on soojusejuhtivuse mõõduks.



Joonis 97.

Uldiselt on kõik metallid head soojusejuhid; halvemini juhivad soojust savi, klaas jt. Vedelikkude soojusejuhtivus on veelgi väiksem. Vee väga väikest soojusejuhtivust näitab katse joonisel 97. Kui soojendada katseklaasis olevat vett ülalt, hakkab vesi

seal varsti keema, kuid katseklaasi põhja paigutatud jäätükk ei sulanud nii pea.

Kõige halvemad soojusejuhid on gaasid. Õhutühi ruum ei juhi soojust üldse mitte.

Keha soojusejuhtivuse arvuks nimetatakse seda soojushulka kilokaloreis, mis läbib 1 m^2

põikpinnaga ja 1 m paksuse keha 1 tunni vältel, kui mõlemate otsapindade temperatuuride vahe on 1° C. Tabelis nr. 18 on toodud mõningate ainete soojusejuhtivuse arvud.

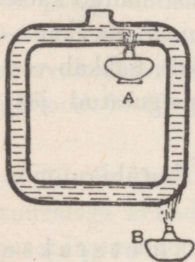
Tabel nr. 18.

Soojusejuhtivuse arvud.

Hõbe	360	Marmor	~ 2,5	Telliskivi	~ 0,4
Vask	320	Katlakivi	~ 2	Linoleum	~ 0,2
Alumiinium	175	Jää	1,5	Puit	~ 0,2
Valgevask	85	Betoon	~ 1	Asbest	~ 0,2
Raud	45	Vesi	~ 0,5	Õhk	~ 0,02
Seatina	30				

Neid kehi, mida tahetakse hoida soojenemise (keldrid, jää-hoiuruumid jt.) või jahtumise (aurutorustikud, kuuma vee anumad jt.) eest, ümbritsetakse halvasti soojust juhtivate ainetega, nn. soojuse isolaatoritega. Paljude isolaatrite (nagu õled, vatt, vill, saepuru, kork, süsi, suled, lumi jt.) halb soojusejuhtivus on tingitud neis sisalduvaist õhuosakestest. Need ehitiste ja aparaatide osad, mis ei tohi kuumeneda, nagu tinutuskolbide, triikmasinate jt. käepidemed, valmistatakse puust või mõnest muust soojust halvasti juhtivast ainest.

84. Soojuse edasikandumine. Täidame joonisel 98 kujutatud klaastoru veega ja puistame torru avause kaudu veidi saepuru. Kui kuumutada toru kohal A, püsib vesi paigal; kui aga teda kuumutada kohal B, hakkab vesi soojenedes torus ringlema, mida märkame saepuru liikumisest. See liikumine on tingitud vee erikaalu vähenemisest soojendamisel: soe vesi tõuseb üles, külmem vajub alla. Vee liikumisega kandub aga soojus ühest kohast teise. Seda soojuse levimise viisi nimetatakse soojuse edasikandumiseks



Joonis 98.

ehk konvektsiooniks. Keedunõudes, aurukateldes ja mujal soojenevadki vedelikud just peamiselt soojuse edasikandumise teel.

Samuti nagu vedelikes levib soojus ka gaasides edasikandumise teel. Toa soojenemine ahjust on tingitud soojadest õhuvooludest, mis saavad alguse sooja ahju juurest.

Soojuse edasikandumisele on rajatud näiteks keskkütte-seadmed; samal nähtusel põhjenevad ka tuuled ja merehoovused.

85. Soojuse kiirgamine. Kui hoida kätt päikese või küdeva ahju paistel, soojeneb käsi. Seesugust soojuse levimist nimetatakse kiirgamiseks. Soojuse kiired levivad soojuse allikast igas sihis sirgjooneliselt. Et päikese kiired läbivad ka õhutühja maailmaruumi, seepärast arvatakse, et soojuse levimine kiirgamise kaudu pole seotud aineliste kehadega, nagu see on soojuse juhtivuse ja edasikandumise juures.

Kõik kehad kiirgavad soojust. Väljakiirgav soojushulk oleneb kiirgava keha pinnast: mida tumedam ja koredam on pind, seda suurem on ka kiirgamine. Seepärast värvitakse näiteks küttekehade pind mustaks. Teisest küljest oleneb soojusekiirguse hulk keha temperatuurist: kehast väljakiirgav soojushulk on võrdeline absoluutse temperatuuri neljanda astmega.

Kui soojuse kiired satuvad mõne keha pinnale, peegeldub osa kiiri tagasi, osa kiiri läbistab keha, kuna osa kiiri neelab keha. Läbipaistvad kehad, nagu õhk, klaas jt. lasevad suurema osa soojuse kiiri läbi ega soojene sealjuures. Keha temperatuur tõuseb neist kiirtest, mida keha neelab. Kiirte neeldumine on seda suurem, mida tumedam ja koredam on keha pind. Hele ja poleeritud pind neelab kiiri kõige vähem ja jääb seepärast jahedaks, suvel on heledais riideis jahedam kui tumedais, jäävagunid värvitakse valgeks jne.

86. Soojusallikad. Soojuse allikad jagunevad kahte peärühma: loomulikud ja kunstlikud. Loomulikud soojusallikad on päike ja maakeras endas peituv soojus. Kunst-

likult tekitatakse soojust keemilisel teel, mehaanilise töö ja elektrivoolu abil.

Päike on meie tähtsaim soojusallikas. Arvatakse, et päikese temperatuur on ligikaudu 5500°C . Maakerale jõuab ainult väga väike murdosa kogu sellest soojushulgast, mida päike kiirgab, kuid siiski on see kogu maapealse elu aluseks.

Maakera sisaldab endas suure hulga soojust, mida tõendavad vulkaanid, kuuma vee allikad ja kõrgem temperatuur maakera sisemuses (32 m sügavusega tõuseb temperatuur 1°C võrra). Juba 18 m sügavusel on püsiv temperatuur, mis ei olene temperatuurist maa pinnal. Oletatakse, et maakera sisemus on kõrge temperatuuri tõttu vedelas olekus. Maakera sisemist soojust on väga raske praktiliselt kasutada.

Keemilistel protsessidel vabanev soojus on tähtsaim kunstliku soojuse allikas. Põlemiseks nimetatakse aine ühinemist hapnikuga, kusjuures vabaneb hulk soojust. Põlemissoojuse algallikaks on päike, sest kõik põletised on taime- või loomariigi saadused.

Põletise kütteväärtuseks nimetatakse seda soojahulka (kilokaloreis), mis vabaneb 1 kg kütta-aine täielikul põlemisel. Tabelis nr. 19 on toodud mõnede põletiste kütteväärtused.

Tabel nr. 19.
Põletusainete kütteväärtused.

	kcal/kg		kcal/kg
Vesinik	29000	Piiritus	7000
Atsetüleen	11400	Puit (20% niiskust) .	3400
Bensiin	10500	Põlevkivi (15% niisk.)	3400
Kivisüsi	7500	Turvas (25% niisk.) .	3000

Põlemistemperatuur oleneb küttekolde ehitusviisist ja tõmbest, s. t. koldesse juhitud õhu hulgast.

Elektrivool on teiseks tähtsamaks kunstliku soojuse allikaks. Elektrisoojust kasutatakse mitmesuguseiks otstarbeiks

sellekohastes aparaatides. Elektri hõõglampides soojeneb hõõgniit nii kuumaks, et hakkab valgust kiirgama.

Mehaaniline töö on samuti kunstliku soojuse allikaks: hõõrumisel ja löömisel tekib alati soojus. Näiteks tuletikupea hõõrumisel vastu karpki kuumeneb tikupea üle süttimistemperatuuri; saagimisel soojenevad saeleht ja saetav ese. Ka kõik üksteise vastu hõõrduvad masina osad soojenevad; laagrid võivad isegi hooletul käsitamisel nii kuumaks minna, et põhjustavad tulikahju. Öhu kokkusurumisel tõuseb temperatuur nii kõrgele, et sel viisil süüdatakse diiselmootoris põletusaine jne.

87. Soojuse muundumine tööks. Samuti nagu mehaaniline töö muundub soojuseks, saab ka ümberpöörduvalt soojust muuta mehaaniliseks tööks.

Soojus ei muutu tööks otseselt, vaid selleks on vaja mingit ainet, mis soojenenult püüaks paisuda. Selleks aineks on aurumasinais veeaur ja sisepõlemootoreis nende silindreis põletise põlemisel tekkinud gaasid. Paisumisel peab aga aur või gaas ületama vasturõhu ja sooritab seejuures teatava hulga tööd. Paisumisel tuleb tööks vajalik soojus auru või gaasi soojusisaldavusest. Selle tagajärjel on masinaist väljuva auru või gaaside temperatuur alati palju madalam nende esialgsest temperatuurist.

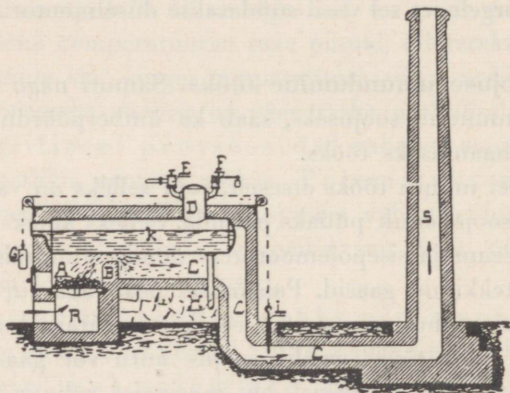
Töö mõõtühikuks on kilogramm-meeter (tähis: kgm). 1 kgm on see tööhulk, mis sooritatakse 1-kilogrammiline jõuga 1 meetri ulatusel (näiteks 1 kg raskuse tõstmiseks 1 meetri kõrgusele). Katsed ja arvutused tõendavad, et soojuse täielikul muundumisel tööks sooritab 1 kcal 427 kgm tööd. Sama vahekord on maksev ka mehaanilise töö muundumisel soojuseks: 1 kcal soojuse tekitamiseks kulub 427 kgm tööd.

Ükski masin ei muuda mehaaniliseks tööks kogu soojust, mida sisaldab aur või gaasid. Tavalises aurumasinas muundub kasulikuks tööks umbes 15% põletusaines peituvast soojusest, paremais sisepõlemootoreis aga kuni 40%.

88. Aurukatel. Kõik aurumasinad vajavad auru tekitamiseks erilist seadet – aurukatelt. Joonisel 99 on kujutatud sissemüüritud aurukatel.

Katlaseade koosneb kolmest osast: 1) katel ühes juurdekuuluva varustusega; 2) küttekolle ja suitsukäigud ja 3) korsten.

Aurukatel ise on raudplekist silindriline anum *K*, mis on suuremalt osalt täidetud veega, kuna väiksem osa on jäetud aururuumiks. Tekkinud aur koguneb aurukogujasse *D*, kust juhitakse ventiili *E* ja aurutoru kaudu ülekuumendajasse ja

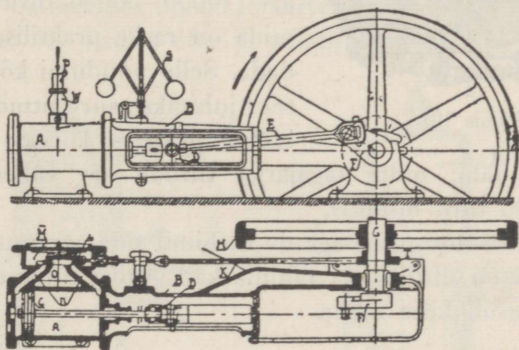


Joonis 99.

sealt masinasse. Veepinna näitamiseks varustatakse katel veeklaasiga (joonis 29). Aururõhu mõõtmiseks on igal katlal manomeeter. Kaitseventiili *F* ülesandeks on osa auru katlast välja lasta, kui auru rõhk tõuseb lubatavast rõhust kõrgemale. Peale selle on iga katel varustatud toitevee toruga *H*, mille kaudu pumbatakse katlasse värsket vett juurde.

