LANG-ERLEMANN

FÜÜSIKA
KESKKOOLILE

I

Sissejuhatus, vedelikud, gaasid ja soojus

3. trükk

Tartu, 1931

J. LANG JA V. ERLEMANN

FÜÜSIKA

ÕPPERAAMAT KESKKOOLILE

Haridusministeeriumi koolraamatute komisjoni poolt esimeses trükis keskkoolidele tarvitamiseks soovitatud.

I

Sissejuhatus, vedelikud, gaasid ja soojus

Kolmas trükk

Tartu, 1931

Korrektuur Manivalde Lubi'lt

Haridusministeeriumi kooliraamatute komisjoni poolt esimeses trükis keskkoolidele tarvitamiseks soovitatud

Trükikoda „Varraku" trükk Tartus, 1931.

Sissejuhatus

Mõõtmised

1. Millega teeb füüsika tegemist. Igapäevasest elust teame, et vaba keha langeb maa poole, et soojuse mõjul tekkinud veeaur paneb liikuma raudteeveduri, et elektrivoolu tarvitatakse valgustamiseks, telefoonimiseks, telegraafimiseks jne., jne. Liikumise-, soojuse-, elektri-, valguse- jne. nähtused kuuluvad füüsikaliste nähtuste hulka. Füüsikas õpime füüsikalisi nähtusi ligemalt tundma, s. o. katsume selgusele jõuda, **kuidas** ja **mispärast** nad tekivad.

Füüsikaliste, samuti ka teiste nähtuste põhjalikum tundmaõppimine on paratamata seotud nähtust iseloomustavate suuruste mõõtmisega, seepärast vaatame, kuidas mõõdetakse füüsikas sagedamini esinevaid suurusi.

2. Mõõtmisest üldse. Mõõtmine on antud suuruse (toa pikkus) **võrdlemine** teise sama liiki suurusega (1 meeter), mille nimetame ühikuks. Otstarbekohasus nõuab, et mõõtühikud oleksid muutmatud (konstantsed), kõigil tarvitajail samad, oma suuruselt mitmesugused, kuid üksteisega lihtsalt seotud.

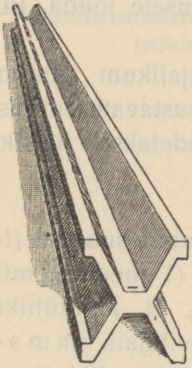
Põhjenda need nõuded lähemalt!

Meile tuntud mõõtühikute süsteemidest rahuldab kõige suuremal määral ülaltoodud nõudeid XVIII sajandi lõpul prantslaste loodud meetermõõdustik.

3. Meetermõõdustiku tekkimine. XVIII sajandi lõpul valitses Prantsusmaal (samuti ka mitmes teises riigis) tarvitusel olevate mõõtühikute suhtes suur segadus; peaaegu igas riigi osas (departemangus) olid omad, teistest erinevad mõõdud, mis kaubanduslikku läbikäimist takistas; algühikuid, iseäranis pikkuse omi, muudeti sagedasti, suhted üksikute mõõtühikute vahel olid keerukad jne. Raskustest ülesaamiseks otsustas Rahvuskogu (9. mail,

1790) vanad môôdud hoopis kaotada ja tegi Teaduste Akadeemiale ülesandeks uue otstarbekohasema môôtühikute süsteemi väljatöötamise. Viimase poolt valitud komisjon, mille liikmeiks olid tolle aja kuulsamad prantsuse teadusemehed (Berthollet, Borda, Delambre, Lagrange, Laplace, Mechain, Prony), töötas välja uue mõõtude süsteemi — meetermôôdustiku, mis seaduseandliku asutise poolt (7. apr. 1795) hääks kiideti. Esialgu tarvitati uusi môôte vanadega kôrvuti. Alles 1. jaan. 1840 alates on Prantsusmaal sunduslikult ainult meetermôôdustik tarvitusel. Pääle Prantsusmaa on meetermôôdustik praegu tarvitusele vôetud umbes 50 riigis suuremal vôi väiksemal môôdul. Eestis on meetermôôdustik üldiselt tarvitusel 1. jaan. 1929. a. alates.

4. Meeter. Meetermõõdustiku põhiühikuks on pikkuseühik **meeter**. Meeter defineeriti esialgu (1795) kui üks kümnemiljonendik $\frac{1}{10^7}$ Pariisist läbimineva veerandmeridiaani pikkusest Et aga pärastised täpsemad Maa veerandmeridiaani pikkuse mõõtmised andsid üksteisest erinevad resultaadid (kõik mõõtmise resultaadid on ainult ligikaudsed!) siis loobuti pärastpoole sellest meetri esialgsest definitsioonist. Nüüd nimetatakse meetriks rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe paralleelse kriipsu kaugus teineteisest, mõõdetud jää sulamistemperatuuris. Rahvusvaheline algmeeter on valmistatud plaatina- ja iriidiumisulatisest ning hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude Büroos Sèvre'is, Pariisi lähedal (1. joon.).



1. joon. Algmeeter.

Mispärast on algmeetril niisugune (v. 1. joon.) kuju?

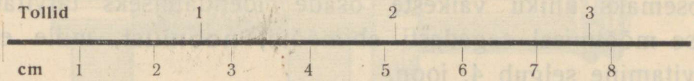
Esimene n. n. algmeeter valmistati a. 1799 ja pandi hoiule Rahvuslikku Arhiivi. Rahvusvaheline Môôtude Büroo valmistas sellest algmeetrist vôimalikult täpse koopia, mille Üldine Môôtude Konverents (Conférence générale des Poids et Mesures) a. 1889 rahvusvaheliseks algmeetriks tunnustas. Sellest valmistati hulk koopiaid, mis konverentsist osavôtvate riikide vahel ära jaotati ja mis on vastavas riigis seaduslikuks algmeetriks.

Eestis on seaduslikuks algmeetriks rahvusvahelise algmeetri koopia (nr. 4) järgi valmistatud koopia, mis hoitakse alal Tartu ülikoolis. Igapäevases elus tarvitusel olevate meetermôôtude kontrolli teostab Proovikoda. Selleks kasutab ta algmôôduks meetermôôtu, mida iga 5 a. järele vôrreldakse Tartu ülikoolis oleva algmeetriga. Viimast aga iga 25 a. tagant kord võrreldakse Rahvusvahelises Môôtude Büroos oleva rahvusvahelise algmeetri koopiaga.

5. Pikkuseühikud. Meetermõõdustik on üles ehitatud kümnendsüsteemi alusel. M e e t e r **(m)** jaguneb 10 d e t s i m e e t r i k s **(dm)**, d e t s i m e e t e r 10 sentimeetriks **(cm)**, sentimeeter 10 m i l l i m e e t r i k s (**mm**); 0,001 mm = 1 m i k r o n (μ); 0,001 mikronit = 1 m i l l i m i k r o n ($m\mu$). Meetrist suuremad pikkuseühikud on: 1 d e k a m e e t e r = 10 m; 1 h e k t o m e e t e r = 100 m; 1 k i l o m e e t e r (**km**) = 1000 m. Nii siis:

$$\mathbf{1\ m = 10\ dm = 100\ cm = 1000\ mm;}$$
$$\mathbf{1\ km = 1000\ m;}$$
$$\mathbf{1\ mm = 1000\ \mu = 10^6\ m\mu.}$$

Endistest vene pikkusemõõtudest meetermõõdustikku üleminekuks



2. joon. Tolli ja cm võrdlevad pikkused.

ja ümberpöördult on kasulik meeles pidada järgmised ligikaudsed ($\approx$) arvud:

1 süld $\approx$ **2** (täpsemini 2,1336) **m**;

1 toll $\approx$ **2,5** (t. 2,54) **cm**;

1 m $\approx$ **40** (t. 39,37) **tolli**;

1 km $\approx \frac{15}{16}$ (t. 0,9374) **versta**.

1. Leida, missugune neist ligikaudseist mõõtühikute võrdlusist on kõige täpsem (määrata vea suurus ‰-des).

2. Kuidas muutub mõõtmise täpsus kultuuri üldise arenemisega?

3. Missugused meetermõõdustiku pikkuseühikud on tegelikus elus harilikult tarvitusel? Mispärast ei tarvitata kõiki ühikuid?

4. Tee peenikesel nööril sõlmed otsast 1 m ja 0,5 sülla kaugusel; samuti valmista paberist mõõt tolli ja cm jaotistega (umbes 6 tolli pikk). Kanna need mõõdud alati kaasas ning tarvita neid ümberolevate asjade pikkuse hindamisel!

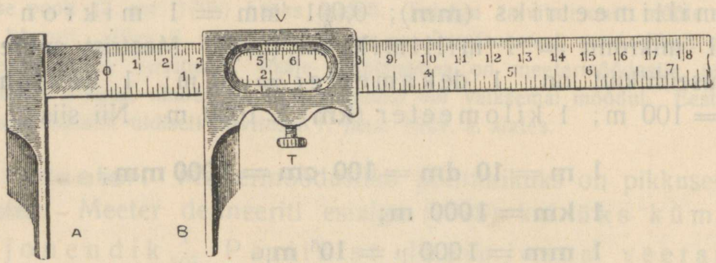
5. Määra ära ning pea meeles oma sammu keskmine pikkus meetrites!

6. Oleviste kiriku torni kõrgus on 65 sülda ja S.-Munamäe kõrgus 1017 jalga. Väljenda need kõrgused m-tes.

7. Eiffeli torni kõrgus Pariisis on 300 m. Väljenda see kõrgus süldades ja võrdle Oleviste kiriku torni kõrgusega.

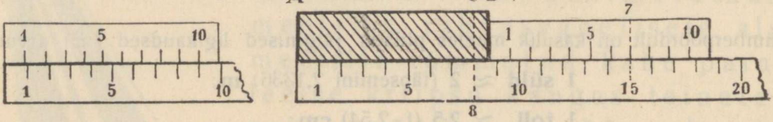
8. Emajõe pikkus Võrtsjärvest Peipsini on 104 km. Mitu versta see on?

6. Pikkuse mõõtmise riistad. a. Pikkuse mõõtmiseks tarvitatakse mitmesuguseid riistu, nagu mõõtpuu, -pael ning -ahel, varbsirkel (3. joon.), mikromeeter jne.



3. joon. Varbsirkel.

Täpsemaks ühiku väikeste osade loendamiseks tarvitatakse pikkuse mõõtmisel sagedasti abimõõtu, **nooniust,** mille ehitus ja tarvitamine selgub 4. joon.



4. joon. Noonius ja selle tarvitamine.

Mõõdu 9 jaotist (kriipsuvahet) võrdub nooniuse 10 jaotisega, sellega on siis mõõdu iga jaotis 0,1 võrra pikem nooniuse vastavast jaotisest. Nagu joon. näha, on asja AB pikkus 8 mõõdujaotist pluss pikkus CB. Et 7-mes nooniuse kriips mõõdu kriipsuga ühte langeb, siis on pikkus CB = 7 mõõdujaotist — 7 nooniusejaotist, s. o. 0,7 mõõdujaotist, ja kogu asja pikkus 8,7 mõõdujaotist.

Üldse on seda liiki nooniuse tarvitamisel asja pikkust mõõtva arvu murruline osa nii mitu kümnendikku, kui mitmes nooniuse kriips mõõdu kriipsuga kõige rohkem ühte langeb.

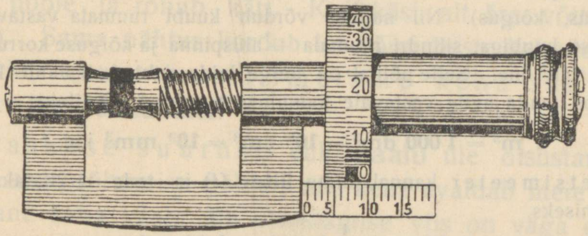
1. Tee noonius (papist, puust jne.), millega saab mõõta 1 mm-lise täpsusega. Harjuta selle riista tarvitamist ja kontrolli tulemusi, samu pikkusi mõnel teisel viisil mõõtes.

2. Kuidas tuleb tarvitada nooniust, mille 10 jaotist võrduvad mõõdu 11 jaotisega?

3. 19 mõõtpuu kriipsuvahet võrduvad 20 nooniuse kriipsuvahega. Missuguse täpsusega on võimalik mõõta?

4. 3. joon. põhjal seleta varbsirkli ehitus ja tarvitamine!

b. Hästi väikeste pikkuste täpseks mõõtmiseks tarvitatakse **mikromeeterkruvi** ehk **mikromeetrit** (5. joon.), mis pole muud midagi, kui kindlas klambris edasi-tagasi liikuv kruvi. Kui kruvi pää teeb ühe täispöörde, siis nihkub kruvi edasi ühe kruvikäigu kõrguse (kahe üksteisele järgneva kruvi lõike vahe) võrra. Olgu näiteks kruvikäigu kõrgus 1 mm, siis 0,2 täispöörde juures on edasinihkumine 0,2 mm, 0,02 juures vastavalt 0,02 mm jne.



5 joon. Mikromeeter.

Mikromeetri kruvikäigu kõrgused võivad olla mitmesugused, harilikult aga 1 ehk 0,5 mm. Seepärast tuleb enne mikromeetri tarvitamist alati selgusele jõuda, kui palju nihkub kruvi edasi pöördumisel ühe kruvi pää pääl märgitud jaotise võrra.

Seleta 5. joonise põhjal, kuidas tuleb mikromeetrit mõõtmisel tarvitada.

7. Pindala mõõtmine. Pindala mõõtmisel võiksime valida ühikuks mistahes tuntud pindala, näiteks selle raamatu lehe oma. Otstarbekohasem on aga valida pindala mõõtmisel ühikuks niisuguse ruudu pindala, mille külje pikkus võrdub mõne tuntud pikkuseühikuga, näiteks ruutmeeter (m^2), s. o. niisuguse ruudu pindala, mille külje pikkus on 1 m, ruutsentimeeter (cm^2) jne.

Nagu geomeetriast teame, on sagedasti võimalik arvutada kujude pindala üksikute kujuga seotud joonte pikkuste (pikkus, laius jne.) abil. Nii näiteks võrdub ruudu pindala vastavais ühikuis külje pikkuse ruuduga, kolmnurga pindala — aluse ja kõrguse korrutise poolega, ringi pindala — πR^2 jne. Selle põhjal võime kergesti leida ruutühikute suuruste suhted, kui on teada neile vastavate joonühikute suhted. Näiteks:

$$1\ m^2 = 100\ dm^2 = 10\,000\ cm^2 = 10^6\ mm^2;$$
$$1\ km^2 = 10^6\ m^2;$$
$$1\ \text{ruuttoll} \approx 6{,}5\ cm^2\ \text{jne.}$$

1. Tuleta meelde kõik geomeetrias õpitud kujundite ja kehade pindala mõõtmisviisid!

2. Seleta, kuidas on võimalik tarvitada mm-paberit ja kaalumist pindala määramiseks.

3. Inglise väljamôôtmise ühik aakr on 4 840 ruutjardi (1 jard = 3 jalga); meetermõõdustiku vastavaks pinnaühikuks on hektar, mille suurus $10^4 m^2$. Võrdle aakrit hektariga ning vakamaaga ($\sim$ 800 ruutsülda).

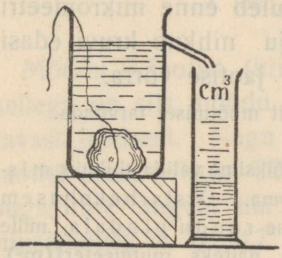
8. Ruumala mõõtmine. Ruumala mõõtmiseks tarvitame kuupühikuid, nagu kuupmeeter **(m^3)**, kuupsentimeeter **(cm^3)** jne., s. o. niisuguste kuupide ruumalasid, mille servad on vst. 1 m, 1 cm jne. Geomeetriast teame, kuidas mõõdetakse korrapäraste kehade (kuup, rööptahukas jne.) ruumala. Selleks on vaja ära mõõta üksikud kehaga seotud karakteristlikud jooned (pikkus, laius, kôrgus). Nii näiteks võrdub kuubi ruumala vastavais ühikuis serva pikkuse kuubiga, silindri ruumala — aluspinna ja kõrguse korrutisega, kera ruumala — $^4/_3\pi R^3$ jne. Selle põhjal on kerge leida suhted üksikute kuupühikute vahel, kui on teada neile vastavate joonühikute suhted. Näiteks:

$$1\ \mathbf{m^3 = 1\,000\ dm^3 = 10^6\ cm^3 = 10^9\ mm^3}\ \text{jne.}$$

Kuupdetsimeeter kannab nime **liiter (*l*)** ja teda tarvitatakse vedelikkude môôtmiseks.

$$\mathbf{1\ liiter \approx \frac{4}{5}\ toopi \approx 4\ klaasi.}$$

Vähema vedeliku hulga ja väikeste mitte-korrapäraste kehade ruumala mõõtmine on hõlpus **mõõtklaasi** ehk **mensuuri** abil. Samaks otstarbeks tarvitatakse ka **ülevoolu-anumat** (6. joon.). — Seleta, kuidas tuleb tarvitada mõlemat riista ruumala mõõtmisel.



6. joon. Mensuur ja ülevoolu-anum.