Küttekolle koosneb restist *A*, millel põleb põletusaine, tuharuumist *R*, mille kaudu pääseb ka õhk koldesse, ja kolde tagaseinas olevast kitsamast kohast, nn. tulepakust *B*, kus põlemata gaasid segunevad õhuga ja põlevad ära. Koldest lähevad põlemisel tekkinud gaasid suitsukäikude *C* kaudu korstnasse *S*. Korstna jalas asetseb siiber *L*, mida saab vastukaalu *G* abil sulgeda ja avada.

89. Aurumasin. Aurumagina ehitus on näidatud joonisel 100. Aur tuleb katlast toru *P* ja ventiili *W* kaudu siibrikarpi *M*, milles edasi-tagasi liikuv siiber *L* juhib auru kanalite *n* kaudu vaheldumisi silindri *A* ühele ja teisele poole. Silindrisse juhitud aur lükkab kolvi *C* kord ühele, kord teisele poole, olenevalt sellest, missugusest kanalist voolab aur silindrisse. Samal ajal, kui siiber avab ühe kanaleist *n* auru sisselaskmiseks silindrisse, ühendub teisel pool kolbi olev silindri osa siibrialuse ruumiga *o*, mille kaudu töötanud aur voolab silindrist välja. Kolvi sirgjooneline edasi-tagasi liikumine muudetakse



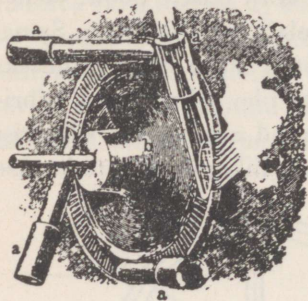
Joonis 100.

ringjooneliseks kolvivarda, ristpea *D*, vântaja *E* ja vända *F* abil. Masina võllile *G* asetatud hoogratta *H* ülesandeks on käigu ühtlustamine.

Siiber saab oma liikumise samalt võllilt *G* – ekstsentriku *T* ja varda *K* kaudu. Joonisel on näha veel tsentrifugaal-regulaator *S* masina tiirude reguleerimiseks koormatuse muutumisel.

Enamik aurumasinaid töötab auru paisumisega, s. t. siiber laseb auru silindrisse ainult kolvikäigu ühe osa vältel. Auru sisselaske lõpetamise järel ei jää kolb seisma, vaid kõrgerõhuline aur lükkab paisudes kolbi edasi. Paisumisega masinad vajavad tunduvalt vähem auru kui sama võimsusega paisumiseta masinad.

90. Auruturbiin. Auruturbiinis kasutatakse voolava auru töövõimet. Turbiini tähtsamaks osaks on tiirlev tööratas *b* (joonis 101), millele on kinnitatud kõverad teraslabidad. Katlast tulev aur juhitakse koonilistesse düüsidesse *a*, kust



Joonis 101.

aur voolab suure kiirusega tööratas labidaile. Vastu kõverat labida pinda põrkav aurujuga tõukab ratta tiirlema.

Joonisel kujutatud turbiini puudumiks on tema liiga suur tiirude arv (10000—30000 tiiru minutis), mida on raske praktiliselt rakendada. Selle puudumi kõrvaldamiseks juhitakse aur mitmest ühisele võllile üksteise kõrvale asetatud

töörattast läbi, mille tagajärjel tiirude arv väheneb kuni 1000—3000 tiiru minutis.

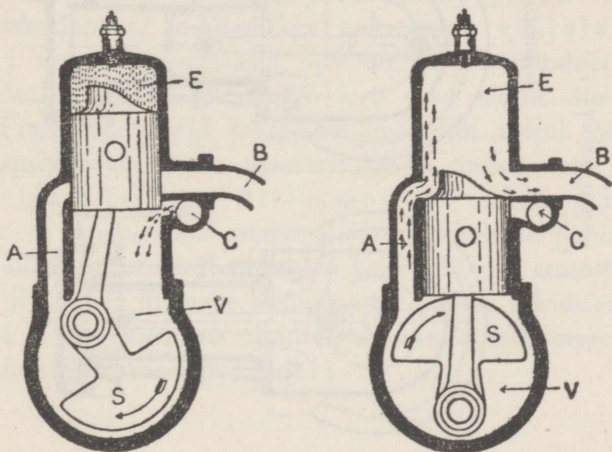
Võrreldes aurumasinaga on turbiinil rida paremusi, millest tähtsamad on ühtlane ja rahulik käik, väike ruumitarvitus ja suurem kasulikkuse tegur.

91. Sisepõlemootorid. Sisepõlemootoreis põletatakse põletusaine mootori silindris, mille tõttu tõuseb silindrisse suletud gaasi temperatuur üle 1000° C. Soojenemisel suureneb gaasi rõhk nii suureks, et tõukab kolbi edasi.

Liiklemisvahendite (auto, lennuk) mootorite põletusaineks on tavaliselt bensiin, kuna paiksetes mootoreis kasutatakse peamiselt naftat, petrooleumi ja tahkeist põletistest valmistatud põletusgaasi. Põletise süütamine toimub peamiselt kahel erineval viisil. Esimese viisi juures süüdatakse õhuga segatud põletis (bensiin või petrooleum) elektrisädemega, kusjuures põlemine toimub plahvatusetaoliselt. Teise viisi juures surutakse õhk mootori silindris tugevasti kokku, mille tagajärjel tõuseb õhu temperatuur mitmesaja kraadini. Parajal momendil pritsitakse sellesse kuuma õhku peenike juga põletusainet, mis

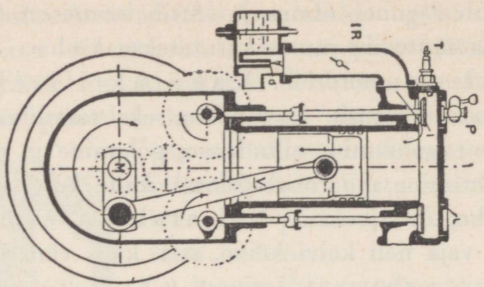
aurustub, seguneb õhuga ja süttib iseenesest (diiselmootorid). Mõlema süüteviisi juures kasutatakse kahe- kui ka neljataktilisi mootoreid. Kahetaktiliseks nimetatakse seesugust mootorit, kus põlemiseks tarviliku õhu imemine, põletise toimetamine silindrisse, põlemine ja põlenud gaaside väljajuhtimine mootorist toimub kahe kolvi käigu, s. t. vääntvõlli ühe tiiru jooksul. Neljataktilises mootoris on aga selleks vaja neli kolvi käiku, s. t. kaks vääntvõlli tiiru.

Joonisel 102 on kujutatud kahetaktilise mootori tööviisi. Kolvi liikumisel üles hõreneb õhk kolvialuses ruumis, nn. karteris *V* ja seetõttu imetakse karterisse läbi avause *C* gaasistaja (joonis 75) kaudu õhu ja põletise segu. Kolvi liikumisel

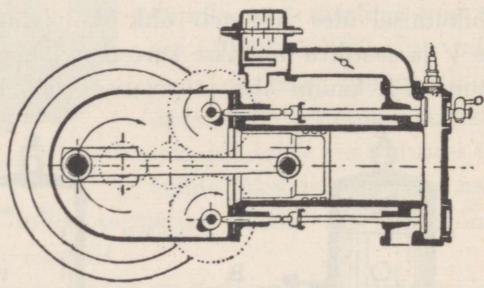


Joonis 102.

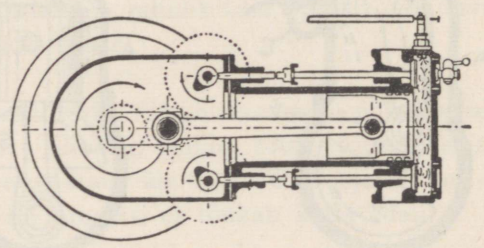
alla lõpeb imemine ning imetud segu surutakse karteris kokku. Vähe enne kolvi jõudmist alumisse asendisse surutakse segu karterist kanali *A* kaudu silindrisse *E*. Kolvi liikumisel üles surutakse põletise segu silindris veelgi kokku ning ühtlasi algab karterisse uus imemine. Kolvi jõudmisel ülemisse asendisse tekitatakse silindri kaane sisse asetatud nn. süüteküünlas elektrisäde, mis süütab silindris kokkusurutud segu, ja põle-



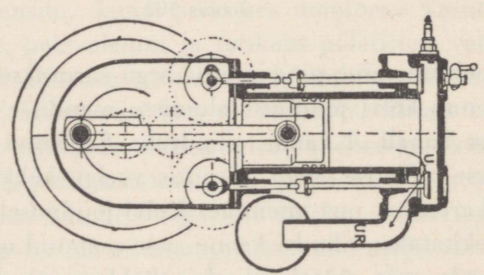
Imemistakt



Surumistakt



Töötakt



Väljalasketakt

Joonis 103.

mise soojusest tekitatud gaaside rõhk surub kolbi alla. Kolvi allaliikumiseega surutakse küttesegu karteris uuesti kokku, kust segu voolab silindrisse, tõrjudes sealt põlenud gaasid toru B kaudu välja.

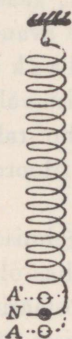
Neljataktilise mootori tööviis selgub jooniselt 103. Imemistaktil liigub kolb ülevalt alla, kusjuures silindris tekitatud hõrenduse mõjul avaneb sisselaskeklapp I ja silindrisse imetakse toru IR kaudu läbi gaasistaja õhu ja põletise segu. Kolvi jõudmisel alumisse asendisse algab surumistakt: kolvi liikumisel üles surutakse silindrisse imetud põletissegukokku. Kui kolb on jõudnud ülemisse asendisse, süütab küünlas T tekitatud elektrisäde segu põlema ja algab töötakt, gaasid suruvad kolbi alla. Kolvi jõudmisel alumisse asendisse avaneb väljalaskeklapp U ja ülesliikuv kolb surub väljalaskeakti ajal põlenud gaasid toru UR kaudu silindrist välja.

Eelnevast selgub, et mootor teeb tööd ainult ühe takti ajal. Ulejäänud taktid teostuvad hoogratla mõjul. Mootori käivitamiseks keeratakse mootorit käsitsi ringi.

Neljataktiline diiselmootor erineb eelmisest sellega, et imemistaktil voolab mootori silindrisse puhas õhk, mis kokkusurumistaktil surutakse kokku 30–40 atmosfäärini. Kolvi jõudmisel ülemisse asendisse pritsitakse silindrisse läbi pihusti põletusainet, mis silindris valitseva kõrge temperatuuri tõttu kohe süttib.

Hääl.

92. Võnkliikumine. Joonisel 104 kujutatud vedru alumine ots asub rahulikus olekus punktis N . Kui tõmmata vedru alumine ots asukohta A ja lasta lahti, siis tõuseb vedru ots punkti A^1 , vajub uuesti alla, tõuseb üles ja liigub nii korduvalt, kuni lõpuks vedru ots jääb püsima endisse asukohta. Seesugust liikumist nimetatakse võnkliikumiseks.



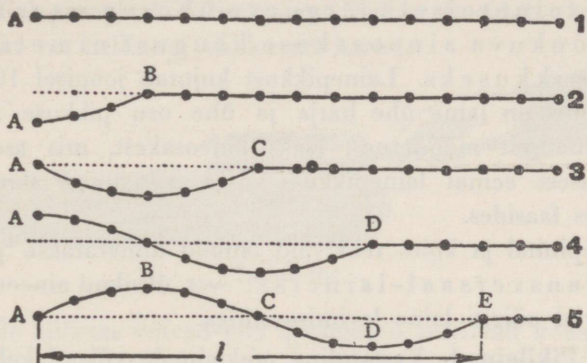
Joonis 104.

Vedru osakeste liikumist ühest äärmisest seisangust teise ja tagasi nimetatakse täisvõnguks. Ajaväldet, mida vajab iga osake ühe täisvõnke tegemiseks, nimetatakse võnkevältuseks ehk -perioodiks. Uhes sekundis tehtud täisvõngete arvu nimetatakse võnkearvuks ehk -sageduseks. Kui näiteks võnkevältus on 0,2 sekundit, siis on võnkesagedus 5, sest 1 sekundi vältel teeb võnkuv keha 5 täisvõnget. Kaugust, mille võrra iga võnkuv osake liigub algseisangust ühele ja teisele poole, nimetatakse võnkumise ulatuseks ehk amplituudiks.

93. Lainetav liikumine. Põiklained. Kui visata kivi vette, mille pind on täiesti tasane, levivad kivi vettekukkumise kohalt ringikujulised lained, mis edasi liikudes panevad kogu vedeliku pinna lainetama. Näib, nagu liiguksid vee osakesed kivi kukkumise kohalt eemale. Tõeliselt ei liigu vee osakesed edasi, vaid võnguvad ühel kohal üles ja alla, mida tõendavad vee pinnale asetatud väikesed puutükikesed.

Laineline liikumine esineb ka tahkeis kehis. Kui liigutada mahaasetatud kõie üht otsa, tekib kõies lainetav liikumine: kõie üksikud osad liiguvad ühele ja teisele poole, kusjuures laine ise liigub piki kōit edasi.

Lainete tekkimist selgitab joonis 105, kus punktid esimeses reas kujutavad vee või kõie osakesi rahulikus olekus. Kui aineosake *A* liigub mõnesuguse välise jõu mõjul alla, siis tõm-



Joonis 105.

bab see osake ka naabruses oleva aineosakese kaasa, mis teatava hiline misega järgneb esimese osakese liikumisele. Teise osakese liikumisele järgneb teatava hiline misega kolmas osake jne. Kui osake *A* on jõudnud kõige madalamasse asendisse (rida 2), alustab liikumist allapoole osake *B*. Kui osake *A* on jõudnud tagasi algseisangusse (rida 3) alustab liikumist osake *C*, osakese *A* esialgses liikumise suunas, s. t. ülalt alla. Kui osake *A* on jõudnud kõige kõrgemasse asendisse (rida 4), alustab allaliikumist osake *D*. Osakese *A* teiskordsel jõudmisel algseisangusse (rida 5) alustab liikumist osake *E*. Osakese *A* paigalejäämisel võnguvad teised osakesed senikaua edasi, kuni kõik osakesed on teinud ühe täisvõnke; võngub aga osake *A* edasi, teevad ka teised osakesed niisama palju võnkeid kaasa.

Jooniselt nähtub, et ajavältel, mil osake *A* teeb ühe täisvõnke, on võnkumine jõudnud osakeseni *E*, kusjuures mõned aineosakesed asuvad kõrgemal, teised aga madalamal oma

esialgsest seisangust. Võnkuvad osakesed *ABCDE* moodustavad laine ja seesugust võnkumist nimetatakse laineliiks liikumiseks. Laine osa *ABC* nimetatakse laine harjaks, osa *CDE* – laine oruks.

Lainetamisel leidub alati aineosakesi, mis üheaegselt samas suunas võnkuma hakkavad; sel puhul öeldakse, et need aineosakesed võnguvad ühesugustes võnkumise faasides. Kahe teineteisele järgneva ühesugustes faasides võnkuva aineosakese kaugust nimetatakse lainepikkuseks. Lainepikkust kujutab joonisel 105 pikkus *l*, mis on laine ühe harja ja ühe oru pikkuse summa (sirgjooneliselt mõõdetud). Kaks aineosakest, mis asetsevad teineteisest eemal lainepikkuse võrra, võnguvad alati ühesugustes faasides.

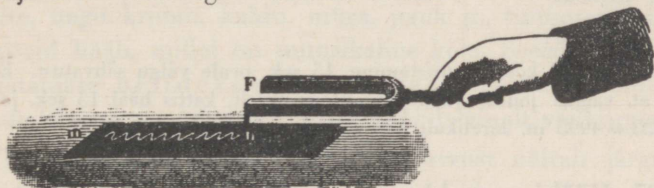
Veepinnal ja köies tekkivaid laineid nimetatakse põik- ehk transversaal-laineiks, sest üksikud aineosakesed võnguvad põigiti laine levimise sihiga.

94. Pikilained. Vastandina põiklaineile võivad keha osakesed võnkuda ka laine levimise sihis. Seesuguseid laineid nimetatakse piki- ehk longitudinaallaineiks.

Pikilainete tekkimist saab näidata jämedas kummipaelas. Selleks torgatakse kummipaela sisse rida nõelu ühesuguse vahekaugusega. Kummipaela üks ots kinnitatakse seina külge, kuna teine ots võetakse kätte. Kui pinguli olevat kummipaela järsu tõmbega välja venitada, suureneb käe juures nõeltevaheline kaugus ning see hõrendus liigub piki paela kuni seinani. Kui kummipaela ots järsku tagasi lasta, väheneb nõeltevaheline kaugus ning nüüd liigub tihendus piki paela uuesti seinani. Kui kummipaela ühtlaselt venitada ja järele lasta, liigub piki kummipaela vaheldumisi tihendus ja hõrendus, mis moodustabki pikilainetuse. Pikilaine lainepikkuseks nimetatakse kahe teineteisele järgneva hõrenduse või tihenduse kaugust, kui need liiguvad ühes suunas.

Tahkeis kehis võivad tekkida nii põik- kui ka pikilained; vedelikes ja gaasides esinevad aga peamiselt pikilained.

95. Hääle tekkimine. Kui panna mingi keha mõnesugusel viisil võnkuma, tekivad õhus pikilained, mis levivad kera-
kujuliselt. Kui õhulained satuvad kõrva, kuuleme häält. Et
hääle tekitajaks on võnkuv keha, seda selgitab järgmine katse.
Helihargi ühe haru külge kinnitatakse terav nõel ja lüüakse
helihark helisema. Kui nüüd vedada helihargi külge kinni-
tatud nõela aeglaselt piki tahmaga määratud pinda (joon. 106),
jätab nõel pinnale lainelise joone. Sellest järeldub, et hääle
tekitajaks on helihargi võnkuvad harud.



Joonis 106.

Hääle allikaks võivad olla igasugused vetruvad kehad, mis
ühel või teisel viisil pannakse võnkuma, nagu pingulitõmma-
tud traadid või niidid – näit. viuli keeled; membraanid (pin-
gulitõmmatud ja servadest kinnitatud kiled) – näit. trummi
nahk; tasased ja kumerad plaadid – näit. kirikukell jne.

96. Hääle levimine. Kui paigutada elektrikell õhupumba
kupli alla ja pumbata sealt õhk välja, nõrgeneb kella helin,
kuni viimaks teatava hõrenduse juures kaob hoopis. Siit järeldub,
et õhutühjas ruumis hääle edasi ei kandu. Hääle levib
ainult vetruvais kehis, milles on võimalik lainetamine, s. t.
aineosakeste võnkumine. Peale õhu juhivad häält mitmesu-
gused teised ained. Kui näiteks suruda kõrva vastu raudtee-
rööbast, võib kuulda rongi lähenemist palju kaugema vahemaa
juures, kui see õhu kaudu meie kõrva kostab; pika pingi
otsale asetatud taskukella tiksumist kuuleme surudes kõrva
vastu pinki, kuid läbi õhu ei kuule. Neist katseist järeldub,
et mitmed tahked ained juhivad häält paremini kui õhk. Ka
vedelikud juhivad häält hästi. Nii näiteks kuulevad tuukrid

vee alla veepinnal räägitud sõnu. Mittevetruvad ained, nagu riie, vilt jt., juhivad häält halvasti.

Vaadeldes kaugemalt vedurit vileandmisel, näeme esmalt väikest aurupilve ja alles pisut hiljem kostab vile. Sellest järgneb, et valgus levib häälest kiiremini. Täpsed mõõtmised näitavad, et hääle levimise kiirus õhus on 333 meetrit sekundis (lüh. m/sek.); hääle kiirus vees on hulga suurem, nimelt 1430 m/sek. Metallide kaudu levib hääl veelgi kiiremini: üle 5000 m/sek.

Näide:

Aikese ajal kostis müristamine 15 sek. peale välgu sähvatust. Eeldades, et valgus jõudis vaatlejani silmapilkselt, kattis hääl 15 sek. jooksul $15 \cdot 333 = 4995$ m. Järelikult pikne löi ligi 5 km kaugusel.

97. Hääle peegeldumine. Kaja. Kui hoida tiksuv taskukell teistest esemetest eemal ja kõrvast nii kaugel, et tiksumine vaevalt kostab, ning asetada siis kella taha sile papi-tükk, kõveneb kella tiksumine. Selle nähtuse põhjuseks on hääle peegeldumine, mis avaldub selles, et siledale pinnale langevad häälelained põrkavad sealt tagasi, samuti nagu põrkab tagasi seinale visatud kummipall.

Kui peegeldav pind asub hääleallikale üsna ligidal (kuni 5 m), siis kostavad hääl ja peegeldatud hääl üheaegselt, sest kõrv tajub kaht häälelainet erihäältena ainult siis, kui nende vahet on vähemalt 0,1 sekundit. Seetõttu kuulduv väikeses siledade seintega toas hääl kõvemini kui vabas õhus. Suuremates saalides, kus peegeldav sein on hääleallikast kaugemal (kuni 20 m), jõuab kõnelemisel peegeldatud hääl enne sõna lõppu kuulaja juurde, mis venitab sõna pikemaks või muu-nutab kõne segaseks. Seesugust nähtust nimetatakse järelikõlaks. Peegeldavate pindade suurematel kaugustel (üle 20 m) lõpeb sõna hääldamine enne peegeldatud hääle tagasijõudmist ja terve sõna kordub kajana. Et pehmed, mittevetruvad ained ei peegelda, vaid neelavad häält, siis saab järelikõla ja kaja kõrvaldada seinte katmisega riietega.

Hääle peegeldumist kasutatakse praktiliselt hääle kuuldavakstegemiseks kaugemale vahemaale. Selleks räägitakse kõnetorru (ruuporisse), kusjuures kõnetoru seintele langevad häälelained peegelduvad ja väljuvad sealt ühes suunas. Sama kõnetoru kasutatakse ka kuuldetoruna, kusjuures kõik toru avausesse sattunud häälelained peegelduvad toru seintelt ja satuvad tugevamaks muutunult kõrva.

98. Toonid. Tooni kõrgus ja tugevus. Peale juhuslikkude häälte, nagu krõbin, kahin, müra, pauk jt., tunneme mitmesuguseid hääli, millel on muusikaline kõla. Seesuguseid hääli nimetatakse helideks ehk toonideks. Toone iseloomustab nende kõrgus, s. t. toon võib kõlada madalamalt või kõrgemalt.

Tooni kõrguse olenevust võngete arvust näitab järgmine katse. Kui kinnitada terasleht kruustangide vahele ja painutada lahtist otsa, siis hakkab terasleht otsa lahtilaskmise järel võnkuma. Katseist nähtub, et võngete arv on seda suurem, mida lühem on kruustangide vahelt väljaulatuv teraslehe ots. Võnkudes tekitab terasleht ühtlasi ka häält, kusjuures toon on seda kõrgem, mida lühem on teraslehe vaba ots. Kuna teraslehe vaba otsa lühenemisega suureneb selle võngete arv, seega on toon seda kõrgem, mida rohkem võnkeid ühes ajaühikus teeb terasleht.

Täpsed mõõtmised tõendavad, et inimese kõrvale on häälena kuuldavad ainult need õhulained, mille võngete arv sekundis on suurem kui 10 ja vähem kui 20 000. Muusikas kasutatavate helide võngete arv on 16 – 5000. Klaveri keskmise a-tooni võngete arv sekundis on 435.

Ühe ja sama helihargiga saab tekitada mitmesuguse tugevusega helisid, lüües heliharki kord tugevamalt, kord nõrgemalt helisema. Kui korrata joonisel 106 näidatud katset mitmesuguse helitugevuse juures, selgub, et tugevama heli korral on helihargi harude võnkumise ulatus ehk amplituud suurem. Seega on heli tugevus võnkumise amplituudist.