1. Tuleta meelde kôik geomeetrias käsiteldud kehade ruumala määramisviisid.

2. Kirjuta üles avaldis, mis mõõdab Maa ruumala cm^3-tes.

3. Mitu pange on 1 m^3? Mitu liitrit on panges?

4. Inimene hingab sisse korraga umbes 500 cm^3 õhku. Mitu m^3 õhku hingab sisse inimene 1 tunni (ööpäeva) jooksul?

9. Mass. Meil on igapäevases elus alatasa tegemist mitmesuguste asjade ehk **füüsiliste kehadega**, nagu laud, raamat, vesi, õhk, sulg, kivi jne. Igal füüsilisel kehal on oma **kuju, suurus** ja **koht ruumis**. Nende kolme olulise tunnuse abil on meil alati võimalik eraldada üht keha teisest. Kõik füüsilised kehad ehk lihtsalt kehad koostuvad ühest või teisest **ainest**.

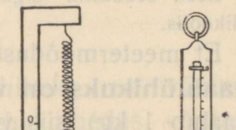
N i m e t a m e a i n e h u l k a, m i l l e s t k e h a k o o s t u b, k e h a **massiks**. Käega mitmesuguseid kehi liikuma tõugates tunneme, et keha massi oluliseks omaduseks on **vastupanu,** mis ta avaldab **liikumapanemisel**. Sama tõuke mõjul hakkab paigalseisvaist kehadest kõige kiiremini liikuma see, mille mass kõige väiksem. See kehade omadus on aluseks nende masside võrdlemisel.

Too näiteid selle kohta (suure ja väikese kivi viskamine jne.)!

10. Raskus. Võtame kätte mõne keha, näiteks kivi. Kivi tungib Maa poole ja rõhub kätt. Kui käsi alt ära võtta, langeb kivi maha. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste kehadega, nagu pliiats, kriit, raamat jne. N i m e t a m e k e h a t u n g i M a a p o o l e k e h a **raskuseks**.

Keha r a s k u s e s u u r u s e ehk **kaalu** üle otsustame kõige lihtsamalt selle rõhumise põhjal, mis keha avaldab meie lihastele. Et niisugune keha kaalu üle otsustamise viis on väga ebatäpne, tarvitatakse keha kaalu täpsemaks määramiseks sellekohaseid riistu — kaalusid. Lihtsaim neist on vedrukaal (7. joon.), kus terasvedru tema otsa riputatud kehade raskuse mõjul korrapäraselt pikemaks venib ja pikenemise suurus antud keha kaalu üle lubab otsustada.

Ehita endale vedrukaal!



7. joon. Vedrukaalud.

11. Side massi ja raskuse vahel. On selge, et samast täiesti ühtlasest ainest, näit. vesi, tina jne., koostuvad kehad, kui nad on võrdsed ruumalalt, peavad olema ka võrdsed oma massilt. Nii on iga liitri vee ainehulk ehk mass sama — 1 kg. Katse näitab, et sel juhul on kehad võrdsed ka kaalult. Võrdmassilisi kehi kaaludes näeme, et keha massi suurenedes 2, 3 . . . korda suureneb ka nende kaal vastavalt 2, 3 . . . korda, s. o. **kehade kaal on võrdeline massiga**. Siit järgneb, et k a a l u l t v õ r d s e d k e h a d o n k a v õ r d m a s s i l i s e d. See kehade omadus võimaldab masse kaalumise abil võrrelda, mis väga tähtis, sest kaalud mõõdavad ainult kehade tungi Maa poole.

Keha massi ja kaalu vahel tuleb kindlasti vahet teha. Kuna keha m a s s o n j ä ä v, o l e n e b k e h a k a a l k a u g u s e s t m a a p i n n a s t ja väheneb kauguse suurenedes. Ka on pooluse lähedal Maa pöörlemise (kesktômbetung) ja lapikuse (lähemal tsentrile) tôttu kehade kaal veidi suurem kui ekvaatori lähedal. Samuti teame, et näiteks vedrukaalu otsa riputatud asi kaalusid kiiresti üles tôstes rohkem ja alla lastes vähem näib kaaluvat kui paigal seistes, kuna mass jääb muutmatuks. Seepärast tuleks täpsemalt nimetada keha kaaluks rôhumise suurust l i i k u m a t a a l u s e l e.

Vees kaalub keha vähem kui ôhus (Arhimedese seadus), Kuu pinnal 6 korda vähem ja Päikese pinnal 28 korda rohkem kui Maa pinnal. Kuidas on lugu sel juhul massiga ?

B

12. Massi- ja kaaluühikud. Massi mõõtmise põhiühikuks meetermõõdustikus on **kilogramm** ehk **kilo (kg)**, m i s o n p l a a t i n a- j a i r i i d i u m i s u l a t i s e s t v a l m i s t a t u d k e h a (vihi) — r a h v u s v a h e l i s e a l g k i l o g r a m m i — m a s s. 1 dm^3 p u h t a v e e m a s s 4^0 C j u u r e s v õ r d u b l i g i k a u d u (27 mg v ä h e m) ü h e k i l o g a.

Esimene algkilogramm valmistati a. 1799, s. o. ühel ajal algmeetriga. Sellest algkilogrammist valmistati rahvusvahelise komisjoni järelevalvel vôimalikult täpne koopia, mille a. 1889 Pariisis ärapeetud Üldine Mõõtude Konverents tunnustas rahvusvaheliseks algkilogrammiks ja pani hoiule Breteuil paviljoni Sèvre'is.

Eesti seaduslik algkilogramm samuti kui algmeetergi hoitakse alal Tartu ülikoolis.

Et meetermõõdustikus, samuti ka teistes mõõtude süsteemides, **kaaluühikuks on võetud ühe massiühiku kaal** (1 kg massi kaalub 1 kg), siis väljendub keha mass ja kaal, vastavais ühikuis mõõdetud, alati sama arvuga; näiteks keha, mille mass 5 kg, kaalub 5 kg, jne. Seepärast meie ei teegi igapäevases elus vahet sõnade massi ja raskuse vahel: kui meie poemehelt küsime „palju leib kaalub" (näiteks 3 kg), siis ei huvita meid põrmugi leiva tung Maa poole, vaid leiva aine, mass. Ka selles raamatus ei tee meie vahet samanimeliste massi- ja kaaluühikute, näiteks kg, nael jne., tähistamisel. Lause mõttest selgub isegi, kas on antud juhul tegemist keha massi või kaaluga.

Kilost suuremad ja väiksemad massi- ning kaaluühikud on:

1 tonn (t) = 1000 kg ;
1 gramm (g) = 0,001 kg ;
1 milligramm (mg) = 0,001 g.

1000 mg = g 1000 g = 1 kg

1000 kg = 1 t

Võrdluseks endiste vene mõõtudega on kasulik meeles pidada järgmised ligikaudsed suurused:

1 kg $\approx$ **2,5** (t. 2,44) **naela;**

1 t $\approx$ **61 puuda;**

1 nael $\approx$ **400** (t. 409,5) **g;**

1 puud $\approx$ **16 kg.**

Eesti Vabariigi 1931/32. eelarveaasta korralised kulud on 80 613 000 krooni. Mitu tonni kulda peaksime ära müüma selle summa saamiseks, kui 1 g kulda maksab 250 senti?

13. Tihedus ja erikaal. Katse näitab, et võrdruumilised kehad ei ole harilikult mitte võrdmassilised, järelikult ka mitte sama rasked. Nii näiteks on 1 cm^3 vee mass 1 g, 1 cm^3 tina mass 11,3 g, 1 cm^3 raua mass 7,8 g jne. Need arvud on aine kohta väga karakteristlikud ja määravad ära ta **tiheduse.** Üldse **keha tiheduseks nimetame selle keha ühe kuupsentimeetri massi grammides.** Seega siis on **vee tihedus 1** $\frac{g}{cm^3}$ (loe: 1 gramm kuupsentimeetri kohta), tinal 11,3 $\frac{g}{cm^3}$, raual 7,8 $\frac{g}{cm^3}$ jne. Tähistades keha massi g-des **m**-ga (ladina keeles *massa* — mass), ruumala cm^3-tes **v**-ga (l. k. *volumen* — ruumala), saame tiheduse **d** (l. k. *densitas* — tihedus) kui ühe ruumühiku massi määramiseks valemi:

$$d = \frac{m}{v} \left(\frac{g}{cm^3}\right).$$

Massi- ja kaaluühikute valikust (kaaluühikuks on võetud massiühiku kaal) järgneb, et arvuliselt on keha tihedus võrdne **erikaaluga**, mis näitab, mitu g **kaalub** üks kuupsentimeeter seda keha. Tähistades keha kaalu grammides **p**-ga (l. k. *pondus* — raskus, kaal), ruumala cm^3-tes **v**-ga, saame erikaalu **e** määramiseks valemi:

$$e = \frac{p}{v} \left(\frac{g}{cm^3}\right).$$

Et vee erikaal on 1 $\frac{g}{cm^3}$, siis näitab iga teise keha erikaal (ühe ruumühiku kaal), mitu korda on antud keha veest raskem.

Keha kaalu määrame kaalude abil, ruumala kas geomeetrilisel teel või mensuuri ehk ülevoolu-anuma abil. On keha kaal ja ruumala leitud, siis pole raske arvutada neist arvudest keha erikaalu (vst. tihedust).

Nagu valemist näha, oleneb keha tihedus massist, erikaal — ta kaalust. Nagu varemini nägime, on keha mass jääv, raskus aga mitte. Mis võime sellest järeldada tiheduse ja erikaalu kohta? Missuguse kaaluga peaksime kaaluma, et vahe oleks tunda?

Erikaalude (tiheduste) tabel.

Plaatina	$21{,}4 \frac{g}{cm^3}$	Kuusepuu	$0{,}5 \frac{g}{cm^3}$
Kuld	19,3 „	Kork	0,2 „
Tina	11,3 „		
Hõbe	10,5 „		
Vask	8,9 „	Elavhõbe	13,6 „
Raud	7,8 „	Väävelhape	1,84 „
Inglistina	7,3 „	Glütseriin	1,26 „
Tsink	7,1 „	**Vesi (4^0 C)** . . .	**1,00** „
Marmor	2,7 „	Petrooleum	0,8 „
Alumiinium	2,7 „	Piiritus	0,79 „
Klaas	2,5 „	Eeter	0,72 „
Jää	0,9 „	Vesi	1
Tammepuu	0,8 „	Õhk	0,0013 „

1. Telliskivi pikkus on 24 cm, laius 12 cm ja paksus 6 cm ning kaalub 4 kg. Leida selle telliskivi erikaal.

2. Kui palju kaalub ruutmeeter telliskividest tehtud seina, mille paksus 75 cm (v. eelmine ülesanne)?

3. Põllukivi tükikese mass on 31 g, ruumala 12,4 cm^3. Leida tihedus.

4. Maa keskmine tihedus on $5{,}5 \frac{g}{cm^3}$. Arvuta Maa mass tonnides (keskmine raadius 6 371 km).

5. Mitu kg kaalub kivi, mille ruumala on 600 cm^3 ja erikaal $2{,}5 \frac{g}{cm^3}$?

6. Inimese keskmine erikaal on ligikaudu $1 \frac{g}{cm^3}$ (too tõendisi selleks). Leia enda ruumala liitrites!

7. Kas võib inimene oma kaalu ning erikaalu muuta? Aga massi?

8. Mitu kg kaaluks sinu marmorist kuju loomulikus suuruses?

9. Kui palju kaalub kuupmeeter vett, korki, pang (12 *l*) elavhõbedat?

10. Leida 3 kg petrooleumi ruumala.

11. Raudpomm kaalub 1 kg. Leida selle pommi ruumala cm^3-tes.

12. Kui palju kaalub 6. joon. kujutatud keha, tinatükk, kui ta 120 cm^3 vett ülevoolu-anumast välja tõrjub?

13. Ülesannete lahendamisel on sagedasti kasulik väljendada tihedust ja erikaalu mitte $\frac{g}{cm^3}$ kohta, vaid $\frac{kg}{dm^3}$, $\frac{t}{m^3}$, $\frac{mg}{mm^3}$ kohta jne. Kas jäävad tabelis antud arvud seejuures endisteks? Sei't

14. Aja mõõtmine. Aja mõõtmise ühikuks on sekund, mis võrdub $\frac{1}{86.400}$ keskmisest päikese ööpäevast. Sekundilisi ajavahemikke saame kaunis õieti tekitada pendli abil, mille pikkus on 1 m (õigemini 99,5 cm). Niisugune pendel tarvitab ühest äärmisest asukohast teise liikumiseks ühe sekundi ja nimet. seepärast sekundpendliks. Siiani

15. Põhiühikud. Nagu nägime, on võimalik pind- ja ruumala-ühikuid tuletada pikkuseühikute (cm^3, m^2 jne.), samuti tihedust massi- ja ruumalaühikute (g, cm^3) abil jne. Ühikud, mille abil kõik füüsikaliste suuruste mõõtühikud lasevad endid väljendada, nimet. p ô h i ü h i k u i k s. Niisuguseiks pôhiühikuiks füüsikas on võetud pikkuseühik sentimeeter (C), massiühik gramm (G) ja ajaühik sekund (S). Nagu edaspidi näeme, lasevad peaaegu kôik teised füüsikalised ühikud endid väljendada nende kolme põhiühiku abil. Seepärast nimet. neil kolmel pôhiühikul rajatud füüsikaliste môôtühikute süsteemi sentimeeter-gramm-sekund (lühidalt CGS) ehk absoluutseks ühikute süsteemiks.

1. Nimeta meetermõõdustiku ja CGS ühikute süsteemi hääd küljed!

2. Näita, et CGS süsteemis resultaadi nimetise saamiseks tuleb antud arvude nimetistega teha samad tehted kui arvude endiga.

1 ksm³ 4 Siia

1t = 4 kg

Mehaanika põhimõisteid

16. Liikumine ja paigalolek. Keha, mis oma asukohta teise keha suhtes muudab, **liigub** selle teise keha suhtes. Keha, mis mõne teise keha suhtes oma asukohta mitte ei muuda, **on** selle teise keha suhtes **paigal**. Sama keha võib ühe keha suhtes liikuda, teise keha suhtes olla paigal; nii näiteks reisija võib olla raudteevagunis paigal vaguni suhtes, kuid liikuda maa suhtes jne. Liikumisest ja paigalolekust kõneldes peame alati küsima, missuguse keha suhtes toimub antud liikumine või paigalolek, sest meie tunneme ainult suhtelist ehk relatiivset liikumist ja suhtelist paigalolekut.

Too näiteid suhtelise liikumise ja paigaloleku kohta!

17. Liikumiste liigitamine. Paneme tähele raudteerongi liikumist. Ütleme, et jaamast välja sõites liigub rong edasi esimese sekundi jooksul 0,2 m, teise sekundi jooksul 0,3 m, kolmanda sekundi jooksul 0,5 m jne.; kaks minutit pärast jaamast väljasõitu liigub rong igas sekundis 14 m edasi. Liikumist, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes, näiteks sekundites, ära käib võrdsed teeosad, näiteks 80 cm, nimet. **ühtlaseks** liikumiseks. Liikumist aga, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes ära käib mittevõrdsed teeosad, nimet. **mitte-ühtlaseks** liikumiseks.

Inimesel on võimatu tekitada kauemat aega kestvat täitsa ühtlast liikumist. Looduses on ühtlastest liikumistest meile kõige rohkem tuntud Maa pöörlemine ümber telje.

1. Kuidas liigitatakse liikumised tee kuju suhtes! Too näiteid!
2. Too näiteid ühtlase ja mitte-ühtlase liikumise kohta.

18. Ühtlase liikumise kiirus. Kui jalamees ühtlaselt kõndides igas tunnis 5 km ära käib, siis ütleme, et jalamehe liikumise **kiiruse suurus** o n 5 k m t u n n i s (lühidalt kirjutatud: $5\frac{km}{h}$); kui vesi jões igas sekundis 80 cm edasi voolab, siis on j õ e v o o l u k i i r u s e s u u r u s 80 c m s e k u n d i s (lühidalt: $80\frac{cm}{sek}$) jne. Üldse nimetame **kiiruse suuruseks tee pikkust, mis keha ära käib ühe ajaühiku jooksul.**

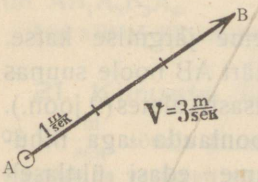
Sellest järgneb, et ühtlaselt liikuva keha

$$\textbf{kiiruse suurus} = \frac{\textbf{käidud tee pikkus}}{\textbf{vastav aeg}}.$$

Tähistame üldises kujus vastavais ühikuis mõõdetud kiiruse suuruse tähega **v** (ladina keeles *velocitas* — kiirus), käidud tee pikkuse tähega **s** (l. k. *spatium* — ruum, kaugus) ja aja tähega **t** (l k. *tempus* — aeg), siis võime eelmise reegli üles kirjutada lühidalt järgmiselt:

$$v = \frac{s}{t}, \text{ millest järgneb: } \mathbf{s = vt} \text{ ja } \mathbf{t} = \frac{s}{v}.$$

Ainult kiiruse s u u r u s e põhjal ei saa veel otsustada, kus kohal asub liikuv keha liikumise aja lõpul; selleks on vaja veel teada, missugust teed mööda ja mis suunas (kuhu poole) keha liigub. Keha liikumise suund loetakse ühtlasi ka **kiiruse suunaks.**



8. joon. Kiiruse graafiline kujutamine.

Kiiruse suuna ja suuruse näitlikult kujutamiseks tarvitatakse noolt (8. joon.), kus noole suund (AB) näitab kiiruse suunda ja noole pikkus on võrdeline kiiruse suurusega, näiteks kiirus AB ehk $v = 3\frac{m}{sek}$.

On selge, et ühtlase liikumise kiirus on jääv.

1. Jalamees käib ühtlaselt 15 minutiga 1,25 km. Kui suur on ta kiirus $\frac{km}{h}$, $\frac{m}{min}$ ja $\frac{cm}{sek}$ kohta?

2. Taskukella minutiosuti pikkus on 2 cm, sekundiosuti pikkus 1,5 cm. Kui suur on osutite otste kiirus $\frac{mm}{sek}$ kohta?

3. Valguse kiirus on $300\,000\frac{km}{sek}$. Mitme minutiga jõuab valgus Päikeselt Maani, kui Päikese kaugus Maast on 149 500 000 km? Vasta sama küsimus Kuu kohta, kui Kuu kaugus Maast on 384 400 km.

4. Kuidas on võimalik mõõta jõe voolu kiirust?

5. Kui pikk on n. n. valguseaasta, s. o. tee, mis valgusekiir ära käib ühe aasta jooksul?

Märkus. Kõige lähema seni tuntud kinnistähe kaugus Maast on 4,3 valguseaastat.

6. Kui suure kiirusega liigub Maa ümber Päikese?

7. Kui suur on ekvaatoril asuvate asjade kiirus Maa pöörlemisel ümber telje? Ekvaatori raadiuse pikkus on 6 378 km.

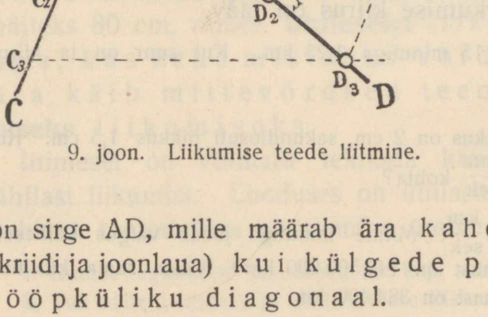
19. Mitte-ühtlane liikumine. Keskmine kiirus.

Tallinnast Tartu on raudteed mööda 190 km. Selle tee ärasõitmiseks tarvitab kiirrong 5 tundi. Jagades tee pikkuse tema ärasõitmiseks tarvitatud ajaga, saame n.n. **keskmise kiiruse**, mis karakteriseerib seda liikumist. Antud juhul on kiirrongi keskmine kiirus $38\frac{km}{h}$. On selge, et mitte-ühtlase liikumise kiirus ei ole jääv, vaid muutub järjest. Liikumist, kus kiirus suureneb, nimet. **kiirenevaks**, liikumist, kus kiirus väheneb — **tasanevaks** liikumiseks.

1. Too näiteid mitte-ühtlase (kiireneva, tasaneva) liikumise kohta!
2. Nimeta mõned tuntud liikumiste keskmised kiirused!
3. Jälgi ja kirjelda enda kooli minemise ja koolist koju tulemise kiirust!

20. Liikumise teede liitmine.

Teeme järgmise katse. Tõmbame kriidiga ühtlaselt mööda joonlaua äärt AB noole suunas otsast A alates (9. joon.). Joonlauda aga nihutame edasi ühtlaselt ning rööbiti oma esialgse asukohaga AB nõnda, et joonlaua ots A asuks alati sirgel AC. Kui mõlemad liikumised algavad samal momendil, siis näeme, et kriidi tee tahvli suhtes on sirge AD, mille määrab ära kahe antud liikumise (kriidi ja joonlaua) kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaal.



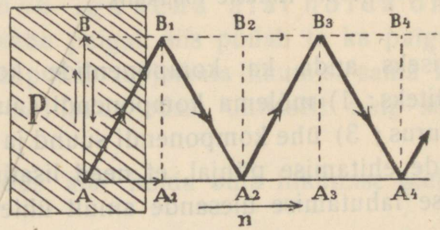
9. joon. Liikumise teede liitmine.

Samale tulemusele jõuame küsimust ka geomeetriliselt käsitelles. Kui joonlaud seisaks paigal, siis oleks kriiditükk edasi liikudes esimese ajavahemiku lõpul punktis B_1, joonlaud aga liigub ja kannab kriiditüki esimese ajavahemiku lõpuks punkti D_1; samuti võime näidata, et teise ajavahemiku lõpul peab kriiditükk asuma punktis D_2 jne.

Kõikide asukohtade (D_1, D_2, D_3 jne) geom. kohaks on sirge AD. Tõenda seda kolmnurkade sarnasuse põhjal!

Tee eelpoolkirjeldatud katse pliiatsi ja joonlauaga paberil!

Liikumisteede liitmise näitena vaatame veel järgmise juhu. Parv P (10. joon.) liigub ühtlaselt noole n suunas. Parvel jalutab reisija ühtlaselt edasi-tagasi mööda joont AB. Selle aja sees, kui reisija jõuab *A*-st B-sse, liigub parv edasi AA_1 võrra ja reisija ei asu seetõttu enam mitte B-s, vaid punktis B_1. Sedaviisi edasi arutades näita, et reisija tee jõe suhtes on $AB_1A_2B_3A_4$.



10. joon. Liikumisteede liitmine liikuval parvel.

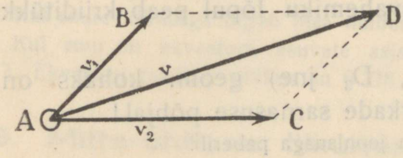
Too näiteid liikumisteede liitmise kohta!

21. Kiiruste liitmine ja lahutamine. Jõe voolu kiirus on $0{,}6 \frac{m}{sek}$, sõudja kiirus seisvas vees $1{,}8 \frac{m}{sek}$. Leida sõudja kiirus kalda suhtes päri- ja vastuvett sõudes.

Too näiteid sama- ja vastassuunaliste liikumiste liitmise kohta ning tuleta reegel nende liitmiseks!

Et kiirus näitab ühe ajaühiku jooksul liikumisel käidud teed oma suunalt ja suuruselt, siis on liikumisteede liitmise reegel maksev ka kiiruste liitmisel, s. o. *kahest liikumisest koostuva liit- ehk resultantliikumise kiirus võrdub alati oma suuruselt ja suunalt liidetavate ehk komponentliikumiste kiiruste kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaaliga.*

Ümberpöördult liitmisele on vahel vaja *lahutada* antud kiirus (v) kaheks komponendiks, s. o. leida kaks niisugust kiirust (v_1 ja v_2), mille resultant oleks antud kiirus (11. joon.). Nagu selgub liitmise reeglist, tuleb kiiruse lahutamisel, kui liitmisele ümberpöördud tegevusel, ehitada rööpkülik antud diagonaali AD põhjal. Tipust A väljuvad küljed AB ja AC ongi otsitavad komponentkiirused. Et antud diagonaali põhjal, kui teisi lisatingimusi pole, saab ehitada lõpmata palju rööpkülikuid, siis tuleb ülesande piiramiseks anda ka komponentide kohta mõned lisatingimused, näiteks: 1) mõlema komponendi suund; 2) mõlema komponendi suurus; 3) ühe komponendi suund ja suurus jne. Näita kolmnurkade ehitamise põhjal, et need lisatingimused on küllaldased kiiruse lahutamise ülesande ainult ühteviisi lahendamiseks.



11. joon. Kiiruste rööpkülik.

1. Mispoolest eraldub kiiruste liitmine ja lahutamine samanimelisist tehteist aritmeetikas?

2. Kuidas tuleks 3, 4 jne. kiirust (liikumist) liita või ümberpöördult — antud kiirus (liikumine) 3, 4 komponendiks lahutada?

3. Reisija jalutab risti mööda vagunit edasi-tagasi. Missugune on reisija tee raudtee suhtes?

4. Näita, et resultantkiirus ei olene komponentkiiruste liitmise järjekorrast.

5. Jõe laius on 72 m, voolu kiirus $1{,}2\frac{\text{m}}{\text{sek}}$, sõudja kiirus seisvas vees $1{,}5\frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kui palju tarvitab sõudja aega, et kõige lühemat teed pidi sõita kord üle jõe ja tagasi?

6. Kas on võimalik ujuda üle jõe otse risti kaldale, kui voolu kiirus on $5\frac{\text{km}}{\text{h}}$, ujuja kiirus seisvas vees aga $4\frac{\text{km}}{\text{h}}$?

X

22. Inerts. Igapäevaste nähtuste tähelepanemisest teame, et ükski paigalolev keha ei hakka liikuma ilma põhjuseta — iseendast. Nii näiteks paigalolev raamat laual või kivi põllul ei hakka liikuma enne, kui ta saab mingisuguse tõuke, mis ta paigalolekust välja viib; jaama-esisel seisev rong ei hakka enne liikuma, kui vedur teda tõmbab, jne.

Samuti teame ka, et ükski liikuv keha ei jää seisma iseendast ilma põhjuseta, ega muuda oma liikumissuunda ega kiirust. Tahame kiire jooksu pääl äkki seisma jääda või kõrvale pöörduda, peame tarvitama kaunis tugevat lihaste pingutust; raudtee-rongi seismajätmiseks tarvitatakse pidurit; maad mööda veerev kivi jääb seisma hõõrumise mõjul jne.

Neid kaht kehade omadust võime kokku võtta järgmises lauses, mida nimetatakse inertsiseaduseks: **iga keha püüab kas paigal püsida või liikuda ühtlaselt ning sirgjooneliselt niikaua, kuni mõni põhjus seda olekut ei muuda.**

Selle seaduse järgi püüab iga keha alal hoida oma liikumise olekut: on keha paigal, siis püüab ta ka paigale jääda; liigub aga keha, siis püüab ta jatkata liikumist sama kiirusega ja samas suunas, s. o. liikuda edasi ühtlaselt ning sirgjooneliselt.

See üldine kehade omadus alal hoida oma liikumise olekut nimet. **inertsiks.**

Lihtsad tähelepanekud näitavad, et keha inertsi suurus oleneb massist. Mitmesuguse massiga kehi sama kiirusega liikuma tõugates näeme, et inerts on seda suurem, mida suurem on keha mass.

1. Kui sõiduk äkitselt liikuma hakkab, langevad reisijad tahapoole. Äkitselt seismajäämisel toimub vastupidine nähtus. Mispärast?
2. Kuidas tuleb liikuvalt sõidukilt maha hüpata?
3. Mispärast tolm kloppimisel riiete seest välja tuleb?
4. Mispärast kirvest või luuda varre otsa pannes varre pihta koputatakse?
5. Mispärast on hobusel raske paigalolevat koormat liikuma tõmmata?
6. Kui veega täidetud klaasi äkitselt liikuma või seisma panna, läheb vett üle ääre maha. Mispärast ja kuhu poole?
7. Mispärast ei saa raudtee-rongi järsku seisma jätta ega liikuma panna?
8. Meie teame, et Maa pöörleb oma telje ümber läänest itta. Mispärast maapinnalt üles hüpates meie samale kohale tagasi langeme, aga mitte üleshüppamiskohast lääne poole?
9. Too veel näiteid inertsi kohta! Süsti' Sual'

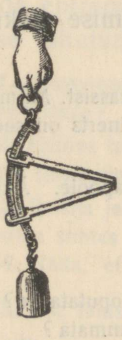
23. Tung ja selle mõõtmine.

Inertsiseaduse põhjal püüab iga keha alal hoida oma liikumise olekut.

Kui siiski keha liikumise olek muutub, siis peab selleks olema põhjus. Inertsiseaduse põhjal nimetame **tungiks** põhjuse, mis paigaloleva keha liikuma paneb või juba olemasolevat liikumist suuna või kiiruse suuruse poolest muudab.

Meile tuntud liikumise muutumise põhjused ehk tungid on: inimese ja loomade lihastetung, raskustung, magneti- ja elektritung, vetruvustung, hõõrumistung jne.

Tung ei muuda ainult keha liikumise olekut, vaid tungi mõjul võib muutuda ka keha kuju, s. o. tung võib tekitada kehas d e f o r m a t s i o o n i. Nii näiteks võime tungi mõjul keha pikemaks venitada, kokku suruda, painutada jne. Deformatsiooni suuruse põhjal otsustame ka deformeeriva tungi suuruse üle. Sellel omadusel põhjenebki raskustungi mõõtmine vedrukaalu abil, sest teatud piires on vedru pikenemine võrdeline venitava tungi suurusega. Nagu teame, mõõdetakse raskustungi suurust kaaluühikute (kg, g jne.) abil. Kõiki teisi tunge aga võime raskustungiga võrrelda, järelikult kaaluühikuis mõõta. Nii näiteks võime öelda, et antud magnetitungi suurus teatud kauguses oleva rauatüki külgetõmbamisel on 10 g, hõõrumistungi suurus kelgu liugumisel 5 kg, lihastetungi suurus kivitõstmisel 10 kg jne.



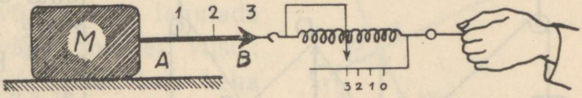
12. joon.
Dünamomeeter.

Pääle raskuseühikute on mehaanikas väga sagedasti tarvitatavaks tungiühikuks **düün,** mille suurus on $\sim 0{,}001$ (täpsemalt $\frac{1}{980}$) grammraskusest.

Riistu, mille abil saab mõõta tungi suurust, nimet. d ü n a m o m e e t r i t e k s (12. joon.). Selleks otstarbeks võib tarvitada ka iga kaalu.

1. Võrdle düüni milli- ja kilogrammiga!
2. Mitu düüni kaalud sina?
3. Mitu kg on 10^6 düüni (megadüün)?

24. Tungi graafiline kujutamine. Katsed näitavad, et tungi mõju kehasse oleneb tungi s u u r u s e s t ja ka sellest, k u s k o h a s ja m i s s u g u s e s s u u n a s antud tung mõjub kehasse. Keha punkti, milles tung otsekohe mõjub, püüdes teda liikuma panna või olemasolevat liikumist muuta, nimet. **tungi rakenduspunktiks**; suunda, milles tung rakenduspunkti liikuma püüab panna — **tungi suunaks.** Nii siis, t u n g o n t ä i e s t i t e a d a, kui on antud ta **rakenduspunkt, suund** ja **suurus.** Kõiki neid kolme tungi tunnust on võimalik näitlikult kujutada graafiliselt. Selleks valime noole AB (13. joon.), mille algus asub antud tungi rakenduspunktis A, suund näitab antud tungi suunda ja pikkus mahutab endas nii mitu mõõtu, kui mitu tungiühikut on antud tungi suuruses. 13. joon. kujutab nool AB tungi, mille suurus on 3 kg ja mis mõjub antud kehasse M rakenduspunktis A noole AB suunas.



13. joon. Tungi graafiline kujutamine.

Füüsikalised suurused, nagu kiirus, tung jne., mille täpseks määramiseks pääle suuruse (k u i p a l j u ?) peame teadma veel suunda (m i s s u u n a s ?), nimet. v e k t o r i l i s i k s s u u r u s i k s ja neid kujutavaid nooli v e k t o r e i k s.

25. Tasakaal. Võtame kätte kivi. Kivi tungib raskuse mõjul Maa poole, kuid ei saa mitte alla langeda, sest käe lihaste tung mõjub vastupidises suunas ja hoiab **tasakaalus** kivi raskustungi. Kivi jääb paigale.

Raudtee-rong liigub ühtlaselt ning sirgjooneliselt. Vedur tõmbab järjest ühteviisi, kuid kiirus ei suurene, sest veduri tõmbetung kulub selleks, et hoida tasakaalus kõiki rongi liikumise takistusi, nagu hõõrumist, õhu takistust jne., ja rong liigub inertsi mõjul ühtlaselt ning sirgjooneliselt.

T u n g i d o n t a s a k a a l u s, k u i n a d e i m u u d a k e h a l i i k u m i s e o l e k u t: paigalolev keha jääb tungide mõjust hoolimata paigale, ühtlaselt sirgjooneliselt liikuv keha jatkab oma liikumist samal viisil. — Kaks tungi, mis hoiavad tasakaalus ehk tasakaalustavad teineteist vastastikku, peavad olema võrdsed suuruse poolest, suuna poolest aga otse vastupidised, ning nimet. seepärast v õ r d v a s t u p i d i s e i k s.

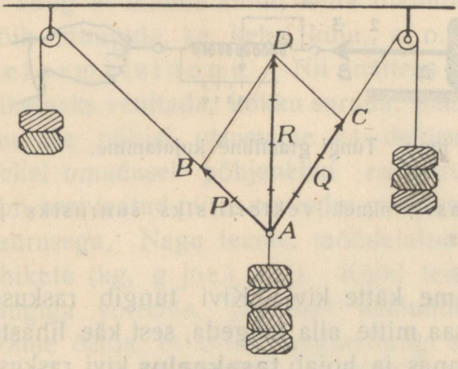
1. Too näiteid tasakaalustatud tungide kohta!
2. Kuidas kujutada graafiliselt võrdvastupidiseid tunge?

X siia

26. Tungide liitmine. Kui mitu tungi mõjuvad ühes ja samas suunas, siis on neid kerge liita, s. o. leida niisugune tung, mis üksinda antud kehasse avaldab samasugust mõju kui kõik antud tungid ühtekokku. Antud tungid nimet. **liidetavaiks** ehk **komponentideks,** liitmise resultaat — **resultandiks**. On selge, et ühes suunas mõjuvate 2 kg ja 3 kg kui komponentide resultant on 2+3, s. o. 5 kg. Järelikult, s a m a s u u n a l i s t e k o m p o n e n t i d e r e s u l t a n t v õ r d u b k o m p o n e n t i d e s u m m a g a.