Vaatleja kaugenemisel heliallikast väheneb heli tugevus, sest helilained levivad kerakujuliselt, kusjuures kauguse suurenemisel peavad eelmised õhuosakesed võnkuma panema suuremat õhuhulka. Ühes sellega väheneb kaugenemisega võnkumise ulatus. Kui aga helilaineid tekitada pikas torus, tõukab iga võnkuv õhuosake võnkuma niisama suurt õhuhulka, nii et võnkumise amplituud ja helitugevus seejuures ei muutu. Seda nähtust kasutatakse praktiliselt näiteks laevadel kõnelemiseks juhuruumi ja masinaruumi vahel.

99. Resonants. Paljud kehad, nagu õhukesed membraanid, võnguvad kaasa igasuguse õhuvõnkumisega, olenemata selle võnkesagedusest. Seesugust võnkumist nimetatakse *sundvõnkumiseks*. Sundvõnkumine lõpeb, kui lõpeb see võnkumine, mis sundvõnkumise esile kutsus.

Kui aga avatud klaveri lähedal laulame kõva häälega mõne tooni, siis kõlab see toon peale hääle katkestamist klaverist edasi: õhu võnkumise mõjul hakkas ainult mõni klaverikeel tooni laulmise ajal kaasa võnkuma, mis jätkus omandatud hooga ka hääle vaikimisel. Samuti paneb helisev helihark helisema samas toonis ka teise täpselt niisamasuguse läheduses asuva helihargi. Kirjeldatud nähtused on võimalikud ainult seetõttu, et klaverikeele ja teise helihargi omavõngete kestused on võrdsed õhu võnkumise kestusega. Seda nähtust nimetatakse *resonantsiks*.



Joonis 107.

Resonantsi mõjul ei hakka kaasa võnkuma mitte ükski tahked kehad, vaid ka õhk, mis suurendab algheli tugevust. Kui panna helisev helihark tühja silindrilise anuma suudme kohale (joonis 107) ja kallata anumasse vett, siis teataval õhusamba kõrgusel suureneb helihargi tooni tugevus. Vee edaspidisel juurdekallamisel väheneb tooni tugevus uuesti. Korrates sama katset mõne teise helihargiga, leiame, et heli tugevus suureneb

nüüd teissugusel õhusamba kõrgusel. Ka siin on tegemist resonantsiga: teatava kõrgusega õhusammas hakkab kaasa võnkuma helihargi võnkumisega ja suurendab seega heli tugevust. Õhusamba resonants esineb iga tooni juures teataval õhusamba kõrgusel, sest ainult siis ühtivad õhusamba ja helihargi võnkeajad ja õhusammas hakkab kaasa helisema.

100. Muusikariistad. Keelpillides tekitatakse heli pinguletõmmatud terastraadist või loomade sooltest tehtud keelte abil. Keeled pannakse võnkuma neile löömisega (klaver), hõõrumisega (viul) või näppudega puudutamisega (kannel, kitarr, mandoliin). Et hääle tugevust suurendada, selleks asetatakse keeled õhukestele puulauakestele või erilistele kõlakastidele, mille läbi võnkuv pind suureneb.

Keele võnkearv ja seega tooni kõrgus on seda suurem, mida tugevamini keel on pingutatud ja mida lühem ning peenem ta on. Mõnedel keelpillidel, nagu kannel ja klaver, on hulk keeli, millest igaüks tekitab ainult ühe tooni. Teistel keelpillidel (viul, mandoliin) on keelte arv väiksem, harilikult neli; toonide arvu suurendatakse seega, et keele pikkust lühendatakse, vajutades keele vastaval kohal vastu keelte alust.

Puhkpillides ehk viledes tekitab heli kõlatorru puhutav õhk, mis paneb torus oleva õhusamba võnkuma; sealjuures ei tarvitse kõlatoru seinad kaasa võnkuda. Heli toon on seda madalam, mida pikem on toru. Tooni kõrgust muudetakse mitmel viisil:

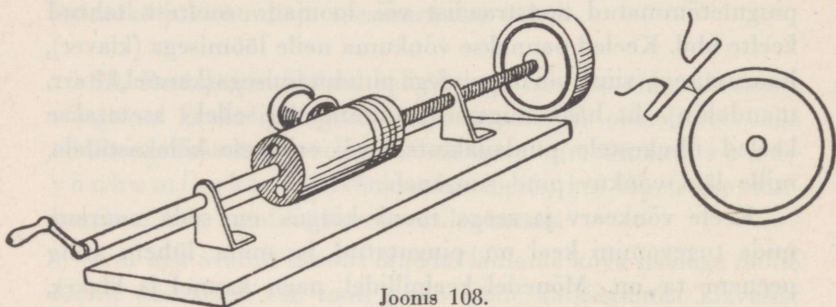
a) muudetakse toru pikkust, tõmmates välja või lükates koomale üksikuid toru osi (tromboon);

b) kaetakse või avatakse toru külgliseina tehtud avaused, kusjuures augu kohal katkeb õhusamba võnkumine, mis mõjub samuti, nagu ulatuks toru ainult auguni (flööt);

c) muudetakse toru pikkust sel teel, et juhitakse ventiilide abil õhujuga pikemaise või lühemaise toru harudesse (trompet, kornet).

Trummis ja kellas tekib heli nende vastu löömisel, mis paneb pinguletõmmatud trummi naha või kella seinad võnkuma, mis omakorda tekitavad õhulainetuse. Samal põhimõttel tekib heli ka ksülofonis.

101. Fonograaf ja grammofon. Fonograaf on abinõu, millega saab hääli üles kirjutada ja hiljem soovi korral uuesti kuuldavaks teha. Fonograafi (joonis 108) tähtsamaks osaks on



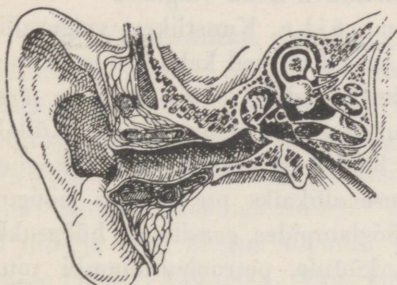
Joonis 108.

õhuke vetruv membraan, mille keskele on kinnitatud terav nõel. Nõel puutub vastu pöörlevat ja ühtlasi ka telje sihis edasiliikuvat pehmest ainekse silindrit. Silindri tiirlemisel jätab nõel silindri pinnale kruvijoone-kujulise soonekese. Kui membraanile satuvad häälelained, hakkab membraan võnkuma, kusjuures soonekese sügavus muutub vastavalt membraani võnkumistele. Silindrile üleskirjutatud häält saab kuuldavaks teha sel teel, kui asetada nõela ots silindri pinna soonekese sisse ja pöörata silindrit endises suunas. Nüüd võngub nõel soonekonarustes ja paneb membraani võnkuma täpselt samuti, nagu võnkus membraan häälelainete mõjul.

Grammofoniks nimetatakse riista, millega tehakse kuuldavaks üleskirjutatud hääli sellekohaselt plaadilt. Tavaliselt pole hääli üles kirjutatud vahasilindrile, vaid ümmargusele vaikaineist heliplaadile, millel on spiraalikujuline soon, algselt plaadi välisel serval. Heliplaadi soone sügavus on tavaliselt ühtlane, kuna nõel võngub soonekeses põigiti.

102. Inimese hääle- ja kuulmisorganid. Inimese hääleorgan koosneb häälekõris asetsevast kahest vetruvast lihasest, nn. häälepaelttest. Häälepaelte lõdvas olekus pääseb neist õhk vabalt läbi. Kõnelemisel tõmbuvad häälepaelad pingule ja kopsudest tulev õhk, läbistades häälepaelte vahele jäänud kitsast pilu, paneb häälepaelad võnkuma. Häälepaelte võnkumine paneb võnkuma hingekõris ja suus oleva õhu, mis tekitabki hääle. Hääle kõrgus oleneb häälepaelte ehitusest ja pingutusest. Hääle kõla saab muuta keele, hammaste ja huulte kuju abil.

Inimese kuulmisorganiks on kõrv (joonis 109). Kõrv koosneb kolmest osast: välis-, kes- ja sisekõrvast. Väliskõrva moodustab kõrvaleht, kuulmekäik ja selle lõpul olev kuulmenahk, mis eraldab väliskõrva keskkõrvast. Keskkõrv on ühendatud torukese kaudu kurguga. Keskkõrvas asetseb vastu kuulmenahka toetuv vasar, sellega ühenduses olev alasi ja viimasega ühenduses olev alus, mis toetub



Joonis 109.

vastu sisekõrva viivat akent. Sisekõrv on keerulise ehitusega, milles leiduvad õõneskäigud on täidetud kuulmevedelikuga. Kuulmisergud ulatuvad sisekõrva.

Kuulmisel tungivad häälelained väliskõrva ja panevad kuulmenaha võnkuma. Kuulmenaha võnkumine kandub vasara, alasi ja aluse kaudu sisekõrva aknale, kust võnkumine kandub edasi kuulmevedelikule. Kuulmevedeliku võnkumine ärritab närve, mis tekitavad peaaegu hääleaitingu.

Valgus.

103. Valgusallikad. Valgusallikaiks ehk isehelenduvaks kehiks nimetatakse seesuguseid kehi, mis iseenesest valgust annavad. Enamik kehi on tumedad, s. t. nad on nähtavad ainult mõne isehelenduva keha valgusel.

Loomulik valgusallikas on päike. Kunstlikest valgusallikaist on tähtsamad mitmesugused tahked kehad, mis temperatuuri tõstmisel hõõguma hakkavad. Hõõgvalguse järgi võib näiteks määrata kuumutatud raua temperatuuri. Küllalt kõrge temperatuuri juures hakkavad tahked kehad koguni heledalt kiirgama. Hõõgvalguse allikaiks on näiteks hõõguv süsi- või metallniit elektri-hõõglampides, gaasilambi hõõgsukk, hõõguvad süsiniku osakesed küünla, petrooleumilambi ning puidutule leegis jne.

Peale kuumade valgusallikate tuntakse ka külmi valgusallikaid, nagu mitmesugused iseenesest hiilgavad putukad. Seesuguseid külmi valgusallikaid nimetatakse üldiselt luministseeruvaks kehiks. Kunstlikult tekitatakse luministsentsvalgust hõrendatud gaasidega täidetud torudes, mis hakkavad helenduma elektrivoolu toimel.

104. Valguse levimine. Kui vaadelda tolmusesse või suitsusesse ruumi sattuvaid päikesekiiri, selgub, et valgus levib sirgjooneliselt. Neid sirgjooni, mida mööda valgus levib, nimetatakse valguskiirteks. Kõik helendavad ja valgustatud kehad saadavad välja valguskiiri, mis teevadki keha nähtavaks.

Osa kehi laseb valgust läbi. Läbipaistvad kehad on klaas, vesi, õhk jne. Läbipaistmatud kehad, nagu puit,

kivi, metallid jt., valgust läbi ei lase. Kuid kindlat vahet läbipaistvate ja läbipaistmatute kehade vahel teha ei saa, sest väga õhukeses kihis on iga aine enam-vähem läbipaistev. Läbipaistmatu keha taha jääb pimedam koht, mida nimetatakse varjuks.

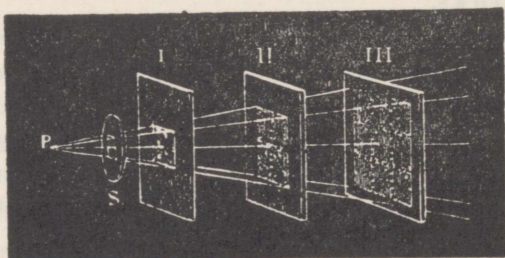
Kui ühel ja samal ajal esinevad üheskoos valguse ja hääle nähtused, näiteks püssipauk ja suits, siis näeme valgust enne ja alles hiljem kuuleme pauku. See on võimalik ainult selle tõttu, et valguse levimiskiirus on tunduvalt suurem hääle levimiskiirusest. Täpsed mõõtmised näitavad, et valgus levib peagu silmapilkselt, sest tema levimiskiirus on 300 000 kilomeetrit sekundis.