9 E = 2450 f
S = 4

Võtame nüüd kaks tungi: P = 2 kg ja Q = 3 kg, mis on rakendatud mõlemad samas punktis A (14. joon.), kuid nende suunad moodustavad nurga BAC. Katse näitab, et niisugusel juhul on antud tungide P ja Q resultant R oma suunalt ja suuruselt P ja Q kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaal.



14. joon. Tungide rööpkülik.

1. Näita, et 14. joon. kujutatud katse vastab sellele juhisele.

2. Kuidas oleneb resultandi R suurus komponentide vahel olevast nurgast?

3. Kuidas tuleks samas punktis rakendatud 3 ja enam tungi liita?

4. Näita graafiliselt, et mitme komponendi liitmisest saadud resultant ei olene komponentide liitmise järjekorrast.

5. Leia graafiliselt järgmiste komponentide P ja Q resultandid, kui komponentide ja nende vahel oleva nurga A suurused on:

a) P = 3 kg, Q = 4 kg, A = 90°;

b) P = Q = 5 kg, A = 120°;

c) P = 5 Q = 12 kg, A = 90°;

d) P = 4 kg, Q = 6 kg, A = 60°.

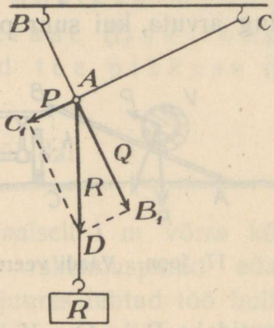
6. Rakenduspunktis A mõjuvad 4 tungi: põhjasuunas $P_1 = 17$ kg, idasuunas $P_2 = 12$ kg, lõunasuunas $P_3 = 13$ kg ja lääne suunas $P_4 = 9$ kg. Leia suunalt ja suuruselt nende resultant P!

7. Jälgi, kuidas muutub samas punktis rakendatud kahe võrdse komponendi resultant nende vahel oleva nurga muutudes. X siiani.

27. Tungide lahutamine. Antud tungi kui resultandi lahutamisel kaheks komponendiks ehk liidetavaks tuleb talitada täiesti analoogiliselt kiiruste lahutamisele, s. o. joonestada rööpkülik antud tungi kui diagonaali põhjal. Et sama diagonaali põhjal võib ehitada lõpmata palju erisuguseid rööpkülikuid, siis on antud tungi kaheks komponendiks lahutamine võimalik väga mitmel viisil. Ülesande piiramiseks tuleb anda mõned lisatingimused nagu kiiruse lahutamiselgi (missugused nimelt?).

Tahame näiteks teada, kui tugevasti on pingule tõmmatud 15. joon. kujutatud niidid AB ja AC, mille otsas ripub raskus R, siis lahutame raskuse R kui resultandi kaheks komponendiks niitide BA ja CA suunas. Komponendid P ja Q näitavadki otsitavat niitide AB ja AC pingulolekut.

Leia graafiliselt P ja Q suurus, kui R = 13 kg.

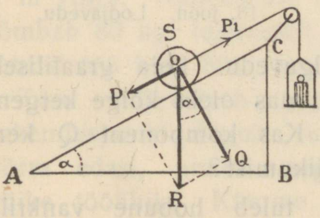


15. joon. Tungi lahutamine.

Nagu nägime, võib tungi lahutada komponentideks väga mitmel viisil; üldise reeglina tuleb juhul, kui keha tungi mõjul liigub, antud tung lahutada harilikult kaheks komponendiks nõnda, et ühe komponendi suunaks oleks võetud keha liikumissuund, kuna teise komponendi suund on sellega risti.

Tungide liitmise ja lahutamisega tuleb füüsikas väga sagedasti tegemist teha. Näitena rakendame saadud teadmised mõne meile tuntud nähtuse seletamiseks.

a. **Kaldpind**. Olgu kaldpinnal AC, mis moodustab rõhtpinnaga AB nurga α (16. joon.), raske silinder S. Lahutame silindri raskustungi R kui resultandi kaheks komponendiks: P ja Q.



16. joon. Kaldpind.

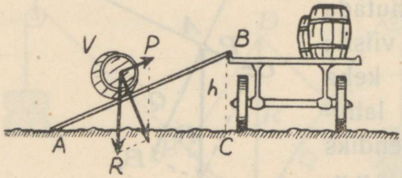
Komponent P on kaldpinnaga rööbiti ja püüab alla veerema panna silindrit mööda kaldpinda, komponent Q on kaldpinnaga risti ja rõhub ainult silindrit vastu kaldpinda. Tahame, et silinder püsiks kaldpinnal paigal, tuleb meil tasakaalustada ainult komponenti P, kuna komponent Q on kaldpinna vasturõhumisega isegi tasakaalustatud. Kolmnurkade sarnasuse põhjal (täisnurksed kolmnurgad, mille üks teravnurk võrdne) võime kirjutada:

$$P : R = BC : AC,$$

s. o. kaldpinnaga rööbitine komponent on nii mitu korda väiksem keha raskusest, kui mitu korda on kaldpinna kõrgus väiksem kaldpinna pikkusest.

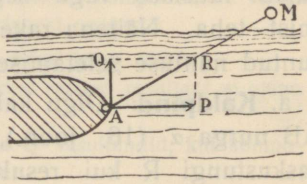
Kui näiteks nurk α on 30^0, siis $P : R = \frac{BC}{AC} = \frac{1}{2}$, kust $P = \frac{1}{2} R$. Sedaviisi on võimalik kaldpinnal suurt raskust tasakaalustada võrdlemisi väikese tungiga, mis leiab igapäevases elus palju praktilist tarvitamist.

b. Mõõda 17. joonisel kujutatud kaldpinna pikkus ja kõrgus ning arvuta, kui suur peab olema tung P, mis hoiaks tasakaalus vaati V, mille raskus R = 160 kg.



17. joon. Vaadi veeretamine.

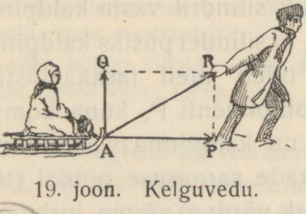
c. Lodjamees veab lotja vastuvett üles (18. joon.). Selleks tõmbab ta kaldal (M) nöörist. Tüür ei lase joosta lotja kaldale. Lahutame lodjamehe tõmbetungi R kui resultandi üldise juhise järgi komponentideks P ja Q. Komponent P on see, mis lotja edasi viib, kuna komponent Q mõjub liikumise suunale risti ja seepärast ei aita kaasa lodja edasiliikumisele ning tasakaalustub tüüri tegevusega.



18. joon. Lodjavedu.

Kuidas oleneb komp. P suurus Q-ga võrreldes lodja liikumise suuna ja nööri suuna vahel olevast nurgast? Mis suunas oleks kõige kasulikum tõmmata?

d. Analoogiliselt eelmisele ülesandele seleta 19. joon. kujutatud kelguvedu. Leia graafiliselt P ja Q suurus, kui R = 6 kg. Mis suunas oleks kõige kergem vedada? Kas komponent Q kergendab liikumist?



19. joon. Kelguvedu.

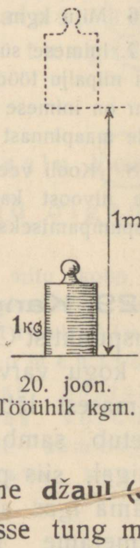
Kuidas tuleb hobune vankrile rakendada kõval, pehmel (liivasel) jne. teel, et kõige kergem oleks vedada?

28. Töö ja selle mõõtmine. Meie teeme tööd, kui tõstame kivi või mingisugust muud raskust, veame kelku, pumpame vett jne. Samuti teeb tööd hobune koormat vedades, aurukatel rehepeksu- või mõnd teist masinat ümber ajades, vesi ning tuul veskit käima pannes jne. Nagu neist näiteist selgub, tuleb töötegemisel alati ü l e t a d a mõnesugust t a k i s t u s t (raskustung, hõõrumine jne.). Ka on töötegemisel oluliseks tunnuseks asjaolu, et keha, millesse mõjub töötav tung, l i i g u b. Mida suurem on takistus ja mida kaugema maa pääl tuleb teda ületada, seda suurem on ka tehtud töö hulk. F ü ü s i k a s m õ õ d e t a k s e t ö ö h u l k a (u) t u n g i s u u r u s e (f) j a t u n g i r a k e n d u s p u n k t i p o o l t k ä i d u d t e e p i k k u s e (s) k o r r u t i s e g a, s. o.

$$\textbf{töö} = \textbf{tung} \cdot \textbf{tee,} \text{ ehk lühidalt}$$

$$u = fs$$

Kui me näiteks tõstame 1 kg vertikaalselt 1 m võrra kõrgemale, siis nihkub 1 kg-lise tungi rakenduspunkt edasi tungi suunas 1 m võrra (20. joon.). Seejuures tehtud töö hulka nimetame **kilogramm-meetriks (kgm)** ehk meeter-kilogrammiks (mkg), mis töö hulga mõõtmise ühikuna üldiselt tarvitusele võetud. Eelöeldust selgub, et 3 kg kõrgemale tõstmisel 2 m võrra teeme 3 · 2, s. o. 6 kgm tööd jne.



20. joon.
Tööühik kgm.

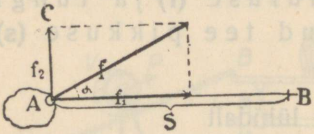
Üldiselt võime defineerida kgm-it kui töö hulka, mis teeb tung 1 kg, kui ta rakenduspunkt **tungi mõjumissuunas** edasi nihkub 1 m võrra. Näiteks, kui hobune vankrit edasi tõmbab 80 kg tugevuselt 5 m võrra, siis on tehtud töö hulk 80 · 5 ehk 400 kgm.

Töö, mille teeb tung 1 düün, kui ta rakenduspunkt liigub tungi suunas 1 cm võrra edasi, nimet. **ergiks**. Erg on väga väike tööühik. Kümme miljonit (10^7) ergi moodustab uue tööühiku, mis laialt tarvitusel iseäranis elektrivoolu töö mõõtmisel ja kannab nime **džaul (J)**.

Antud töö mõistest järeldub: kui keha, millesse tung mõjub, edasi ei liigu, vaid kogu aja püsib paigal, siis seejuures tung tööd ei tee. Nii näiteks ei tee tööd maja alusmüür seinu ülal hoides, raskustung maapinnal lasuvat kivi enda poole tõmmates jne.

„Liikumata“ paigal seistes, kätt kõrvale väljasirutatult hoides, vastu lauda rõhudes jne. väsime siiski, sellele vaatamata et meie füüsika mõttes seejuures tööd ei tee. Mispärast? Too veel selliseid näiteid!

Sagedasti moodustab tungi (f) suund rakenduspunkti edasiliikumise suunaga (AB) teatud nurga (21. joon.). Niisugusel juhul lahutame antud tungi f kaheks komponendiks: rakenduspunkti A edasiliikumise (AB) ja sellega risti (AC) suunas. Keha edasiliikumiseks mõjub ainult komponent f_1, kuna komponent f_2 mõjub edasiliikumise suunale risti. Seega siis on tungi f kasulik töö $u = f_1 s = fs \cos \alpha$, sest $f_1 = f \cos \alpha$.



21. joon. Töö mõiste üldjuhul.

1. Leia, kuidas mõõta töö hulka § 27. toodud näiteis (kaldpind, lodja- ja kelguvedu).

2. Kuidas oleks võimalik mõõta tööd, mis sa teed kelgu vedamisel (hobune koorma vedamisel jne.)?

3. Mitu kgm tööd teed sina esimeselt korralt teisele minnes, kui kordade vahe on 4 m?

4. Kumb on suurem: kas mg-cm või erg?

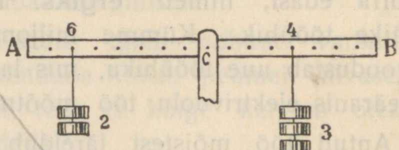
5. Väljenda kgm ergides ning võrdle teda džauliga!

6. Mitu kgm tööd kulub 0,24-tonnilise kivi tõstmiseks 50 cm võrra?

7. Inimese süda, verd mööda keha laiali surudes, teeb iga löögiga keskmiselt niipalju tööd, et selle töö arvel võiks 1 kg 9,6 cm kõrgusele tõsta. Kui suur on inimese südame ööpäeva jooksul tehtud töö hulk kgm-tes? Kui kõrgele maapinnast jõuaks inimene ennast tõsta selle töö arvel?

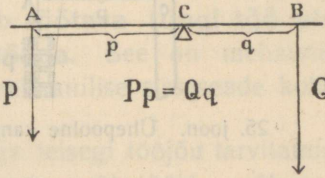
8. Kooli veevärgi reservuaar mahutab 1,2 m^3 vett ja asub 35 m kõrgemal vee nivoost kaevus. Mitu kgm (džauli) tööd kulub vähemalt reservuaari täispumpamiseks?

29. Kang. Võtame ühtlase sirge varva AB, mis annab raskuspunktist C läbimineva telje ümber vabalt pöörduda (22. joon.) Et kogu varva raskust võime kujutella rakendatud raskuspunktis viimasest läbiminev telg aga toetub sambale ning püsib paigal, siis peab ka varb AB jääma igas asendis tasakaalu. Nimetame niisuguse riista **kangiks,** punkti C, mille ümber kangi varb annab vabalt pöörduda, kangi t o e t u s p u n k t i k s.



22. joon. Kahepoolne kang.

Riputame ühele poole kangile 2 ühesugust koormist 6 ühiku kaugusele toetuspunktist. Kui tahame tasakaalustada kangi 3 sama suure koormisega, siis peame riputama need 3 koormist kangile teisele poole toetuspunkti 4 ühiku kaugusele. Ei ole raske tähele panna, et koormisi ja kaugusi näitavad arvud on seotud järgmiselt: $2 \times 6 = 3 \times 4$, s. o. mõlema poole koormise ning vastava kauguse korrutised on võrdsed. Koormisi ja nende rakenduspunktide kaugusi mistahes viisil muutes leiame, et eelmine korrapärasus jääb alati maksma.



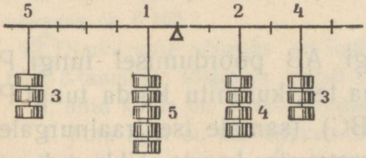
23. joon. Kangi tasakaal.

Rääkimise lihtsustamise otstarbel nimetame kangi toetuspunkti (C) kauguse tungi sihist tungi õlaks (23. joon.). Sellega oleks siis tungi P õlg kaugus AC ehk lühidalt p, tungi Q õlg BC ehk lühidalt q. Nimetame tungi suuruse ja ta õla korrutise tungi momendiks. Seda lühendatud väljendusviisi tarvitades võime kangi tasakaalu tingimuse sõnastada järgmiselt: kang on tasakaalus, kui mõlemal kangi poolel rakendatud tungide momendid on võrdsed, s. o.

$$Pp = Qq.$$

Sellest võrdusest järeldub: $\frac{P}{Q} = \frac{q}{p}$, s. o. tasakaalu korral on tungi suurused pöördvõrdelised õlgade pikkustega.

22. joon. kujutatud kangiga on lihtne näidata, et juhul, kui mitu (kolm ja rohkem) rööptungi on rakendatud kangile, siis kang on tasakaalus, kui tungide momentide summa, mis püüab pöörata kangi ühes suunas, võrdub tungide momentide summaga, mis püüab pöörata kangi vastassuunas.



24. joon. Mitme tungi moment.

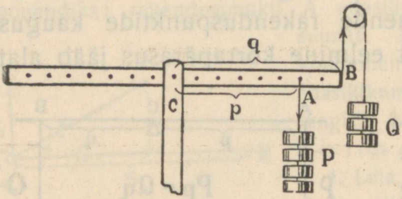
Näiteks, on 24. joon. kujutatud kang tasakaalus, sest

$$3 \cdot 5 + 5 \cdot 1 = 4 \cdot 2 + 3 \cdot 4$$

30. Kangide liigitamine. Eespool käsiteldud kangi nimet. kahepoolseks, sest tungid on rakendatud kahel pool toetuspunkti. 25. joon. kujutatud kang nimet. ühepoolseks, sest tungid P ja Q on rakendatud ühel pool toetuspunkti. Katse näitab, et ühepoolse kangi tasakaalu tingimuseks on samuti kui kahepoolselgi kangil tungide P ja Q momentide võrdus, s. o. $Pp = Qq$.

Mitme tungi juhul maksab sama reegel, mis kahepoolse kangi kohta.

1. Mis liiki kang on tangid, käru, käärid, ukselink, kaevuling, pumbaraud, tule- ja pähklitangid, päsmer ja inimese käsi?

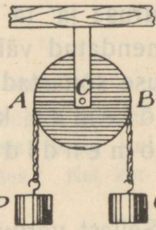


25. joon. Ühepoolne kang.

2. Ühepoolse kangi pikkus on 2 m. Temasse mõjuvad tungid 20 kg ja 30 kg, mis on tasakaalus. Kui pikk on lühem kangiõlg?

3. Plokk on keskpunktist läbimineva telje ümber vabalt pöörduv ketas, mille äärele tehtud soonest käib nöör üle (26. joon.). Nööri otstes mõjuvad tungid P ja Q, mille rakenduspunktideks on A ja B. Vaatle plokki kui kangi, mille toetuspunkt asub C-s, ja järelda sellest ploki tasakaalu tingimused (P = Q).

4. Mis liiki kang on kaalud? Rakenda kangi tasakaalu tingimused kaalude tasakaalu määramiseks! Mispärast kaalud tehakse võrdõlgsed? Kaalu üks õlg on 15 cm, teine 15,1 cm pikk. Poodnik kaalus niisuguse kaaluga ostjale 2 kg suhkrut. Kumb võitis ja kui palju, kui suhkur oli lühema õlaga vaekausil?

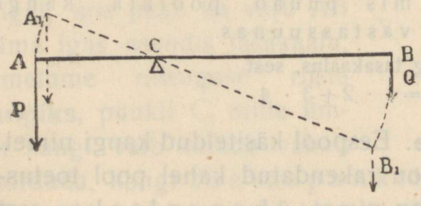


26. joon. Plokk.

31. Töö kangil.

Kangi tasakaalu tingimusist näeme, et kangi abil on väikese tungiga võimalik tasakaalustada suurt tungi ja ümberpöördult. Selleks on vaja valida tungi õlgade pikkused pöördvõrdeliselt tungide suurustega.

Nagu 27. joon. näha, käib kangi AB pöördumisel tungi P rakenduspunkt nii mitu korda lühema tee, kui mitu korda tungi P õlg (AC) on lühem tungi Q õlast (BC) (samale tsentraalnurgale vastavate kaarte pikkused on võrdelised raadiustega, s. o. $\smile AA_1 : \smile BB_1 = AC : BC$). *Tähendab, mitu korda võidame kangi abil tungi suuruse poolest, nii mitu korda kaotame tungi rakenduspunkti poolt käidud tee pikkuse poolest.* Et aga tungi suuruse ja selle rakenduspunkti edasinihkumise korrutis mõõdab tehtud töö



27. joon. Töö kangil.

hulka, siis järeldub sellest: tungide P ja Q poolt tehtud tööhulgad kangi nihkumisel ühest asendist teise on võrdsed. Tuleb kindlasti meeles pidada, et kangi, kaldpinna ega ühegi teise masina abil ei saa luua tööd mitte millestki, vaid ainult edasi anda olemasolevat töötagavara ühest kehast teise, seejuures **võrdub töötava tungi töö alati takistuse ületamisele kulutatud tööga.** See on mehaanika põhiprintsiip, mis on maksev iga mehaanilise sisseseade kohta.

32. Võimsus. Masinate kui iga teisegi tööjõu tarvitamisel peame teadma, kui suur on antud masina või tööjõu **võimsus**, s. o. töö hulk, mis masin või tööjõud võib teha 1 sek jooksul. Kui masin võib teha igas sekundis 75 kgm tööd, siis ütleme, et selle masina võimsus on **1 hobusejõud** (HP). Tugeva hobuse võimsus pikemat aega töötades on 1 HP, inimese võimsus aga $\sim 8\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$.

Võimsust, kus masin igas sekundis teeb 1 džauli tööd, nimet. **vatiks (W)**. Tuhat vatti on **1 kilovatt (kW)**.

Tööhulk, mis teeb masin võimsusega 1 kilovatt ühe tunni jooksul, nimet. **kilovatt-tunniks (kWh)**. Seda ühikut tarvitatakse harilikult elektri töö mõõtmisel.

1. Mitu vatti on 1 HP? Mitme inimese tööjõu asendab aurukatel, mille võimsus on 6 HP?
2. Narva kose võimsus on ligikaudu 75 000 HP. Mitu töömeest suudavad teha 8-tunnilise tööpäeva puhul sama palju tööd kui Narva kosk?
3. Mitu korda on hobuse võimsus inimese võimsusest suurem?
4. Mitu kgm on üks kilovatt-tund?
5. Leia inimese südame võimsus vattides (v. ülesanne 7, § 28).
6. Kui palju aega kuluks S.-Munamäe otsa tõusmiseks (relat. kõrgus 45 m), kui seda teha võimsusega 8 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$? inimese kaal 50 kg.
7. 1 kilovatt-tund (el.-voolu) tööd maksab (Tartus) 16 senti, inimese tööjõud aga 30 senti tund. Kumb tööjõud on odavam, oletades, et töölise võimsus on 8 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$? sek

33. Energia. Me teame, et töötegemisel tuleb ära võita ehk ületada mõnesuguseid takistusi, nagu raskustungi, hõõrumist, inertsi jne. Ilma takistuste ületamiseta ei ole tööd. Küsime nüüd, missugused kehad võivad teha tööd? Ligemalt tähele pannes näeme, et seda võib iga liikuv keha, nagu aurukatla hooratas masinaid ümber vedades, liikuv kahuri kuul kindlustisi lõhkudes jne. Liikuva keha võime teha tööd on seda suurem, mida suurem on keha mass ja ta liikumise kiirus. — Kuid see võime pole mitte ainult liikuvail kehadel, vaid ka inimese ja looma keha lihastel, ülestõstetud raskusil (kella pommid), kokkukeeratud vedrul (kella vedru), kuumal aurul katlas, lõhkeaineil (püssirohi, dünamiit) jne. Keha võimet tööd teha nimet. keha **energiaks** ja teda mõõdetakse kõige selle tööhulgaga, mis keha suudab teha. Nii siis on energia kehas oleva töö tagavara. Kõigis eelpool-toodud näiteis nimetatud kehadel on energiat.

Harilikult tehakse vahet kaht liiki energia vahel: **kineetiline** ehk **liikumisenergia** ja **potentsiaal-** ehk **seisuenergia**. Esimese, s. o. liikumise energia hulka kuulub: liikuva keha energia, soojus, üldse igasuguste kiirte energia ja elektrivoolu energia. Potentsiaal-energia hulka kuulub raskuse, vetruvuse, keemilise, elektrilaengu ja magneti ning lihaste energia.

34. Energia jäävuse seadus. Töötavaid kehi tähele pannes näeme, et tööd tehes väheneb keha energiatagavara, ta võime edaspidi tööd teha muutub järjest vähemaks. Nii näiteks heinaniitja kulutab niites oma energiat ja ta peab vahete-vahel sööma ja puhkama, et energiat koguda, samuti ka hobune koorma vedamisel; kella vedru kaotab kellavärgi ümbervedamisel pikkamisi oma pinguloleku ja meie peame aeg-ajalt vedru uuesti üles käänama, kui ei taha, et kell jääks seisma, jne.

Kas siis töötamisel kulutatud energia hävib? Ei. Iga töö tagajärjena ilmub kuski uus energia tagavara, kas sama või mõnda teist liiki: keha liikumapanemiseks ärakulutatud töö tagajärjena saame selle keha liikumisenergia, keha tõstmiseks kulutatud töö tagajärjena saame ülestõstetud keha potentsiaal-energia, hõõrumise ületamise tagajärjena — soojuse-energia jne.

Kui võrrelda töötegemisel äratarvitatud energia hulka selle töö hulgaga, mis ilmub töö tagajärjena, siis leiame, et mõlemad energia hulgad on võrdsed, s. o. mõlemate nende energia hulkade täielisel tööks moondamisel saaksime sama palju tööd. Selles seisabki n n. **energia jäävuse seadus**: niivõrd kui loodusenähtusi on järele uuritud, pole seni kuski tähele pandud energia hävimist, vaid ainult ta ekvivalentset moondumist ühest liigist teise.

Täpsed mõõtmised näitavad, et mehaanilise energia soojuseks muutumisel annab iga **427** kgm ühe kg-kalori soojust ja ümberpöördult. Selle põhjal võime alati arvutada, kui palju tööd on võimalik antud soojusehulga arvel saada.

1. Mispärast vasar ja alasi tagumisel lähevad soojaks, samuti saeleht saagimisel, puur puurimisel, traat painutamisel jne.?

2. Jälgi energia moondumist päikesekiirte energiast kuni elektrivalguseni.

3. Mis juhtuks siis, kui Maa oma liikumisel ümber Päikese jääks äkitselt seisma või kui kaks taevakeha põrkaksid kokku?

4. Katsed näitavad, et 1 kg kivisütt annab ära põledes umbes 8 000 kg-kalorit soojust. Oletades, et meil oleks võimalik veduri abil söe soojuse-energiat kõike otsekohe tööks moondada, leia, kui palju süsi läheks niisugusel juhul vaja raudtee-rongi vedamiseks Tartust Tallinna?

Oletame, et rong kaalub 200 tonni ja veduri tõmbetegevus on 0,5% rongi raskusest.

Märkus: Praegusel ajal muudavad paremad aurumasinad paremal juhul ainult 17% soojuse-energiast tööks.

Vedelikud

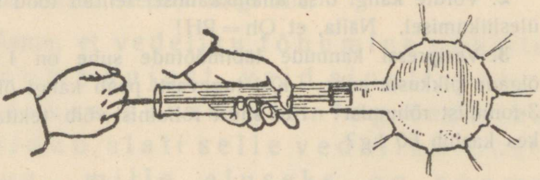
Rõhumise nähtused vedelikkudes

35. Vedelikkude üldomadused. Vedelikud (vesi, piiritus, petrooleum jne.) koostuvad osakesist, mis on üksteise suhtes kergesti liikuvad, seepärast puudub vedelikel kindel kuju. Vastandina gaasidele pole vedelikud kuigi suurel määral kokkusurutavad, neil on oma kindel ruumala. Sellele vaatamata on vedeliku-osakeste vahel tühja ruumi, mis näiteks järeldub piirituse ja vee segamiskatsest (1 liiter piiritust segatud 1 liitri veega annab 1,94 liitrit segu). Ka ei püsi vedeliku-osakesed paigal, vaid nad on alalises liikumises, mis järeldub segunemis-, auramis- jne. nähtusist. Osakeste kergest liikuvusest järeldub, et vedelik võib tasakaalustada ainult ta pinnaga risti (normaalselt) rakendatud tunge, mitte aga puuteliselt (tangentsiaalselt).

36. Rõhu edasiandumine vedelikus. Pascali seadus. Tool rõhub põrandat toolijala ja põranda kokkupuutumise pinnal, maja sein rõhub oma raskusega maja alusmüüri jne. Üldse võivad kõvad kehad anda edasi rõhumist peaaegu ainult teatud suunas.

Rõhumise suuruse üle otsustamiseks on vaja teada ühe pinnaühiku pääle mõjuva tungi suurus, näiteks 2 kg 1 cm^2 pääle ehk lühidalt 2 $\frac{kg}{cm^2}$, 5 naela 1 $toll^2$ pääle ehk 5 $\frac{nael}{toll^2}$ jne. Rõhumised on võrdsed, kui võrdsete pindade pääle mõjuvad võrdsed rõhumise tungid. Rõhumist 1 $\frac{kg}{cm^2}$ nimet. **tehniliseks atmosfääriks.**

Kuidas vedelikud rõhumist edasi annavad, seda näitab meile järgmine katse (28. joon.).

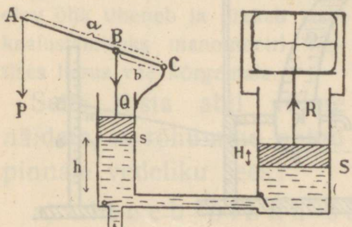


28. joon. Rõhu edasiandumine vedelikus.

Õõnes kera on ühendatud toruga, milles käib tihedalt edasi-tagasi kann. Täidame riista veega ja rõhume kannuga. Kera augukesist purskuvad nüüd veejoad igas suunas laiali. Kõik joad on ühetugevused; see näitab, et kannu rõhumine vees andub edasi igas suunas ühteviisi. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste vedelikkudega. Tähendab, **kõik vedelikud annavad rõhumist edasi igas suunas ja ühteviisi**. Selle vedelikkude põhiomaduse avastas prantsuse teadusemees Pascal (1623—1662), mispärast seda ka **Pascali seaduseks** nimetatakse.

1. Seleta, kuidas toimub rõhumise edasiandumine kangil.
2. Kuidas annavad rõhumist edasi herned, haavlid, viljaterad salves, linaseemned jne.? Katsu võrdluseks nende nähtustega selgitada rõhu edasiandumist vedelikes!
3. Tugeva hoobiga vedelikuga täidetud pudeli korgi pihta võib pudeli puruks lüüa. Mispärast?
4. Leia 1 $\frac{kg}{cm^2}$ ja 1 $\frac{g}{mm^2}$ suuruseline vahekord!

37. Vesipress. Pascali seadusel põhjeneb vesipressi ehitus. Selle riistaga on võimalik tekitada suuri rõhumisi. Vesipressi tegevus selgub 29. joon.



29. joon. Vesipress.

Olgu näiteks parempoolse silindri läbilõige S pahempoolse silindri läbilõikest s 10 korda suurem, siis lükkab vedelik parempoolset kannu 10 korda tugevamini alt üles kui kang pahempoolset kannu ülalt alla, sest rõhumine iga pinnaühiku pääle on ühesugune. Rõhumist väiksemas silindris suurendatakse kangi abil. Rõhumist edasiandvaks vedelikuks võib olla mistahes vedelik; harilikult tarvitatakse selleks õlisid.

Vesipress leiab laialdast praktilist kasutamist ehitusmaterjalide tugevuse proovimisel, kohedate ainete (puuvill) kokkupressimisel jne.

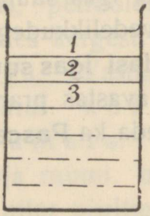
1. Leia 29. joonisest: a) Kui tugevasti lükkab vedelik suuremat kannu üles, kui kangi otsa A alla rõhuda 20 kg tugevuselt?

b) Palju tõuseb suurem kann, kui kangi ots A allapoole lükata 30 cm?

2. Võrdle kangi otsa allalükkamisel tehtud tööd selle tööga, mis teeb kann ülesliikumisel. Näita, et $Qh = RH$!

3. Vesipressi kannude läbimõõtude suhe on 1 : 5, samuti ka pumbakangi õlgade pikkuste suhe. Kui tugevasti peab kangi õla pääle rõhuma, et tekitada 3-tonnilist rõhumist? Kui suurt rõhumist võib tekitada oma raskusega inimene, kes kaalub 60 kg?

38. Vedeliku rõhumine anuma põhjale. Võtame püstseintega anuma (30. joon.) ja täidame veega. Lahutame vee anumas mõttes üksikuiks rõhtsaiks kihtideks. Kiht 1 rõhub oma raskusega kihti 2; kiht 2 annab kihile 3 edasi 1. kihi rõhumise (Pascali seadus), samuti ka oma raskuse rõhumise jne. Nõnda edasi arutades järeldame, et a n u m a p õ h j a l e m õ j u b r õ h u m i n e v e e k o g u r a s k u s e s u u r u s e s. Sama mõttekäik maksab iga püstseintega anuma ning iga teise vedeliku kohta.



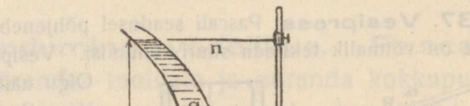
30. joon. Rõhumine põhjale.

Olgu anuma põhipinna suurus S cm^2, ta sügavus (kaugus nivoost) H cm ja vedeliku erikaal e $\frac{g}{cm^3}$, siis on rõhumise suurus grammides kogu põhipinnale

$$P = eSH.$$

Valemist näeme, et r õ h u m i n e p õ h j a l e o n v õ r d e l i n e v e d e l i k u e r i k a a l u g a j a p õ h i p i n n a n i n g s ü g a v u s e s u u r u s e g a.

Katse (31. joon.) näitab, et leitud korrapärasus on õige mistahes-kujulise (ka mittepüstseintega) anuma kohta.



31. joon. Rõhumine põhipinnale ei olene anuma kujust.

Lahtise silindri k põhja külge on kleebitud õhuke kummikelme, päältpoolt võib silindri külge kruvida mitmekujulisi klaasanumaid (a, b jne.). Vett nivooni n anumasse valades venib veerõhumise mõjul kummikelme välja ja lükkab temaga kokkupuutuva kangikese lm otsa alla. Kangi teise otsa tõusu loeme skaalal.

Mistahes-kujulisi anumaid külge kruvides näeme alati, et sama nivookõrguse H juures tõuseb kangi ots m skaalal ühepalju kõrgemale.

Sellest katsest järeldame, et **vedeliku rõhumine põhjale ei olene mitte anuma kujust, vaid ainult põhipinna ja ta sügavuse suurusest ning vedeliku erikaalust, ja võrdub alati selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on anuma põhi ja kõrguseks põhja keskmine sügavus.**

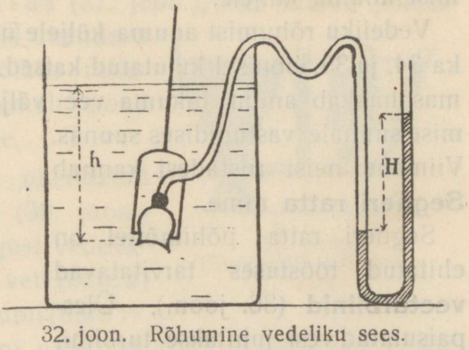
1. Pudel, mille põhja läbimõõt 5 cm, on täidetud 18 cm kõrguseni elavhõbedaga. Leia elavhõbeda rõhumine põhipinnale! Kui suur oleks piirituse rõhumine samadel tingimustel?

2. Mensuur on täidetud 20 cm kõrguseni väävelhappega. Leia rõhumine põhjale $\frac{g}{cm^3}$-tes! Aga mensuuri põhja pindala?

3. Kuidas on võimalik väikese vedelikuhulgaga tekitada anuma põhjale suurt rõhumist?

39. Rõhumine vedeliku sees. Vaatame nüüd, millest oleneb rõhumine vedeliku sees. Selleks teeme järgmised katsed (32. ja 33. joon.).