105. Valgusallika valgustugevus. Igapäevaseist tähelepanekuist teame, et üks valgusallikas saadab välja rohkem valgust kui teine, s. t. valgusallikate valgustugevused võivad olla erinevad. Valgusallika valgustugevuse mõõtühikuks on valitud see valgustugevus, mida saadab välja horisontaalsihis amüülatsetaadiga toidetav lamp, mille tahi läbimõõt on 8 mm ja leegi kõrgus 40 mm. Seda valgustugevust nimetatakse Hefneri küünlaks (tähis: HK). Teatava kujutluse valgusallikate valgustugevusest annavad järgmised arvud: 2 cm läbimõõduga parafiinküünla valgustugevus on umbes 0,8 HK; harilikkude petrooleumilampide valgustugevus on 15–20 HK; tavaliste hõõglampide valgustugevus on 16–100 HK.

106. Pinna valgustustugevus. Valgusallika ümber olevate esemete valgustus on väga mitmesugune. Pinna valgustustugevus oleneb sellest valgushulgast, mis langeb antud pinnale. Pinna valgustustugevuse mõõtühikuks on luks (tähis: Lx). 1 Lx on see pinna valgustustugevus, mille annab valgusallikas valgustugevusega 1 HK pinnale, mis on 1 m kaugusel valgusallikast ja on asetatud risti valguskiirtele.

Pinna valgustustugevus oleneb valgusallika valgustugevusest ja valgustatava pinna kaugusest valgusallikast. Joon. 110

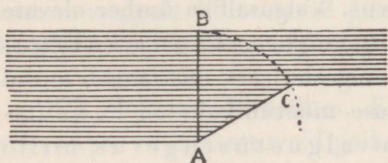
kujutab punkt P valgusallikat, millest väljuvad valguskiired läbivad kattes S oleva ruudukujulise väljalõike ja langevad ekraanide I, II ja III. Olgu need ekraanid 1, 2 ja 3 m kaugusel valgusallikast. Jooniselt selgub, et kõigile ekraanidele



Joonis 110.

langev valgushulk on ühesuurune, kuid valgustatud pind II ekraanil on neli korda suurem ja III ekraanil üheksa korda suurem kui I ekraanil. Järelikult on II ekraani pinnavalgustus neli korda ja III ekraani pinnavalgustus üheksa korda väiksem kui I ekraanil. Tähele pannes, et II ekraan on 2 korda ja III ekraan 3 korda kaugemal valgusallikast kui I ekraan, selgub, et pinna valgustustugevus on pöördvõrdeline kauguse ruuduga.

Eelöeldu on maksev ainult siis, kui valguskiired langevad risti valgustatavale pinnale. Joonisel 111 kujutatud valguskiired moodustavad paralleelse kiirtekimbu. Kõik valguskiired

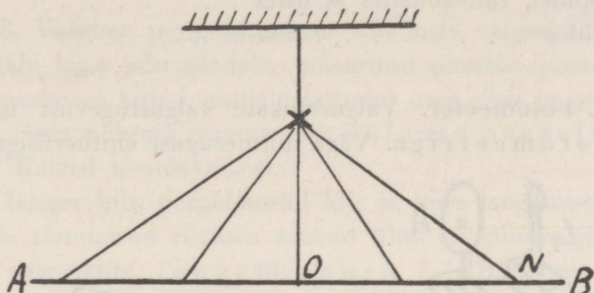


Joonis 111.

langevad pinnale AB , kui pind on asetatud risti kiirte sihile. Kui aga keerata antud pinna asendisse AC , langeb samale pinnale vähem valguskiiri ja seetõttu väheneb pinna valgustustugevus. Siit

järgneb, et pinna valgustustugevus on seda väiksem, mida väiksema nurga all langevad valguskiired valgustatavale pinnale.

Joonisel 112 näidatud pinna AB valgustusviisi juures on valgustustugevus kõige suurem punktis O . Kui eemalduda pinnal AB lambi kohalt, väheneb valgustustugevus kahel põhjusel: punkti N kaugus lambist suureneb ja teiseks – valguskiired langevad siis pinnale teatava nurga all.



Joonis 112.

Lugemiseks ja kirjutamiseks vajalik pinnavalgustustugevus peab olema vähemalt 10 Lx, kuid soovitatav on 40–50 Lx. Päikese paistel on pinnavalgustus väga hea, ja nimelt umbes 15000 Lx. Vajalikud minimaalsed valgustustugevused mitmesugustel töödel on antud tabelis nr. 20. Pinna valgustustugevust mõõdetakse luksmeetriga, milledest käsituselt lihtsamad on rajatud elektrilistele nähtustele.

Tabel nr. 20.

Töökoha minimaalne valgustustugevus.

1. Väga peentel ja täpsetel töödel, mis seotud väiksemate osade eraldamisega (kellasepa-, graveerimise-, trükiladumise-, õmblemise-, joonestamise- jt. tööd)	
tumedal tööpinnal . . .	60 Lx
heledal tööpinnal . . .	40 Lx
2. Peen- ja täpsustöödel (peenmehaanika-, tumeda lõnga kudumise, büroo- jt. tööd)	
tumedal tööpinnal . . .	40 Lx
heledal tööpinnal . . .	30 Lx

3. Töödel, kus ei tule eraldada pisiosi (lukusepa-,
tisleri-, heleda lõnga kudumise jt. tööd)

tumedal tööpinnal . . . 20 Lx

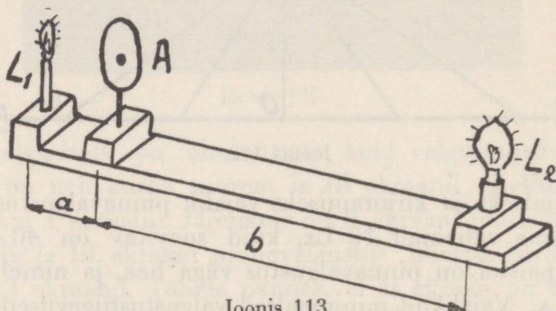
heledal tööpinnal . . . 15 Lx

4. Masinate ohtlikkude osade ligipääsukohtadel . . . 50 Lx

5. Treppidel, vahelkodades ja ustel 8 Lx

6. Ladudes 5 Lx

107. Fotomeeter. Valgusallikate valgustugevust mõõdetakse fotomeetriga. Väga mitmesuguse ehitusviisiga foto-



Joonis 113.

meetreist on tähtsaim Bunseni fotomeeter, mida kujutab joonis 113. See koosneb nihutatavast valgest paberilehest A, mille keskele on tehtud ümbritsevast pinnast läbipaistvam

õliplekk. Kui seda paberilehte valgustada tagant, siis paistab õliplekk eest vaadatuna heledam (joonis 114 – paremal), sest õline koht laseb valguskiiri paremini läbi. Kui aga vaadata paberile



Joonis 114.

lehele valgusallika poolt, paistab õliplekk tumedamana (joonis 114 – vasemal).

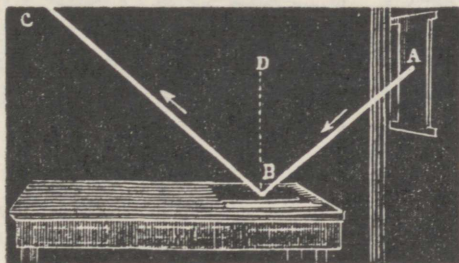
Kahe valgusallika valgustugevuse võrdlemisel asetatakse paberileht A mõlema valgusallika L_1 ja L_2 vahele ja nihutatakse paberilehte seni, kuni õliplekk mõlemalt poolt vaadatuna ära kaob (joonis 114 – keskel). Sel puhul on valgustugevus paberilehe mõlemal poolel ühesugune. Nüüd mõõde-

takse paberilehe kaugused a ja b mõlemast valgusallikast. Olgu näiteks lambi L_2 kaugus paberilehest 5 korda suurem kui lambi L_1 kaugus, siis on lambi L_2 valgustugevus $5 \cdot 5 = 25$ korda suurem lambi L_1 valgustugevusest, sest pinna valgustugevus väheneb võrdeliselt valgusallika kauguse ruuduga.

108. Valguse peegeldumine. Kui lasta valguskiirtel langeda läbi kitsa pilu siledale, poleeritud pinnale (joonis 115), siis muudavad kiired pinnale sattudes oma sihti ja põrkavad tagasi. Seda nähtust nimetatakse valguse peegeldumiseks. Katsed tõendavad, et

a) langev kiir, peegeldunud kiir ja kiire langemispunkti peeglile tõmmatud ristjoon asuvad ühes tasapinnas ja

b) valguskiire langemisnurk ($\angle ABD$) on võrdne peegeldumisnurgaga ($\angle DBC$).



Joonis 115.

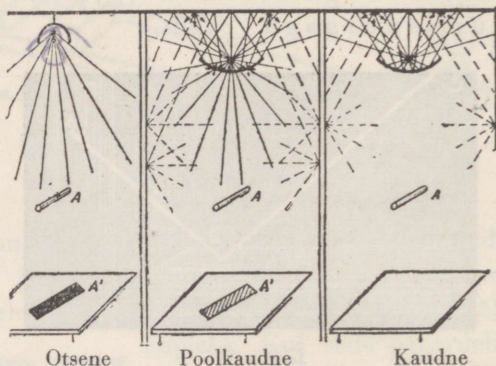
Sileda pinnaga kehi, mis valgust tagasi heidavad, nimetatakse peegleiks; tasapinnaga peegleid nimetatakse tasapeegleiks, kõverpinnaga peegleid – kõverpeegleiks. Kõige paremad peeglid on hõbetatud klaas ja hästi poleeritud metallid.

Peagu kõik kehad peegeldavad valgust; peegeldumine oleneb keha ainst ja värvist ning pinna siledusest. Valgust peegeldav pind ei saada kõiki temale langevaid valguskiiri tagasi, vaid keha neelab ehk absorbeerib alati teatava osa valguskiiri. Tagasipeegelduva valguse hulk oleneb keha

värvist: valge paber peegeldab tagasi 70% temale sattunud valguskiirtest, hall paber – $20 \div 40\%$, must samet aga ainult 0,4%.

Enamiku kehade pind on kare. Ka kare pind peegeldab valgust, sest seda pinda võib vaadelda kui üksikutest väikesetest korrapäratult ja kallakuti asetsevatest siledatest pinnaosakestest koosnevat pinda. Et need pinnaosakesed asetuvad eri sihtides, siis peegeldub ka neile langev valgus eri sihtides tagasi. Seda nähtust nimetatakse valguse hajumiseks. Hajunud valgus teebki tumedad kehad meile nähtavaks.

Valguse peegeldumisel on oluline tähtsus ruumide valgustamisel. Joon. 116 on näidatud otsene, kaudne ja poolkaudne valgustusviis.



Joonis 116.

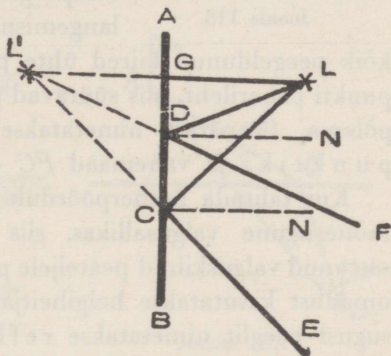
Otsese valgustuse korral peegelduvad ka üles ja külgedele sihitud valguskiired lambikuplilt alla, kusjuures esemeist tekivad teravad varjud, kuna lagi ja seina ülemine osa jäävad tumedaks.

Poolkaudse valgustusviisi korral langeb osa valguskiiri otseselt alla, kuna osa kiiri satub läbi lambi armatuuri laele ja seintele, kust nad peegelduvad tagasi. Lae ja seinte valgustuse ja sealt tagasi peegeldunud valguskiirte tõttu on varjud palju pehmemad.

Kaudse valgustusviisi juures on lambi armatuuri alumine osa valmistatud läbipaistmatust aineksest. Seetõttu on ruum ühtlaselt valgustatud ja varjusid üldse ei teki. Selle viisi puudumiks on asjaolu, et valgustustugevus tööpinnal on väiksem kui seintel.