Kummitoru abil vesi-manomeetriga (vaata § 67) ühendatud lehtri ots on õhukese kummikelmega kinni pandud. Hargi abil lehtrit veeanumas hoides näeme, et vesi kummikelme sisse vajutab; lehtris ning manomeetri ühendustorus olev õhk tiheneb ja lükkab tasakaalustamiseks manomeetri lahtises harus vee kõrgemale.



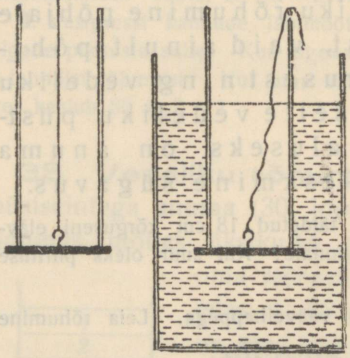
32. joon. Rõhumine vedeliku sees.

Selle riista abil võime näidata, et rõhumine antud pinnale vedeliku sees:

a) **oleneb pinna sügavusest ja on sellega võrdeline**; siit järeldub, et samas rõhtsas tasapinnas on rõhumine ühesugune;

b) **ei olene 1) sellest, mis sihis antud pind on asetatud (orientatsioonist), kui aga** keskmine sügavus ei muutu, ega 2) anuma kujust.

Rõhumise suuruse üle aitab otsustada järgmine katse (33. joon.).



33 joon.
Rõhumine vedeliku sees.

Pigistame niidi abil kerge plaadi vastu sileda otsaga klaassilindrit ja asetame silindri ühes plaadiga vette. Niiti lahti lastes ei lange plaat mitte alla, sest teda hoiab ülal vee rõhumine alt üles. Vett silindrisse valades langeb plaat alles siis alla, kui vee nivoo silindris ja anumas on ühekõrgune.

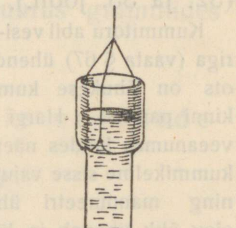
Sama nähtus kordub ka teiste vedelikkudega. Tähendab, rõhumine vedeliku sees (**p**) antud pindalale (**s**) võrdub selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on antud pindala (**s**) ja kõrguseks (**h**) aluse keskmine sügavus, s. o.

$$p = esh.$$

40. Vedeliku rõhumine anuma küljele. Et vedelik Pascali seaduse põhjal annab edasi rõhumist igas suunas ja ühteviisi, siis väljendab eelmine valem ka rõhumist anuma küljele.

Vedeliku rõhumist anuma küljele näitavad ka 34. ja 35. joonisel kujutatud katsed. Mõlemas hakkab anum liikuma vee väljavoolamise suunale vastupidises suunas. Viimane neist riistadest kannab **Segneri ratta** nime.

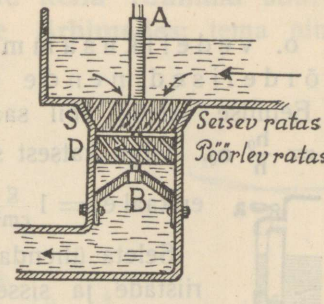
34. joon.



35. joon. Segneri ratas.

Segneri ratta põhimõttel on ehitatud tööstuses tarvitatavad **veeturbiinid** (36. joon.). Ülespaisutatud vesi juhitakse turbiini, kus ta üksikuiks tugevaiks jugadeks jaguneb ja alt välja voolates turbiini pöörlema paneb. Turbiin võimaldab langeva vee jõudu põhjalikumalt kasutada kui vesirattad. Seepärast tarvitataksegi kõigis suuremais ja paremais tööstusis vesirataste asemel turbiine. Eestis töötavad eriti tugevajõulised turbiinid (1200 HP) Narva kosele ehitatud vabrikuis. Vee langemine on siin keskmiselt 8,5 m.

Pääle veeturbiinide tarvitatakse veel auruturbiine. Siin paneb turbiini pöörlema turbiinist väljavoolav aur.



36. joon. Veeturbiin.

1. Ehita endale Segneri ratas lambiklaasist (lisaks kork, klaastoru, niit)!

2. Näita Pascali seaduse põhjal, et samas sügavuses vedeliku rõhumine peab olema igas suunas ühesugune!

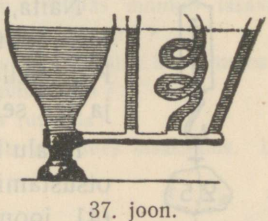
3. Leia vee rõhumine atmosfäärides kõige sügavamas mere põhjas!

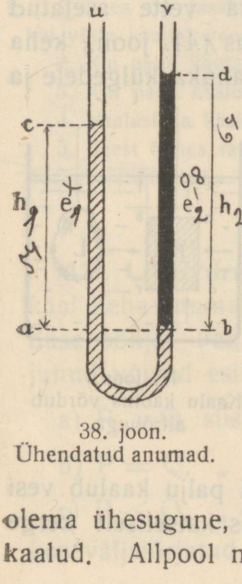
4. Kala tõusis järve põhjast 6 m veepinnale lähemale. Kui palju vähenes rõhumine kala keha välispinnale, mille suurus 1,5 dm^2?

5. Kui suure rõhumise all on inimese keha (välispind $\sim$ 2 m^2) vees 1,5 m sügavusel? ~~3kg~~ 300 $\frac{kgr}{cm^2}$ Vale!

41. Ühendatud anumad sama ja kahe erisuguse vedelikuga.

Katse näitab, et ühendatud anumais, mis täidetud sama vedelikuga, on vedeliku vaba pind (nivoo) alati rõhtus (37. joon.), sest muidu poleks ka anumaid ühendava toru läbilõikes rõhumine mõlemalt poolt ühesuurune.


37. joon. Ühendatud anumad.



38. joon. Ühendatud anumad.

Valame ühendatud anumaisse (38. joon.) kaht erisugust vedelikku, näiteks vett (haru u) ja petrooleumi (haru v). Et paremini näha, värvime petrooleumi *radix alcannae* abil punaseks. Nüüd näeme, et petrooleumisamba nivoo (d) seisab vee omast (c) kõrgemal. Tasakaalu korral peab samas rõhtsas läbilõikes ab mõlema vedelikusamba rõhumine igale pinna-ühikule, näit. 1 cm^2, olema ühesugune, s. o. $\mathbf{e_0h_0 = eh}$, kus e_0 ja e on vastavad erikaalud. Allpool nivood ab on torus sama vedelik (vesi) ja seepärast tasakaalus. Siit saame lihtsa valemi vee- ja petrooleumisamba kõrguse võrdlemiseks, nimelt:

$$\frac{h_0}{h} = \frac{e}{e_0}$$

s. o. vedelikusammaste kõrgused on pöördvõrdelised nende erikaaludega.

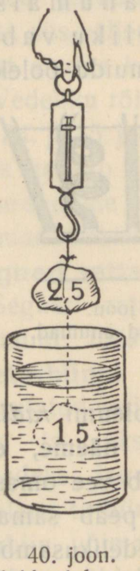
Eelmise valemi abil saame määrata vedeliku erikaalu, sest $e = \frac{h_0}{h} e_0$. Olgu katsest saadud $h_0 = 24$ cm, $h = 30$ cm; vee erikaal $e_0 = 1 \frac{g}{cm^3}$, siis järelikult $e = \frac{24}{30} \cdot 1 = 0{,}8 \left(\frac{g}{cm^3}\right)$

39. joon. Aurukatla veeklaas.

Seleta ühendatud anumate omaduse põhjal järgmiste riistade ja sisseseadete tarvitamist: aurukatelde veeklaas (39. joon.), loodimisriist ehk nivelliir, veevärk, purskkaev, kohvikann jne.

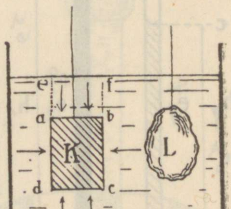
Vee rõhumine veevärgi kraani otsas on $1{,}5 \frac{kg}{cm^2}$. Leida vee nivoo kõrgus reservuaaris kraani suhtes!

42. Arhimedese seadus. Seome kivi niidi otsa ja riputame kaalu külge (40. joon.). Paneme tähele, kui palju kaal näitab. Nüüd laseme kivi vette; tasakaal kaob ning kaal näitab vähem; tähendab, kivi kaalub vees vähem kui õhus, ta kaotab vees osa oma kaalust.



40. joon. Kivi kaalub vees vähem kui õhus.

Näita, millega peab võrduma vette asetatud püströöptahuka abcd kaalu kaotus (41. joon., keha K). Selleks vaatle rõhumist risttahuka külgedele ja ja tee sellest järeldis.



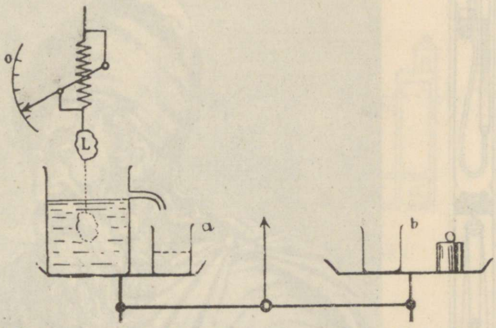
41. joon. Kaalu kaotus võrdub altrõhuga.

Kaalu kaotuse suuruse üle otsustamiseks üldisel juhul (41. joon., keha L) arutame järgmiselt. Kui keha L moonduks veeks, siis tasakaal ei muutuks, sest ümberolev vesi hoiaks ta ülal — tasakaalu korral on see õige iga piiratud vedeliku osaga. Tähendab, ka keha L raskusest kannab vesi niipalju, kui palju kaalub vesi selle keha ruumala suuruses, mis katseliselt kerge tõendada. Kuidas?

Sama arutus on õige iga keha ja iga vedeliku kohta; tähendab, **iga vedelikku asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub vedelik selle keha ruumala suuruses.** Selle seaduse avastas kreeklane **Arhimedes;** tema nime järgi nimetatakse seda seadust ka **Arhimedese seaduseks.**

Kaalu kaotuse põhjuseks on vedeliku rõhumise vahe alt üles ja ülalt alla, lühidalt — altrõhk, mis võrdub kaalu kaotuse suurusega.

Sõnasta Arhimedese seadus altrõhu abil.



42. joon. Vedeliku kaal suureneb altrõhu võrra.

Vesi (üldse vedelik) rõhub temasse asetatud keha alt üles, kuid keha rõhub vett sama tugevasti ülalt alla, järelikult vee kaal (rõhumine vaekausile) suureneb keha kaalu kaotuse võrra. 42. joon. kujutatud katse abil on seda kerge näidata. Kuidas?

1. Vees on tasakaalustatud raud- ja tinapomm. Kuidas muutub tasakaal, kui võtta kaalud veest välja, asetada glütseriini, petrooleumi jne?
2. Kui palju kaotad sina oma kaalust vees? Mitu liitrit on sinu keha ruumala?
3. Kui palju kaalub 10-grammiline kullatükk elavhõbedas?
4. Vaalaskala kaalub 30 tonni. Leia tema keha ruumala!
5. Seest õõnes raudpomm kaalub 3 kg ja püsib vee sees tasakaalus. Leia õõnsuse ruumala!

43. Ujumine. Olgu antud keha kaal õhus P ja vedeliku kaal keha ruumala suuruses (altrõhk) Q, siis on Arhimedese seaduse põhjal keha kaal vedelikus $P - Q$. Vaatame, missugused juhud võivad esineda, kui keha lasta vabalt vedelikku:

a) $P > Q$, siis keha vajub põhja — upub.

b) $P = Q$, „ „ on vedelikus tasakaalus.

c) $P < Q$, „ „ ujub pinnal. Sel juhul võrdub keha raskus väljatõrjutud vedeliku raskusega.

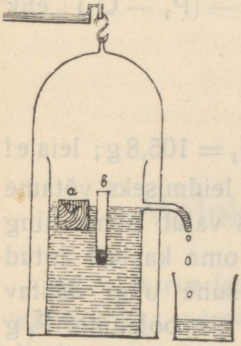
Arhimedes (287–212 e. Kr.)

(Vanalt puulõikelt Briti Muuseumis).

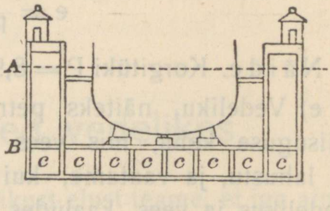
Kuulus vanaaja füüsik ja matemaatik, elas Sürakuusi linnas, Sitsiilias. Vedeliku altrõhu seaduse avastaja. Selle kohta räägitakse: Sürakuusi kuningas Hiero teinud A-le ülesandeks järele uurida, kas tellitud kuldkroon on puhtast kullast. Vannis, vee altrõhku tähele pannes, tuli A. meetodi juurde, mille abil lahendas küsimuse. Avastas kangi tasakaalu seaduse. Tuntud on ta ütlus: „Andke mulle toetuspunkt, siis tõstan paigast kogu Maa.“ Mitmesuguste riistade, nagu ploki, lõpmatu kruvi, areomeetri, nõgusate peeglite jne. leiutaja. Esimesena määras π ja arvutas ringi pindala.

Värske kanamuna abil on kerge vees näidata kõiki kolme tasakaalu-juhtu. Kuidas?

Laeva suurust hinnatakse tonnides. Kuid laevatonn ei tähenda meetermõõdustiku tonni. Laevatonn on 100 inglise kuupjalga ehk 2,8 kuupmeetrit. Kui näiteks laev surub välja 280 kuupmeetrit vett, siis on selle laeva suurus 100 tonni.



43. joon. Tasakaal ujumisel.



44. joon. Ujuv dokk.

1. Kas tasakaal muutub, kui kaaludel tasakaalustatud ülevooluanumasse panna ujuma mitmesuguseid kehi (a, b jne.) (43. joon.)?

2. Nimeta kehi, mis vees kas ujuvad, on tasakaalus või vajuvad põhja.

3. Missugused kehad ujuvad elavhõbeda pinnal ja missugused vajuvad temas põhja?

4. Kui suur osa sinu keha ruumalast vajuks elavhõbedasse temas ujudes?

5. Kus seisab laeva kere sügavamal vee sees: kas jões või meres?

6. 44. joon. kujutab ujuva doki läbilõiget. Kui kambrid c vett täis lasta, vajub dokk vette joone A sügavuseni. Siis tuuakse laev dokki, asetatakse paika ja pumbatakse kambreist c vett niipalju välja, et dokk ühes laevaga kerkiks nivooni B. Nüüd on töölistel võimalik igale poole laeva kerele juurde pääseda. Oletame, et iga kambri kõrgus ja laius on 3 m. Kui pikk peaks olema siis dokk, et ülal hoiaks ookeanilaeva „Imperaatorit“, mille raskus on 50 000 tonni?

7. Kui suur osa meres ujuvast jäämäest ulatub välja merepinnast?

44. Erikaalu määramine Arhimedese seaduse põhjal.

Et vee erikaal on $1\frac{g}{cm^3}$, siis on lihtne leida Arhimedese seaduse põhjal kehade erikaalu.

a) Keha kaalub õhus P g, vees P_1 g, siis on keha ruumala $P—P_1$ cm^3 ja erikaal

$$e = \frac{P}{P—P_1}\ \frac{g}{cm^3}.$$

N ä i d e. Rauatüki $P = 390$ g, $P_1 = 340$ g, sellest saame

$$e = \frac{390}{390—340} = \frac{390}{50} = 7{,}8\ \left(\frac{g}{cm^3}\right).$$

b) Kui keha vees põhja ei vaju, näiteks kork, siis tuleb teda erikaalu leidmisel ühendada mõne raskema kehaga (tina). Olgu korgi kaal õhus P g, tina kaal vees Q_1 g ja tina kaal ühes korgiga vees P_1 g, siis on korgi ruumala $P - (P_1 - Q_1)$ ehk $P - P_1 + Q_1$ cm³ (tõenda seda!) ja erikaal:

$$e = \frac{P}{P - P_1 + Q_1} \frac{g}{cm^3}.$$

N ä i d e. Korgitüki $P = 8{,}9$ g, $P_1 = 64{,}5$ g, $Q_1 = 105{,}8$ g; leia e!

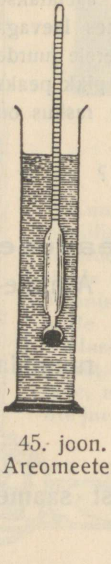
e) Vedeliku, näiteks petrooleumi, erikaalu leidmiseks võtame niisuguse keha, mis vees ja antud vedelikus vajub põhja ning ei lahustu, ja vaatame, kui palju kaotab ta oma kaalust antud vedelikus ja vees kaaludes. Saadud arvude suhe ongi otsitav erikaal. Kaalugu näiteks rauatükk õhus P g, petrooleumis P_1 g ja vees P_2 g, siis on petrooleumi kaal rauatüki ruumala suuruses $P - P_1$ g ja ruumala $P - P_2$ cm³ ning erikaal

$$e = \frac{P - P_1}{P - P_2} \frac{g}{cm^3}.$$

N ä i d e. Rauatüki $P = 89{,}6$ g, $P_1 = 80{,}9$, $P_2 = 78{,}9$ g; leia petrooleumi e!

see siit

45. Areomeetrid. Vedeliku erikaalu kiireks leidmiseks tarvitatakse n. n. a r e o m e e t r e i d. Arhimedese seaduse põhjal teame, et keha on vedelikus tasakaalus, kui keha kaal võrdub väljatõrjutud vedeliku kaaluga. Sama keha langeb kergemas vedelikus sügavamale kui raskemas. Nii siis võime otsustada vedeliku erikaalu üle selle põhjal, kui sügavale vajub temas antud keha. 45. joonisel kujutatud areomeeter polegi muud, kui sellekohaselt valmistatud ja vastava skaalaga varustatud keha, mille enam või vähem sissevajumine vedelikus näitab meile erikaalu.