Uhe ja sama suure valgustustugevuse saamiseks peab valgusallika valgustugevus otsesel valgustusel olema kõige väiksem, kaudsel valgustusel aga kõige suurem.

109. Tasapeeglid. Olgu joonisel 117 pind AB tasapeegel ja punkt L valgusallikas. Sellest punktist väljuvad valguskiired, sattudes peegli pinnale, peegelduvad sealt tagasi, nii et $\angle LDN = \angle NDF$ ja $\angle LCN = \angle NCE$. Kui vaadelda punktist E või F , näib valgusallikas olevat punktis L^1 , mille kaugus peegli pinnast on niisama suur kui valgusallika kaugus peegli pinnast, seega $L^1G = GL$. Ka kõik teised punktist L väljuvad valguskiired peegelduvad nii, et kiired näivad väljuvat punktist L^1 . Peeglis tekkinud kujutist nimetatakse peegelpildiks ehk ebakujutiseks, sest tõeliselt sellel kohal mingit eset pole, vaid see näib ainult seal olevat.



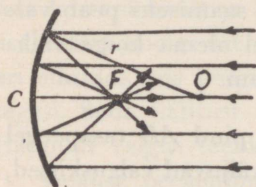
Joonis 117.

Mõnesugusest ruumilisest esemest väljuvad valguskiired peegelduvad samuti, nii et ebakujutis näib asuvat peegli taga samal kaugusel, kui kaugel on ese peegli pinnast. Peegeldumisel vahetub aga parem külg vasaku küljega.

110. Kõverpeeglid. Kõverapinnalistest peeglitest on tähtsamad sfäärilised peeglid, s.t. seesugused peeglid, mille peegeldav pind on osa kerapinnast. Kui peegeldavaks pinnaks on kera sisemine pind, nimetatakse peeglit nõguspeegliks; kui

aga peegeldub kera välimine pind, nimetatakse peeglit kumer-
peegliks. Sfäärilistest peeglitest on tähtsamad nõguspeeglid.

Joonisel 118 on kujutatud nõguspeegel, mille kerapinna
senter on tähistatud tähega O ja raadius tähega r . Sirgjoont
 CO , mis läbib peegli keskkoha ja kera sentrit, nimetatakse

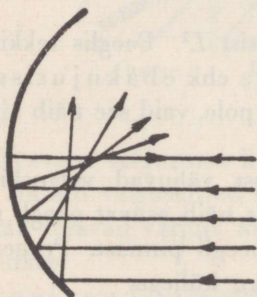


Joonis 118.

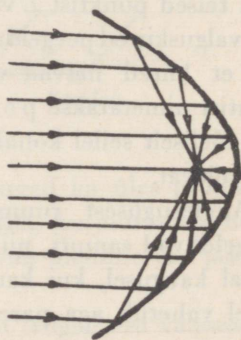
peegli peateljeks. Kui peegel ase-
tada nii, et päike asuks peegli peateljel,
siis langevad päikese kiired peeglile röö-
biti peateljega. Kõverpeeglile langenud
kiired peegelduvad tagasi samuti nagu
tasapeeglis: peegeldumisnurk on võrdne
langemisnurgaga. Sealjuures koonduvad

kõik peegeldunud kiired ühte punkti F . Kui asetada sellesse
punkti paberileht, siis süütavad peegeldunud päikesekiired lehe
põlema. Seepärast nimetatakse seda punkti peegli tuli-
punktiks ja vahemaad FC – tulipunkti kauguseks.

Kui talitada ümberpöörduvalt ja asetada peegli tulipunkti
mõnesugune valgusallikas, siis peegelduvad peegli pinnale
sattunud valguskiired peateljele paralleelse kiirtekimbuna. Seda
omadust kasutatakse helgiheitjais valguse suunamiseks; see-
sugust peeglit nimetatakse reflektoriks.



Joonis 119.

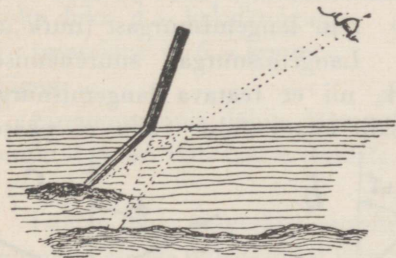


Joonis 120.

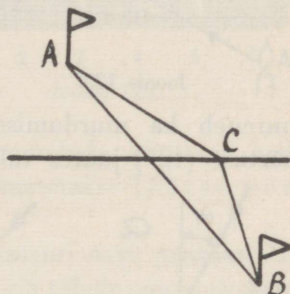
Kui sfäärilise peegli avaus on suur võrreldes tema kõve-
ruse raadiusega, siis puudub peeglil kindel tulipunkt (joon. 119).
Selle puudumi kõrvaldamiseks valmistatakse helgiheitjate ja

autode reflektorite nõguspeeglid harilikult paraboolsete peegleina, mille peegelpinnaks on pöördparaboloid. Paraboolseis peegleis (joon. 120) peegelduvad kõik peeglile langevad paralleelsed kiired tulipunkti, ja ümberpöördukt – tulipunktiast väljuvad valguskiired peegelduvad peegli teljele paralleelse kiirtekimbuna.

111. Valguse murdumine. Kui vaadelda vette pistetud sirget keppi, siis näib, nagu oleks ta veepinnal murtud (joon. 121). See on võimalik ainult seetõttu, et vees asuvast kepiotsast väljuvad valguskiired murduvad siirdudes veest õhku. Samal



Joonis 121.



Joonis 122.

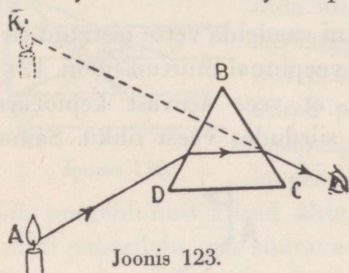
põhjusel ei näe meie vees olevaid esemeid mitte seal, kus nad tõeliselt on, vaid hoopis teisel ja koguni kõrgemal; samuti näib iga veekogu olevat madalam tõelisest sügavusest.

Valguskiired murduvad alati siirdudes ühest keskkonnast teise. Valguskiire kõrvalekaldumine esialgsest sihist oleneb vastavate ainete omadustest, sest igas aines on valguse murdumisnurk isesugune. Valguse murdumine on seletatav sellega, et igas aines on valguse kiirus erinev ja valguse kiir püüab leida endale seesuguse tee, mille katmiseks ta vajab lühemat aega. Selle selgituseks olgu toodud analoogiline näide. Rattasõitja soovib sõita lagedal maastikul A-st B-sse (joonis 122), kusjuures ülemises piirkonnas paremate maastiku tingimuste tõttu võib saavutada suuremat kiirust kui alumises piirkonnas.

Soovides jõuda võimalikult kiiremini pärale, ei tohi rattasõitja kasutada kõige lühemat teed – sirgjoont AB , vaid peab sõitma läbi punkti C .

112. Valguse murdumine prisma. Kui valguskiir läbib kolmetahkset läbipaistvat prisma, siis murdub ta sisenduspinnal ja samuti ka väljumispinnal. Selle tagajärjel kaldub valguskiir prisma aluse poole ning

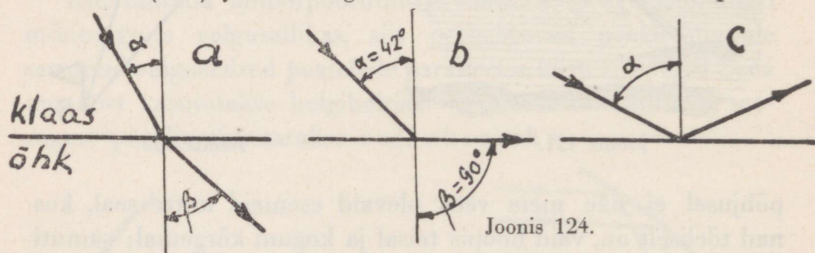
vaadeldav ese näib kõrgemal, kui ta tõeliselt on (joonis 123).



Joonis 123.

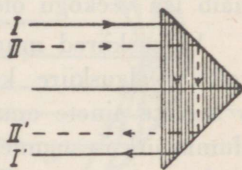
Valguskiire siirdumisel klaasist õhku (joon. 124-a) on murdumisnurk (nurk β) alati suurem langemisnurgast (nurk α).

Langemisnurga suurenemisel suureneb ka murdumisnurk, nii et teatava langemisnurga väärtuse (42°) juures valguskiir enam üldse õhku ei pääse,



Joonis 124.

vaid libiseb mööda klaasi pinda (joonis 124-b). Veelgi suurema langemisnurga juures peegelduvad valguskiired klaasi ja õhu piirjoonelt tagasi (joonis 124-c) samuti nagu peeglit. Seda nähtust nimetatakse täieliseks sisepeegeldumiseks.



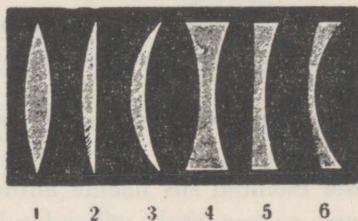
Joonis 125.

Joonisel 125 on kujutatud prisma, mille tipunurk on 90° . Prisma alusele risti langevad kiired peegelduvad prisma sisekülgedel ja kahekordse täielise sisepeegelduse tõttu väljub valguskiir prismast endisele suunale vastupidises suunas.

113. Läätsed. Läätsedeks nimetatakse läbipaistvaid kehi, mis on piiratud mõlemalt poolt kerapindadega või ühelt poolt kerapinnaga, teiselt poolt tasapinnaga. Harilikult valmistatakse läätsed klaasist.

Läätsed liigitatakse kumer- ja nõgusläätsedeks. Läätsede läbilõiked on toodud joonisel 126.

Kumerläätsed on keskelt paksemad; neid on kolme liiki: 1 – kaksikkumer, 2 – tasakumer ja 3 – nõguskumer. Nõgusläätsed on keskelt õhemad; neid on samuti kolm liiki: 4 – kaksiknõgus, 5 – tasanõgus ja 6 – kumer-nõgus.

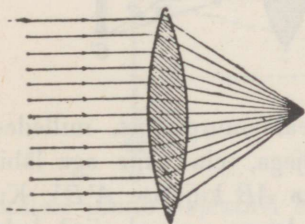


Joonis 126.

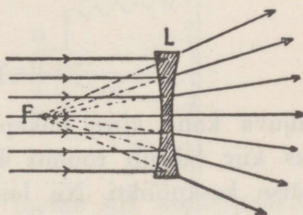
Sirgjoont, mis läbib läätses kerapindade kõveruse keskpunktid ja on risti läätses pinnale, nimetatakse läätses peateljeks.

Läätses läbiv valguskiir murdub samuti nagu prismas läbi minnes. Valguse murdumisel läätses võib tähele panna järgmist:

a) Valguskiired, mis langevad kumerläätsel paralleelselt läätses teljega, murduvad nii, et kõik kiired koonduvad teisel pool läätses ühte punkti (joonis 127). Seda punkti nimetatakse



Joonis 127.



Joonis 128.

läätses tulipunktiks. Kaksikkumerläätsel on kaks tulipunkti, mis asuvad ühekaugusel mõlemal pool läätses. Kumerläätses nimetatakse ka kogujaläätses ja kondensaatoriks.

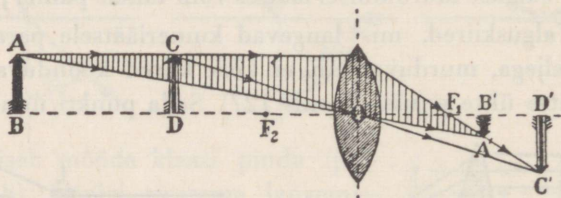
b) Valguskiired, mis langevad nõgusläätsle paralleelselt läätse teljega, murduvad nii, et kiired hajuvad laiali ja näivad väljuvat läätse ees asuvast tulipunktist (joonis 128). Seepärast nimetatakse nõgusläätsi ka hajuvateks läätsedeks.

c) Valguskiired, mis läbivad ühesuguse kõverusega kaksikumer- ja kaksiknõgusläätsle keskpunkti, läbivad läätse, jäädes endisse sihti.

d) Valguskiired, mis väljuvad läätse tulipunktist, murduvad nii, et nad väljuvad läätselt paralleelse kiirtekimbuna.

114. Kehade kujutis läätses. Suurendusklaas. Kui vaadelda mõnda eset läbi kaksikkumerläätsle mitmesugusel kaugusel esemest, siis näeme antud eset ümberpööratult ja sealjuures suurendatult, vähendatult või niisama suurelt, või päripidi, kuid suurendatult. Seda nähtust seletavad eespool toodud valguskiirte murdumise reeglid, mis määravad kiirte sihi pärast läätse läbimist.

Joonisel 129 tähendavad punktid F_1 ja F_2 läätse tulipunkte. Keha AB kujutise leidmiseks leiame tema üksikute punktide kujutised. Üksiku punkti kujutise leiame aga sellest punktist



Joonis 129.

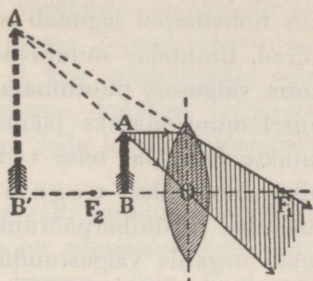
väljuva kahe kiire lõikepunktis peale murdumist, milledest üks kiir lähtub rööbiti läätse teljega, teine kiir aga läbib läätse keskpunkti. Nii leiame keha AB kujutise A^1B^1 . Kui asetame sama keha asukohta CD , leiame samal viisil keha kujutise C^1D^1 . Katseist selgub, et

a) kui vaadeldav keha asub kumerläätselst kaugemal kui kahekordne tulipunkti kaugus, tekib ümberpööratud ja vähendatud kujutis;

b) kui keha asub kahekordsel tulipunkti kaugusel, tekib ümberpööratud, kuid niisama suur kujutis;

c) kui keha asub tulipunktist kaugemal, kuid lähemal tulipunkti kahekordsest kaugusest, tekib ümberpööratud, kuid suurendatud kujutis;

d) kui aga keha asub tulipunkti ja läätse vahel (joonis 130), tekib päripidine suurendatud kujutis. See nähtus võimaldab läätse kasutamist suurendusklaasina ehk luubina.

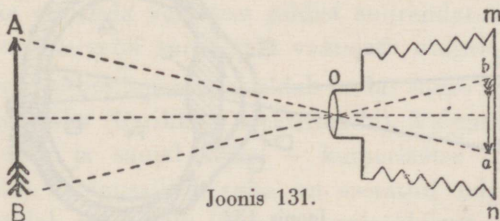


Joonis 130.

Hajutavad läätsed tekitavad alati päripidise, kuid vähen-
datud kujutise.

Üksikläätsed moonutavad teataval määral eseme kujutist. Selle puudumi kõrvaldamiseks koostatakse optiliste aparaatide läätsed mitmest üksikust läätsest.

115. Fotoaparaat. Joonisel 131 on kujutatud skemaatiliselt fotoaparaat. Tema tähtsamad osad on täiesti valgus-kindel kast ja esiseina paigutatud mitmest läätsest koosnev objektiiv o . Kasti tagaseina asetatakse mattklaasist plaat mn ,

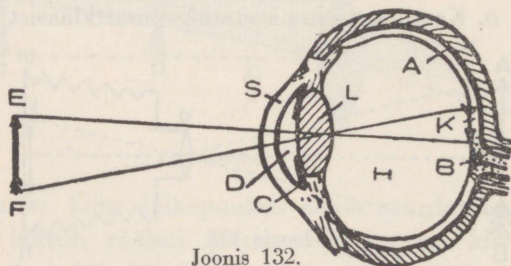


Joonis 131.

millele ilmub objektiivi ees oleva eseme AB ümberpööratud kujutis ab . Et kujutis ilmuks selgelt ja teravate piirjoontega, selleks on kasti külge seinad lõõtsakujulised, nii et objektiivi ja mattklaasi kaugust saab suurendada või vähendada. Pildistamiseks asendatakse mattklaas valgustundliku fotoplaadiga, mida valgustatakse teatav aeg.

Fotoplaat on kaetud õhukese valgustundliku hõbedasoolakihi-
 kihiga. Valgustamisel ei jää plaadile nähtavat jälge, vaid see ilmub
 plaadi asetamisel sellekohasesse vedelikku – ilmutajasse,
 kus hõbedasool laguneb neis kohtades, kuhu sattusid valgus-
 kiired. Ilmutajas muutuvad valgust saanud kohad mustaks,
 kuna valgusest puutumata kohad jäävad valgeks. Valgusta-
 misel muutumatuks jäänud hõbedasoola lahustamiseks ase-
 tatakse fotoplaat teise vedelikku – kinnistajasse. Saadud
 pilti nimetatakse negatiiviks, sest sellel on heledad kohad
 tumedad ja ümberpöörduvalt. Päripidise pildi saamiseks ase-
 takse negatiiv valgustundlikule paberile ja valgustatakse seda.
 Nüüd lasevad heledad kohad rohkem valgust läbi kui tumedad
 ja paberil tekib õige kujutis – nn. positiiv. Saadud pilt
 kinnistatakse samuti nagu negatiiv.

116. Inimese silm ja nägemine. Silmal (joonis 132) on
 suur sarnasus fotoaparaadiga. Aparaaadi valguskindlale kestale
 vastab silmamuna, millest osa on nn. silmavalgena
 nähtav. Silmamunasse pääsevad valguskiired läbi sarv-
 kesta *S*, selle all oleva silmavedeliku *D*, värvkile *C*,
 silmaläätse *L* ja sültja klaaskeha *H*. Värvkile keskel



Joonis 132.

on ümmargune avaus – silmatera. Silmatera avaus suure-
 neb ja väheneb iseenesest vastavalt valgustuse tugevusele ja
 määrab seega silma sattuva valguse hulga. Silma sattunud
 valguskiired murduvad nii, et silmamuna seespoolisel küljel asu-
 vale võrkkestale *A* tekib vaadeldavast esemest ümber-

pöördud ja vähendatud kujutis. Võrkkestal tekkinud kujutis kandub närvide kaudu peaaegu. Kõige valgustundlikumat kohta võrkkestal nimetatakse tema värvi järgi kollaseks täpiks (joonisel *K*), mis asub võrkkesta keskel. Terasel vaatlemisel pöördub silm nii, et eseme kujutis langeb kollasele täpile. Seevastu on koht *B*, kus nägemisnärvi tuleb silma, täiesti valgustundetu ja eseme kujutise langemisel sellele kohale ei näe üldse mitte. Seda kohta nimetatakse pimedaks täpiks.

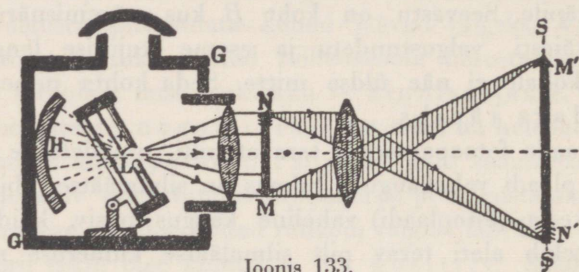
Et saada fotoaparaadiga teravat pilti, muudetakse objektiivi ja plaadi vahekaugust. Silmas on silmaläätse (objektiivi) ja võrkkesta (fotoplaadi) vaheline kaugus püsiv, kuid võrkkestal tekib alati terav pilt silmaläätse kumeruse muutumisega, nii et eseme kujutis satub ikka võrkkestale. Silmaläätse kuju oleneb vaadeldava eseme kaugusest; soovitatav kuju tekitatakse vastavate lihaste abil. Seda silma omadust nimetatakse kohastumiseks.

Kui silma kohastumisvõime on puudulik, siis parandatakse seda prillidega, s. t. klaasläätsedega, milles valguskiired murduvad nii, et teiskordselt silmaläätstes murdunud kiired tekitavad vaadeldava eseme kujutise just võrkkestal.

117. Projektsiooniaparaadid. Projektsiooniaparaadi ülesandeks on anda väikesest pildist suurendatud kujutis, et seda nähtavaks teha suuremale vaatajate hulgale.

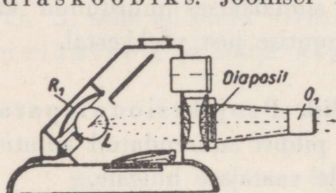
Iga projektsiooniaparaat sisaldab endas suure valgustugevusega valgusallika (harilikult elektrilambi). Valgusallikas püsib kindlalt ühel ja samal kohal – kumerläätses *B* tulipunktis (joonis 133). Valgusallika taha on asetatud nõguspeegel *H*, mis peegeldab tahapoole langevad valguskiired läbi valgusallika läätses *B*. Selleks peab valgusallikas asetsema täpselt ka kerakujulise peegli kõveruse keskpunktis. Kumerläätses *B* tulipunktist tulevad valguskiired murduvad nii, et nad väljuvad läätses *B* paralleelsete kiirte kimbuna. Klaasile joonestatud pilt, nn. diaposiitiv, asetatakse ümberpöördult

läätsede B ja P vahele, läätse P tulipunktist kaugemale, kuid mitte kaugemale tulipunkti kahekordsest kaugusest. Läbi läätse P murduvad valguskiired nii, et ekraanile SS tekib päripidine suurendatud kujutis. Kirjeldatud aparaati nimetatakse diaskoobiks.

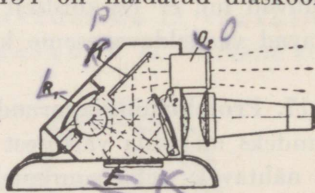


Joonis 133.

Harilikule paberile joonistatud või trükitud pilte projekteeritakse ekraanile episkoobi abil. Selles aparaadis juhitakse valgustatud pildilt tulevad valguskiired peeglile, kust nad peegelduvad läbi läätse ekraanile. Aparaati, mida saab kasutada nii diaskoobina kui ka episkoobina, nimetatakse epidiaskoobiks. Joonisel 134 on näidatud diaskoobina



Joonis 134.



Joonis 135.

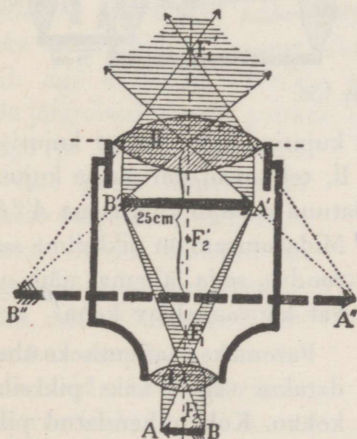
töötav epidiaskoop, kuna joonisel 135 kasutatakse sama aparaati episkoobina. Joonistel tähendavad: L – elektrilamp, R_1 , R_2 ja K – peeglid, O_1 – diaskoobi objektiiv, O_2 – episkoobi objektiiv ja E – episkoobiga projekteeritav joonis.

118. Kino. Kui tiirutada hõõguvat sütt, ei näe meie sütt, vaid näeme seda hõõguvat ringjoont, mida mööda süsi liigub. See on tingitud sellest, et valguseaisting ei hävine meie silmas valguse kustumisega, vaid püsib veel edasi lühikest aega,

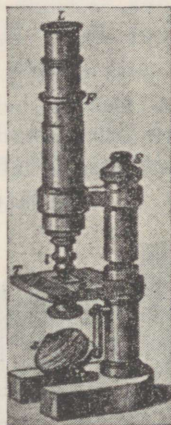
umbes 0,1 sekundit. Seega sulavad ühte üksteisele kiiresti järgnevad valgusenähted. Seda nähtust kasutatakse kinoaparaadi juures.

Filmimisel tehakse sekundis umbes 20 momentülevõtet ja kopeeritakse saadud pildid kitsale läbipaistvale lindile. Need pildid projekteeritakse erilise aparadi, nn. filmiaparadi abil ekraanile, kusjuures iga pilt püsib ekraanil lühikest aega. Ekraanile ilmuvad seega üksteise järel paigalseisvad pildid. Kui pildid vahetuvad vajaliku kiirusega (umbes 20 pilti sekundis), siis korduvad vaatleja silmis kõik samad liigutused, mida esinejad sooritasid filmimisel.