45. joon. Areomeeter

1. Mispärast areomeeter vedelikus seisab püsti ja ei vaju mitte küljele?

2. Kui areomeetri toru on ühtlane, kas vastavad siis võrdseile erikaalu muutusile võrdsed kriipsuvahed skaalal?

3. Kuidas on võimalik valmistada areomeetrit katseklaasist?

Molekulaarnähtused vedelikes

46. Aine jagatavus. Tegelikust elust teame, et iga ainet, näiteks tina, võime jagada järjest väiksemaiks osadeks. Tehniliselt pole meil aga võimalik osakeste väiksuse tõttu jagamist liiga kaugele jatkata. Vedelikus lahustunud värvainete (fuksiin, fluorestsiin jne.) ning lõhnade levimise põhjal peame küll järeldama, et aine võib jaguneda väga väikesiks osakesiks.

47. Hüpotees ja teooria. Et meil otsese jagamise teel võimalik pole leida aine kõige väiksemat osakest, siis on teadus teoreetiliselt loonud kujutluse kehade aine ehituse kohta koosseisu suhtes. Niisugune teoreetiliselt loodud kujutlus, mis võimaldab tervet rida mitmekesiseid nähtusi ühisest vaatepunktist rahuldavalt seletada, nimet. **hüpoteesiks**. Hüpotees on õieti **oletus** selle kohta, mis võiks olla. Arusaadav, et hüpotees võib püsida ainult niikaua, kuni ta kõiki nähtusi, mille seletamiseks see hüpotees loodud, suudab rahuldavalt seletada. Hüpotees tuleb muuta või hoopis kõrvale heita, kui leitakse nähtused, mis tarvitusel olevale hüpoteesile vastu käivad. Hüpotees ühes kogu temast tehtud järeldustega nimet. **teooriaks.** Teaduse arenemisel mängib hüpotees väga tähtsat osa, vaatamata sellele, et neid on tulnud kaunis sagedasti muuta ja koguni hoopis kõrvale jätta. Teaduse arenemise sihiks on võimalikult väikese arvu hüpoteeside abil seletada kõiki meile tuntud nähtusi. Ideaal-seisukord oleks saavutatud, kui läbi saaksime ainult ühe hüpoteesiga.

48. Kehade ehitus molekulaarhüpoteesi põhjal. Keemiast tuntud molekulaarhüpoteesi põhjal koostuvad kõik kehad väikesist keemiliselt jagamata osakesist — **aatomeist.** Iga lihtaine ehk element (hapnik, vesinik, tina, raud jne.) koostub eri liiki aatomeist. Sama lihtaine aatomid on kõik ühesugused. Liitaine (vesi, süsihapu gaas jne.) kõige väiksem osa — **molekul** — koostub aatomeist. Ka lihtaine aatomid ei esine sagedasti üksikult, vaid seotult kahe, kolme- jne. kaupa molekulideks; näiteks koostuvad vesiniku ja hapniku molekulid kahest aatomist, osoon kolmest hapniku-aatomist jne.

Et aatomid ei ole ühesuguse massiga ja nende arv molekulides võib olla väga mitmesugune, siis on loomulik, et ka molekulid, kui aatomite liitmisel tekkinud moodustised, massilt üksteisest erinevad. Pääle massi võivad molekulid erineda üksteisest veel oma sisemiselt ehituselt ja liikumise kiiruselt.

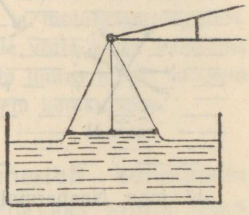
49. Kohesioontung. Selle põhjal, kuivõrd tugevasti on keha molekulid üksteisega seotud, jagame kõik kehad kolme liiki: kõvad, vedelad ja gaasilised kehad. Kõva keha molekulide vahel on side võrdlemisi väga tugev, sest neid on raske üksteisest lahutada. Nähtuse seletuseks tuleb oletada, et kõva keha molekulide vahel mõjub mingisugune tung, mis neid koos hoiab. Nimetame selle tungi **kohesioontungiks**. Mis kohesioontung oma loomult õieti on, seda me ei tea, samuti ei tea me ka raskustungi loomu kohta midagi ligemat öelda. Väga võimalik, et kohesioontung on oma loomult üldise tõmbe- ehk gravitatsioonitungiga ühesugune.

Ka vedeliku molekulide vahel mõjuvad kohesioontungid, ehkki nõrgemini kui kõva keha molekulide vahel; selle tõenduseks on vedeliku-osakeste suur liikuvus üksteise suhtes, tilga kuju, mis alati enam-vähem ümmargune (õli-, veetilk), jne.

Gaasi-osakeste vahel nende hõreduse ja suure kiiruse tõttu on kohesioontungide mõju vaevalt märgatav.

50. Adhesioontung. Mitte ainult sama kõva või vedela keha molekulid ei ole üksteisega n. n. kohesioontungide abil seotud, vaid ka erisuguste kehade (näiteks klaas ja vesi) molekulid võivad lähemal kokkupuutumisel üksteisi siduda. Klaasi vette lastes jäävad vee molekulid klaasi molekulide külge, tolmukübemed jäävad peegli, riiete jne. külge. Nimetame tungid, mis üksteisega koos hoiavad erisuguste kehade molekule, **adhesioontungideks**. Kõva keha (klaas) vedelikku kastes näeme, et üks vedelik (vesi) hakkab kõvale kehale külge, teeb ta märjaks, teine vedelik (elavhõbe) aga mitte. Esimesel juhul ütleme, et vedelik **märgab** seda kõva keha, teisel juhul **ei märga** ta seda mitte. Nii näiteks märgab vesi klaasi, rauda, puud jne., ei märga aga rasva, steariini, parafiini jne. Nende nähtuste seletamiseks tuleb oletada, et märgamise korral on adhesioontungid kohesioontungidest suuremad, mittemärgamise korral aga ümberpöördult.

Kohesioon- ja adhesioontungide selgituseks teeme veel järgmise katse (46. joon.). Kaalukangi külge riputatud klaasplaadikest vette lastes ja pärast välja võttes näeme, et vesi plaadi veepinnast kõrgemale kerkimisel ei katke, vaid plaadikesele veidi järele tuleb. Katsest järeldame, et klaasi ja vee molekulide vahel mõjuv adhesioontung on suurem vee molekulide vahel mõjuvast kohesioontungist (muidu ei tõstaks klaas vett üles). Teisele vaekausile vihte asetades kuni plaadi veest lahtitulemiseni võime otsustada vedeliku molekulide vahel mõjuvate kohesioontungide suuruse üle.



46. joon. Vee ko- ja adhesioon.

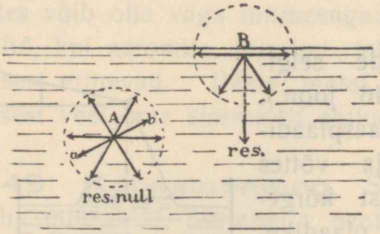
Sama katse elavhõbedaga näitab, et kohesioontung elavhõbeda molekulide vahel on suurem kui adhesioontung elavhõbeda ja klaasi molekulide vahel.

Ka kõva keha ja gaasi vahel mõjuvad adhesioontungid, mille tõenduseks on lõhnade külgejäämine kehadele (valgustusgaas kummivoolikuile, suitsu ja teised lõhnad riideile jne.).

1. Seleta kohesioon- ja adhesioontungide abil järgmised nähtused: metallide (raud jne.) kokkujootmine kõrges temperatuuris, pliiatsisüdamiku valmistamine grafiidipulbrist pressimise abil, tilkade tekkimine, tindiga kirjutamine, liimimine, kleepimine, tinutamine jne.

2. Mispärast ei tarvitata villaseid ega siidist käterätte? miks ei saa rasvasele paberile kirjutada?

51. Pindpinevus. Katkimurtud ja uuesti tugevasti kokkusurutud keha osad ei jää mitte kokku. Ainult üksikuil juhtudel (lihvitud klaaspinnad, tina jne.) on lahutatud osade nõrka kokkujäämist märgata. Sellest näeme, et kohesioontungid mõjuvad aine molekulide vahel ainult siis, kui molekulid on üksteisele hästi lähedal. Molekulidevahelise kauguse suurenedes väheneb kiiresti ka kohesioontung. Piirkonda, milles antud molekul tema ümber olevaisse molekulidesse (naabermolekulidesse) veel tunduvalt mõju avaldab, nimet. **molekulaartungide mõjupiirkonnaks**; teda võime kujutella sfäärina, mille tsentris on antud molekul (47. joon.).

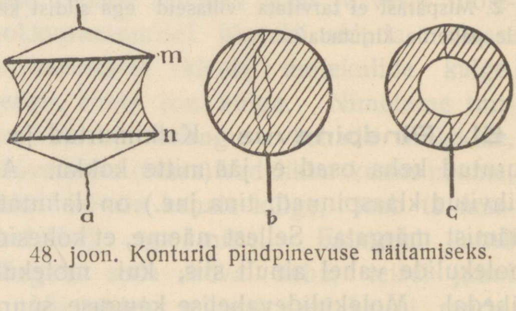


47. joon. Naabermolekulide mõju.

Molekulid on suuruselt väga väikesed. Nii näiteks on süsihapu gaasi (CO_2) molekuli läbimõõt $\sim 0{,}3 \cdot 10^{-6}$ mm. Samuti ei ole kuigi suur ka molekulaartungide mõjupiirkond.

Molekulide vahel mõjuvate tungide toimega on seletatavad vedeliku vaba pinna erisugused omadused. Nagu näha 47. joon., on igasse molekulisse mõjuvate naabermolekulide toime tasakaalustatud ainult siis, kui molekul asub pinnast küllalt kaugel (molekul A), sest niisugusel juhul on võimalik leida igale molekulile (a) samast mõjupiirkonnast antud molekuli suhtes sümmeetriliselt asetatud teist molekuli (b), mis esimese toimet tasakaalustab (resultant on null). Pinna läheduses asuvate molekulide (B) suhtes on aga ülekaalus nende naabermolekulide toime, mis asuvad vabale pinnale vastasküljes. Siit järeldub, et kohesioontungide toimel vedeliku vaba pindkile püüab koomale tõmbuda, et võimalikult vähendada vedeliku vaba pinda. Seda vedeliku vaba pindkile omadust koomale tõmbuda sarnaselt pineviletõmmatud kummikelmega nimetame **pindpinevuseks**. Tema põhjal on võimalik seletada suurt hulka nähtusi.

Võtame 48. joon. kujutatud traatide m ja n vahele seebivee kelme. Püüdes võimalikult kokku tõmbuda lähevad küljeniidid sissepoole kõveraks ja tõstavad alumise traadi n üles. Traate teineteisest eemale tõmmates ja alumist traati vabaks lastes kordub sama nähtus.

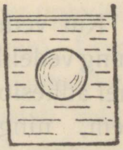


48. joon. Konturid pindpinevuse näitamiseks.

Traadist konturil (48. joon. b) on tehtud niidist aas. Kui aasa seest vedelikukelme katki teha (kuuma traadiga läbi pistes), siis veab ümberolev kelme aasa täiesti ümmarguseks, sest ringil on tasapinnalistest kehadest sama ümbermõõdu (perimeetri) juures kõige suurem pindala.

Seebimullid tõmbuvad seistes kokku. — Väikeses hulgas võetud vedeliku (tilgad) kuju on enam-vähem ümmargune, sest siin ei ole raskuse mõju nii tunduv ja vedelik võtab endale kuju, mis on tingitud ta molekulaartungidest. Pindpinevuse tõttu püüab keha niisugusel juhul endale võtta kõige väiksema pinna. Nagu geomeetriast teame, on keral antud ruumala juures kõige väiksem pindala, seepärast on siis ka vedelik tilkades enam-vähem kerakujuline.

52. Plateau katse. Kui meil õnnestub kõrvaldada raskuse mõju ja teha vedeliku pinnakuju olenevaks ainult tema molekulaartungidest, siis peab iga vaba vedelik pindpinevuse mõjul võtma kera kuju. Et see tõesti on nõnda, näitab meile Plateau katse (49. joon.). Oliiviõli on piiritusest raskem ja veest kergem, seepärast on võimalik valmistada veest ja piiritusest segu, mille erikaal võrdub õli erikaaluga. Niisuguses segus, nagu teame, on õli igas kohas tasakaalus, sest õli raskustung on Arhimedese seaduse põhjal tasakaalustatud segu altrõhuga. Pipetiga õli segusse juhtides näeme, et õli võtab pindkile kokkutõmbuvuse tõttu kera kuju.



49. joon. Õlitilk piirituse ja vee segus.

1. Seleta pindpinevuse põhjal nõela, samuti Gilette habemenoa-tera ujumine ja putukate kõndimine veepinnal!

2. § 51 andmeil arvuta, mitu süsihapu gaasi molekuli mahuks ühe kuupmillimeetri ruumalasse, kui molekulide vahel sugugi ei oleks tühja ruumi.

3. Kõvale pinnale (laud) langenud veepiisad ei ole mitte nii ümmargused kui pehmele (tolm, tuhk) pinnale langenud piisad. Mispärast?

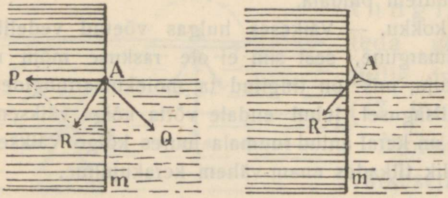
4. Elavhõbeda tilgad on veetilkadest tublisti ümmargusemad. Mispärast?

5. Mispärast peenike veejuga ei püsi pidevana, vaid jaguneb üksikuiks tilkadeks?

6. Tinahaavlite valmistamisel lastakse sulatina läbi sellekohase sõela kõrgelt vette langeda. Mispärast saavad haavlid seejuures ümmargused?

7. Pane veepinnale ujuma 2 tikku 2 — 3 cm kaugusele teineteisest! Puuduta nende vahel olevat veepinda kuuma traadiotsaga! Pane tähele, mis juhtub ja mispärast.

53. Vedeliku vaba pind anuma seina läheduses. Varem (§ 41) nägime, et vedeliku vaba pind (nivoo) on alati rõhtus. Kuid see on õige ainult siis, kui jätta hoopis arvest välja molekulaartungide mõju pinna kujundamisel. Tõepoolest

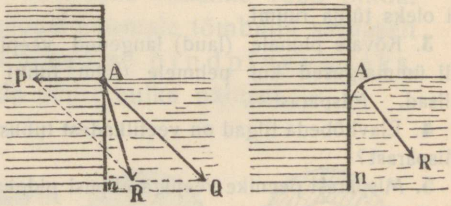


50. joon. Vedeliku pinna tõus anuma seina ääres.

aga annab anuma seina läheduses molekulaartungide mõju end sedavõrd tunda, et vedeliku pind muutub ühes või teises suunas kõveraks.

Võtame näiteks vee ja klaasi kokkupuutumise kohal (50. joon.) väikese vee-osakese (A) ja paneme tähele molekulaartungide mõju temasse. Olgu vee ja klaasi adhesioontungide resultant P, kohesioontungide resultant vee osakeste vahel Q. Kui antud vee-osake on küllalt väike, võime raskuse jätta arvestamata. Et vesi märgab klaasi, siis on adhesioontungid kohesioontungidest suuremad ja P ning Q resultant R suunatud anuma seina (klaasi) sisse. Vedeliku põhiomadusist (§ 35) teame, et tasakaalu korral peab vedeliku nivoo olema risti vedeliku osakestesse mõjuva resultant-tungiga. Selleks siis peab veepind klaasseina ääres muutuma ülespoole nõgusaks, nagu katse seda tõepoolest ka näitab.

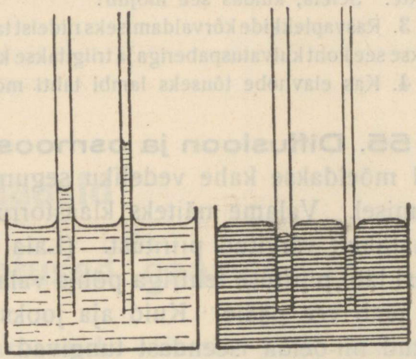
Kui vedelik seina ei märga (elavhõbe, klaas), siis on kohesioontung vedeliku-osakeste vahel adhesioontungist suurem, ning molekulaartungide ühine resultant R on suunatud vedeliku sisse (51. joon.). Resultandi R tasakaalustamiseks muutub niisugusel korral vedeliku vaba pind seina ääres ülespoole kumeraks.



51. joon. Vedeliku pinna langemine anuma seina ääres.

Nagu näha, oleneb vedeliku pinna kuju seina ääres sellest, missuguses vahekorras on ad- ja kohesioontungid.

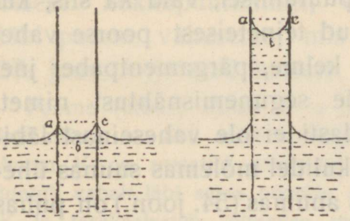
54. Kapillaarsus. Ühendatud anumais seisab sama vedeliku vaba pind ühes rõhtsas tasapinnas. Kuid see on õige, kui molekulaartungide mõju raskusega võrreldes on tühine (küllalt suure läbilõikega anumad). Peenikeste, jõhv- ehk kapillaartorude juures ei või jätta molekulaartungide mõju tähele panemata. Nii näitab katse, et peenikeses torus seisab märgav vedelik (vesi, klaas) kõrgemal, mittemärgav aga madalamal nivoost lahtises anumas (52. joon.). Niisugune nähtus nimet. kapillaarsuseks ehk jõhvsuseks.