119. Mikroskoop. Väga väikestest esemetest saadakse suurendatud kujutisi mikroskoobi abil. Mikroskoobi peaosadeks on kaksikkumerläätsed I ja II (joonis 136). Väiksema ja kumerama läätse I kohale asetatakse vaadeldav ese. Seda läätse nimetatakse objektiiviks. Suuremat läätse II, mille



Joonis 136.



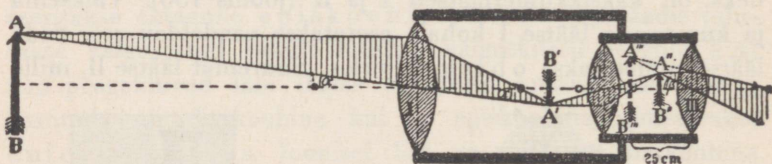
Joonis 137.

kohale asetatakse silm, nimetatakse okulaariks. Objektiivi tulipunktid on F_1 ja F_2 , okulaari tulipunktid on F_1' ja F_2' . Vaadeldav väike ese AB asetatakse objektiivi alla, tulipunktist

kaugemale, kuid lähemale selle läätse tulipunkti kahekordsest kaugusest. Seega tekib kehast AB suurendatud, kuid ümberpööratud kujutis $A'B'$. Kuna kujutis $A'B'$ tekib okulaari ja selle tulipunkti F_2' vahel, näeme läbi okulaari kujutist $A'B'$ teiskordselt suurendatult kujutisena $A''B''$. Kogu läätsede süsteem valitakse ja asetatakse nii, et kujutis $A''B''$ ilmuks okulaarist umbes 25 cm kaugusel, sest normaalse nägemise juures on kujutis $A''B''$ siis kõige paremini nähtav.

Joonisel 137 on kujutatud mikroskoobi üldvaade. Paremad mikroskoobid suurendavad mitu tuhat korda.

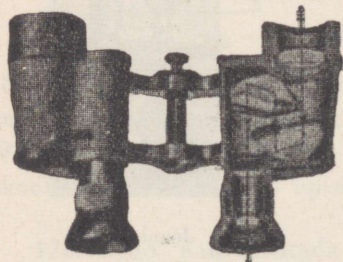
120. Pikksilmad. Kaugemal olevate esemete vaatlemiseks kasutatakse pikksilma. Pikksilm koosneb kolmest kumerläätsesest I, II ja III (joonis 138). Kaugel asuvast kehast AB



Joonis 138.

tekitab lääts I ümberpööratud kujutise $A'B'$. Sellest kujutisest väljuvad kiired, läbides läätse II, tekitavad päripidise kujutise $A''B''$, mis läbi läätse III vaadatuna paistab kujutisena $A'''B'''$.

Mida suurem on pikksilma suurendus, seda lähemal näib olevat ka vaadeldav keha.



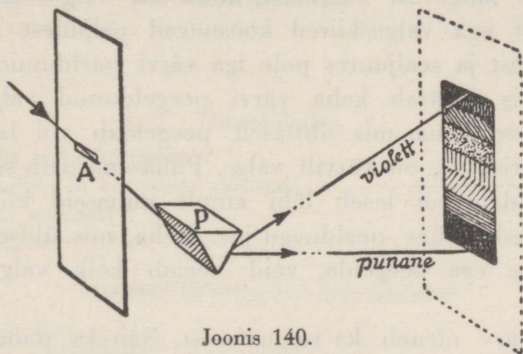
Joonis 139.

Paremaks vaatlemiseks ühendatakse sageli kaks pikksilma kokku. Kokkuühendatud pikksilmi nimetatakse binoklik. Prismabinoکلis (joonis 139) asetatakse objektiivi ja okulaari

vahele kaks kolmetahkset täisnurkset prisma, mis valguse peegeldumisel pööravad ümberpööratud kujutise päripidiseks.

Valguskiire teekond binoklis on joonisel märgitud. Prisma-
binokli hüveks on lühem pikkus; ka vaateväli on suurem,
sest objektiivide vahe on suurem okulaaride vahest,

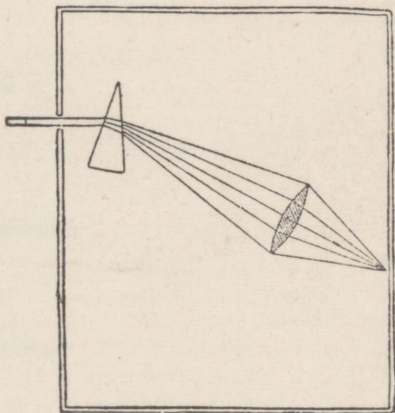
121. Päikese valguse spekter. Kui lasta läbi kitsa pilu
päikese valguskiiri, siis tekib ekraanile valge pilu kujutis. Kui
aga läbi pilu *A* (joonis 140) tulevate kiirte teele asetada klaas-



Joonis 140.

prisma *P*, murduvad selles valguskiired ja eelduste kohaselt
peaks pilu kujutis ilmuma ekraanile kuski teisel. Tõeliselt
tekib aga ekraanile värviline pael, milles selgesti saab eral-
dada järgmised värvid: punane, oranž, kollane, roheline, sinine,
indigo ja violett. Tekkinud
värvilist paela nimetatakse
päikese valguse spektriiks.
Samad värvid ilmuvad ka
valguse murdumisel veepiis-
kades, mida võib näha viker-
kaarena; seepärast nimeta-
takse neid värve ka viker-
kaarevärvideks.

Prismas lahutatud valget
värvi võib uuesti koondada
valgeks värviks kumerläätse
(joonis 141) või teise prisma
abil, mis on asetatud üksi-



Joonis 141.

kuteks värvideks lahutatud valguskiirte tee. Eelöeldust järgneb, et valge värv koosneb paljudest värvilistest kiirtest, millest iga värv prisma isesuguselt murdub: punane kõige vähem, violeti kõige rohkem.

122. Keha värv. Iga keha laseb läbi või peegeldab tagasi osa temale langevast valgusest, kuna osa valguskiiri kehas neeldub. Et aga valguskiired koosnevad paljudest erivärvilistest kiirtest ja sealjuures pole iga värvi neeldumine kehas ühtlane, siis määrab keha värvi peegeldunud valguskiirte koosseis. See keha, mis ühtlaselt peegeldab või laseb läbi kõiki spektrivärve, on värvilt valge. Punasena näib see keha, mis peegeldab või laseb läbi ainult punaseid kiiri, kuna teised kiired kehas neelduvad jne. Keha, mis üldse valgust läbi ei lase ega peegelda, vaid neelab kõik valguskiired, on must.

Keha värv oleneb ka valgustusest. Näiteks punases valgustuses näib ka valge keha punasena, sest keha saab peegeldada ainult neid kiiri, mis temale langevad, käesoleval juhul ainult punaseid. Seepärast muutub ka keha värv kunstlikul valgustusel, sest valgusallikate valguskiirte koosseis on erinev.

Sisukord.

	Lk.
Eessõna	3

Sissejuhatus.

1. Tehnika ja loodusteadus	5
2. Füüsikalised ja keemilised nähtused	5
3. Füüsika seadused	6
4. Mõõtühikud	7

Kehade füüsikalised üldomadused.

5. Keha ja aine	9
6. Pikkuse mõõtühikud	10
7. Pikkuse mõõtmine ja mõõduriistad	11
8. Pindade mõõtmine ja mõõtühikud	14
9. Ruumala mõõtmine ja mõõtühikud	15
10. Kehade kolm olekut	17
11. Raskus	18
12. Erikaal	21
13. Erikaalu määramine	22
14. Erimaht	25
15. Jagatavus. Molekulid ja aatomid	25
16. Urbsus	27
17. Kohesioon	27
18. Adhesioon	29

Vedelikud.

19. Vedeliku sitkus	32
20. Pindpinevus	33
21. Jõhvsus	34
22. Rõhk. Rõhu edasiandumine vedelikus	36
23. Vedelikkude kokkusurutavus	37
24. Vesipress	38
25. Vedeliku rõhk	40

	Lk.
26. Vedeliku rõhk ja surve anumade põhjale	40
27. Vedeliku surve alt üles	42
28. Vedeliku külgrõhk ja surve	44
29. Ühendatud anumad	45
30. Vedeliku erikaalu määramine ühendatud anumais	46
31. Keha kaalukaotus vedelikus	48
32. Tahkete kehade erikaalu määramine kaalukaotuse kaudu	49
33. Vedelikkude erikaalu määramine kaalukaotuse kaudu	51
34. Kehade ujumine	52
35. Areomeeter	54
36. Vedelikkude väljavoolamine anumast	55
37. Vedelikkude voolamine torustikus	57
38. Voolava vedeliku vastusurve	58
39. Vesimootorid	59

Gaasid.

40. Gaaside üldomadused	60
41. Õhu rõhk	61
42. Baromeetrid	63
43. Gaaside rõhk ja selle mõõtmine	65
44. Manomeetrid ja vaakuummeetrid	66
45. Gaaside rõhu ja ruumala suhe	70
46. Pipett	74
47. Sifoon	74
48. Pumbad	75
49. Pumpade kasutamine	79
50. Vesioinas	81
51. Õhupumbad	82
52. Joapumbad	84
53. Keha kaalukaotus õhus	86
54. Tuule rõhk	86

Soojus.

55. Soojus ja temperatuur	88
56. Temperatuuri mõõtmine	89
57. Termomeetrid	89
58. Maksimum- ja miinimum-termomeeter	92
59. Kõrgete temperatuuride mõõtmine	93
60. Tahkete kehade paisumine	94
61. Vedelikkude paisumine	97

62. Vee paisumine	98
63. Gaaside paisumine soojenemisel	100
64. Absoluutne temperatuur	102
65. Gaasi rõhu suurenemine soojendamisel	102
66. Soojuse hulk	104
67. Erisoojus	105
68. Sulamine ja kõvastumine	107
69. Sulamissoojus	109
70. Lahustumine ja selle soojus	111
71. Aurustumine	111
72. Õhuniiskus	112
73. Hügromeetrid	114
74. Keemine ja vedeldumine	116
75. Keemistemperatuuri olenevus rõhust	117
76. Aurumissoojus	119
77. Destilleerimine	119
78. Küllastunud aur	120
79. Ulekuumendatud aur	123
80. Gaaside vedeldamine	124
81. Jahutusseadmed	125
82. Soojuse levimisviisid	126
83. Soojusejuhtivus	127
84. Soojuse edasikandumine	128
85. Soojuse kiirgamine	129
86. Soojusallikad	129
87. Soojuse muundumine tööks	131
88. Aurukatel	132
89. Aurumasin	133
90. Auruturbiin	134
91. Sisepõlemootorid	134

Hääl.

92. Võnkliikumine	138
93. Lainetav liikumine. Põiklained	138
94. Pikilained	140
95. Hääle tekkimine	141
96. Hääle levimine	141
97. Hääle peegeldumine. Kaja	142
98. Toonid. Tooni kõrgus ja tugevus	143
99. Resonants	144
100. Muusikariistad	145

	Lk.
101. Fonograaf ja grammofon	146
102. Inimese hääle- ja kuulmisorganid	147

Valgus.

103. Valgusallikad	148
104. Valguse levimine	148
105. Valgusallika valgustugevus	149
106. Pinna valgustustugevus	149
107. Fotomeeter	152
108. Valguse peegeldumine	153
109. Tasapeeglid	155
110. Kõverpeeglid	155
111. Valguse murdumine	157
112. Valguse murdumine prisma	158
113. Läätsed	159
114. Kehade kujutis läätses. Suurendusklaas	160
115. Fotoaparaat	161
116. Inimese silm ja nägemine	162
117. Projektsiooniaparaadid	163
118. Kino	164
119. Mikroskoop	165
120. Pikksilmad	166
121. Päikese valguse spekter	167
122. Keha värv	168

A

11 111

126827^o

L

agv
Hind kr. 2.-