52. joon. Vedeliku nivoo kapillaartorudes.

Kapillaarsuse nähtusi leiame looduses kui ka igapäevases elus väga sagedasti; nende hulka kuuluvad näiteks: petrooleumi tõusmine lambi tahis, mahla tõusmine taimedes, kuivatuspaberi tarvitamine, maja seinte niiskus jne.

Vedeliku tõusu kapillaartorudes võime seletada pindpinevuse abil. Kui vedelik märgab toru seina, siis on vedeliku pind torus (menisk) nõgus (53. joon., esimene). Pindkile abc püüab end võimalikult sirgeks tõmmata ja tõstab kohesioontungide mõjul osa vedelikku enda järele. Vedeliku pinna sirgenedes tõusevad adhesioontungide mõjul pindkile ääred kõrgemale, uuesti tõmbab pindkile endale vedelikku järele jne., niikaua kui vedelikusamba raskus tasakaalustab pindpinevuse mõju. Seleta analoogiliselt mittemärgava vedeliku langemist kapillaartorus!



53. joon. Pindkile hoiab ülal vedelikusamba.

Katse kui ka matemaatika rakendamine näitab, et vedeliku tõusu (vastavalt langemise) suurus kapillaartorudes on pöördvõrdeline toru raadiusega ja vedeliku erikaaluga ning võrdeline pindpinevusega (Jurin'i seadused).

1. Missugune pôld kardab rohkem pôuda: kas hästi haritud vôi harimata?

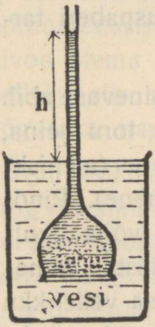
2. Ruumi niiskuse suurendamiseks riputatakse sagedasti käterätid otsapidi vette. Seleta, kuidas see môjub!

3. Rasvaplekkide kôrvaldamiseks riideist tarvitatakse sagedasti järgmist vôtet: kaetakse see koht kuivatuspaberiga ja triigitakse kuuma rauaga. Seleta, kuidas see môjub!

4. Kas elavhôbe tôuseks lambi tahti mööda üles?

55. Diffusioon ja osmoos. Vedelikkude diffusiooni all mõeldakse kahe vedeliku segunemist nende otsesel kokkupuutumisel. Valame näiteks klaastorru värvitud vett ja vee pääle ettevaatlikult värvitud piiritust. (Laia anumat tarvitades on kasulik vesi läbi piirituse lehtriga põhja valada). Piiritus on veest kergem ja jääb vee pääle. Kuid aja jooksul võime tähele panna, et vedelikud nii-öelda iseendast tungivad üksteise sisse ja lõpuks moodustavad täiesti ühtlase segu. Nähtust on lihtne seletada ainult molekulide liikumisega molekulaarhüpoteesi põhjal.

Ka kõvade kehade juures on diffusiooninähtusi tähele pandud. Kui kullakihile asetada tinakiht, siis võib mõne aja pärast leida kullamolekule kogu tinakihi ulatusel. Harilikus temperatuuris on senini ainult kulla ja tina diffusiooni tähele pandud, kuna kõrgemais temperatuures samasugust nähtust võib leida kõikide metallide juures.



54. joon. Osmoos.

Vedelikkude segunemine ei toimu mitte ainult nende otsesel kokkupuutumisel, vaid ka siis, kui vedelikud on lahutatud teineteisest poorse vaheseinaga, nagu põie kelme, pärgamentpaber jne. Niisugust vedelikkude segunemisnähtust nimet. osmoosiks. Sagedasti ei ole vaheseinast läbitungimise kiirus molekulidel mõlemas suunas ühesugune. Näiteks, kui anumas (54. joon.) on puhas vesi ja põiekelmega kaetud lehtris $CuSO_4$ lahus, siis tungib sama aja jooksul rohkem veemolekule anumast lehtri alla kui $CuSO_4$ lahuse omi säält anumasse — ja vedelikusammas lehtris tõuseb kõrgemale; lahuse samba kõrgus lehtris (h) möödab n. n. osmootse rõhumise suurust.

Samalaadilist katset võib teha suhkrulahusega, piimaga jne. Suhkrulahuse juures tuleb tarvitada selleks eriliselt valmistatud vaheseina.

1. Too näiteid osmoosi kohta looduses!

2. Kuidas tarvitatakse kuivatatud marju, näiteks sôstraid, tee asemel?

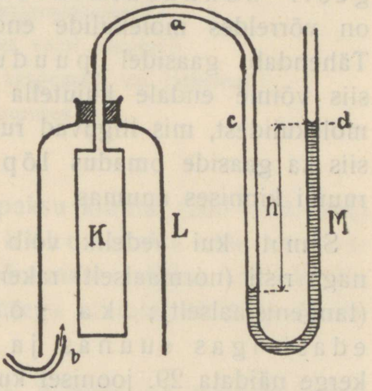
Gaasid

Rõhumisnähtused gaasides

56. Gaaside üldomadused. Gaasid (õhk, süsihapu ning valgustusgaas jne.) koostuvad väikestest osakestest, molekulidest, mille vahel ei ole märgata sidet.

Gaasi molekulid on alalises liikumises, mis järeldub gaaside segunemisnähtustest (samasse kinnisesse anumasse kaks erisugust gaasi juhtides saame nende ühtlase segu; lõhnade levimine: karm, valgustusgaas jne.).

Gaaside segunemine ehk **diffusioon** ei toimu mitte ainult nende otsesel kokkupuutumisel, vaid ka läbi poorse vaheseina, mis selgub 55. joon. kujutatud katsest.



55. joon. Gaaside diffusioon.

Poorne (urbne) anum K on ühendatud kummitoru a abil vesimanomeetriga M. Anum K on asetatud anumasse L. Õhk tungib vabalt läbi seina pooride anumasse K ja tasakaalustab rôhumise manomeetri vabale otsale. Kui aga juhtida anuma L alla toru b kaudu mônd kergemat gaasi, näiteks valgustusgaasi, tôuseb manomeetri harus d vesi otsekohe kôrgemale. Sellest järeldame, et valgustusgaasi molekulid tungivad kiiresti anumasse K, suurendades selles rôhumist. Vôtame anuma K anumast L välja, siis tekib vastupidine nähtus: vesi manomeetris tôuseb torus c kôrgemale kui torus d, millest järeldame, et gaasi rôhumine anumas K on väiksem rôhumisest vabas ôhus. Rôhumise vähenemine vôis tekkida selle tôttu, et valgustusgaasi molekulid liiguvad kiiremini kui ôhu molekulid ja seepärast tuleb välja anumast K valgustusgaasi molekule rohkem kui ôhu omi sisse.

Katse ja matemaatiline harutus näitab, et gaasimolekulide liikumise kiirus oleneb üldse gaasi ainest ja temperatuurist ning suureneb viimase tõusmisega.

Gaasimolekulide liikumise kiirus on võrdlemisi suur: nii näiteks on 0^0 C juures vesinikumolekuli kiirus $1700 \frac{m}{sek}$, hapnikumolekulil $\sim 450 \frac{m}{sek}$ jne. Võrdluseks peame meeles, et kahurikuuli kiirus on umbes $800 \frac{m}{sek}$. Sirgjooneliselt suure kiirusega liikudes põrkavad molekulid vastu seina, teda rõhudes, või vastu teisi molekule, muutes seejuures oma suunda. Molekulide liikumine on korraldamatu liikumine oma suunalt kui ka kiiruse suuruselt, s. o. igas suunas liigub umbes sama palju molekule teatud keskmise kiirusega.

Gaasimolekulide suurest liikuvusest järeldub, et gaasidel ei ole kindlat kuju.

Lihtsad katsed näitavad (nimeta mõned), et gaasid on kergesti kokkusurutavad, s. o. molekulidevaheline ruum on võrreldes molekulide endi ruumalaga nähtavasti väga suur. Tähendab, gaasidel puudub kindel ruumala. Nõnda siis võime endale kujutella gaasi koostuvana suurest hulgast molekulidest, mis liiguvad ruumis vabalt suure kiirusega. Sellest siis ka gaaside omadus lõpmata paisuda ja täita ühtlaselt ruumi kinnises anumas.

Samuti kui vedelik võib gaas tasakaalustada ainult ta pinnaga risti (normaalselt) rakendatud tunge, mitte aga puuteliselt (tangentsiaalselt); ka rõhumist annavad gaasid edasi igas suunas ja ühteviisi (Pascali seadus), mis kerge näidata 29. joonisel kujutatud riistaga, tarvitades vee asemel suitsu.

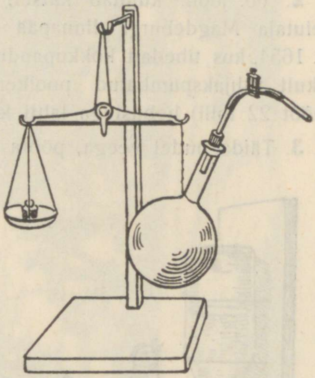
Nimeta gaaside, vedelikkude ja kõvade kehade ühised ning erilised omadused!

57. Õhu kaal. Aineosakesed, millest gaasid koostuvad, tungivad samuti maa poole kui kõvade ja vedelate kehade aineosakesed. Tähendab, gaasidelgi on raskus, neid võib kaaluda, ehkki kõvade ja vedelate kehadega võrreldes on gaasid väga kerged.

Ôhu kaaluvust võime näidata järgmise katse abil (56. joon).

Imeme keedupudelist osa ôhku välja ja suleme näpitsa abil toru nônda, et sinna ôhku sisse ei pääseks. Nüüd tasakaalustame keedupudeli kaaludel. Näpitsat avades läheb ôhk vihisedes keedupudelisse ning tasakaal muutub. Kuidas? Mispärast? Kui palju ôhku oli välja imetud?

Märkus: Eelmise katse korraldamisel on kasulikum tasakaalustada kaalud pärast ôhu väljaimemist, mitte enne. Miks?



56. joonis. Ôhu kaalumine.

Täpsed mõõtmised näitavad, et **1 liiter õhku** kaalub normaaltingimustes (temp. 0^0, rõhum. 76 cm) **1,293 grammi** ($\sim$1,3 g).

1. Leia ôhu erikaal läbipôlenud elektripirni abil! Kuidas?

2. Mitu kg kaalub klassitäis ôhku normaaltingimustes?

3. Mitu korda on ôhk normaaltingimustes veest kergem?

4. Nimeta mõned gaasid, mis on ôhust kergemad, vst. raskemad!

5. Kui palju kaalub ôhk sinu ruumala suuruses?

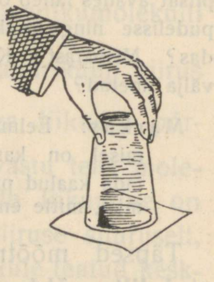
58. Õhu rõhumine. *Maad paksu kihina (200—300 km) ümbritsevat õhku nimetame Maa* õhkkonnaks *ehk* atmosfääriks. *Meie elame atmosfääri, õhumere, põhjas. Õhkkonna ülemised kihid rõhuvad oma raskusega alumisi kihte ja nõnda järjest edasi kuni maapinnani.*

Nagu nägime, on Pascali seadus maksev ka gaaside kohta ning gaasidel on raskus; seepärast kõik korrapärasused, mis leidsime varemini rõhumise kohta vedeliku sees, on maksvad täies ulatuses ka gaaside kohta. Sõnasta nad! Neist võime järeldada õhu kohta: Ülemiste kihtide raskuse mõjul kokkusurutud õhk rõhub iga keha, millega ta kokku puutub, ja mitte ainult ülalt alla, vaid igas suunas. Samuti kui vedelikuski, oleneb õhu rõhumise suurus kõrgemal oleva õhusamba raskusest.

Ôhu rõhumist tõendavad järgmised katsed.

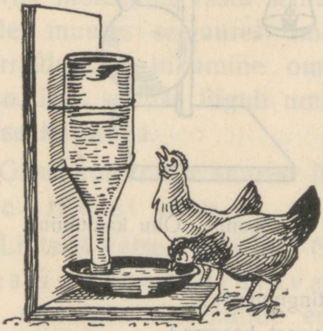
1. Täidame klaasi ääreni veega, katame papitükiga ja pöörame ümber (57. joon.). Vesi ei voola mitte välja, ka siis mitte, kui tugevasti raputada ja klaas küljeli pöörda.

2. 60. joon. kujutab katset, mis tegi õhupumba leiutaja Magdeburgi linnapää Otto von Guericke a. 1654, kus tihedalt kokkupandud ning õhust võimalikult tühjakspumbatud poolkerasid (sisemine läbimõõt 22 tolli) hobustega lahti kistakse.



57. Ôhu rõhumine ei lase veel klaasist välja voolata.

3. Täida pudel veega, pööra ümber ja aseta otsapidi vette! Vesi ei voola pudelist mitte välja. Mispärast? Mis juhtub siis, kui puurida pudeli põhja auk?



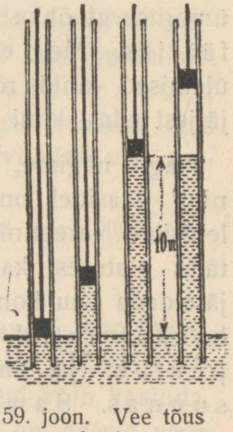
58. joon. Kanade jooginõu.

4. Õlekõrre abil võib vett, limonaadi jne. imeda. Seleta, kuidas see toimub!

5. Mispärast peavad linnud (koerad) teistviisi jooma kui inimene (hobune)?

6. Seleta, kuidas töötab 58. joon. kujutatud kanade jooginõu!

59. Torricelli katse. Nähtuste hulka, mis seletuvad õhurõhumise abil, kuulub ka vee tõusmine pumba torus, kus tõusva kannu taha jääb tühi ruum, mis veega täitub. Vanad kreeklased ja roomlased oletasid selle nähtuse seletuseks, et „loodus kardab tühja ruumi," milline seletis püsis kuni Galilei päevini. A. 1640 leidis Toscana hertsog, kes Florentsi lähedal ehitas endale sügavat kaevu, et vesi ei tõuse pumba torus kõrgemale kui umbes 10 m veepinnast (59. joon.). Imelikule nähtusele seletise saamiseks pöörduti elatanud Galilei poole, kes arvas, et vee tõusmise põhjuseks pumba torus on õhurõhumine. Galilei suri (a. 1642) enne, kui ta suutis oma arvamusi katseliselt tõendada. Selle töö viis lõpule Galilei õpilane Torricelli.

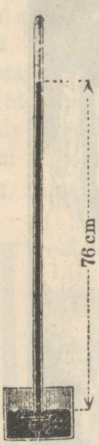


59. joon. Vee tõus pumba torus.

Torricelli mõttekäik oli järgmine: Kui õhu rõhumine suudab hoida ülal veesamba, mille kõrgus 10,3 m, siis peab elavhõbeda-samba kõrgus olema 13,6 korda

60. joon. Pilt on võetud Otto von Guericke raamatust „Uued Magdeburgi katsed tühja ruumi kohta“ ja kujutab õhurõhumise demonstreerimist Saksa Riigipäeva liikmeile Regensburgis pidulikult a. 1654.

väiksem, s. o. 10,3 m : 13,6 ≈ 76 cm, sest elavhõbeda erikaal on vee omast 13,6 korda suurem. Selle tõenduseks tegi Torricelli a. 1643 katse, mis praegugi kannab tema nime (61. joon.).



61. joon. Torricelli katse.

Umbes 80 cm pikkune klaastoru täidetakse elavhõbedaga, kaetakse toru lahtine ots sõrmega, pöördakse ümber ja pistetakse otsapidi elavhõbeda anumasse. Sõrme ära võttes langeb elavhõbe torus veidi allapoole ja jääb seisma umbes 76 cm kõrgusele, arvates elavhõbeda pinnast anumas.

Ôhk rõhub elavhõbeda pinnale anumas. Pascali seaduse järgi andub pinnasse mõjuv rõhumine elavhõbedas edasi igas suunas ühteviisi, tähendab, ka toru sisse, ja hoiab ülal elavhõbeda-samba.

Õhurõhumise muutumisega muutub ka elavhõbeda-samba kõrgus Torricelli katses. Maapinnast kõrgemale tõustes väheneb loomulikult õhurõhumine, järelikult ka elavhõbeda-samba kõrgus. Selle tähelepaneku tegid esimestena Pascal ja ta sugulane Perrier a. 1648.

1. Tarvita kahe erisuguse vedelikuga (elavhõbe ja õhk) täidetud ühendatud anumate omadust Torricelli katse seletamiseks! Arvuta sellest ühtlase atmosfääri kõrgus!

2. Kui pikk vähemalt peaks olema toru, et temaga saaks teha Torricelli katset petrooleumi abil?

3. Kuidas oleneb elavhõbeda-samba kõrgus Torricelli katses toru kujust ja sihist?

60. Õhurõhumise suurus. Torricelli katse annab lihtsa abinõu õhurõhumise suuruse määramiseks, nimelt: õhurõhumine võrdub tema poolt tasakaalustatud elavhõbeda-samba rõhumisega. Olgu näiteks elavhõbeda-samba kõrgus Torricelli katses 76 cm, siis võrdub elavhõbeda rõhumine iga cm^2 pääle elavhõbedast püstsamba raskusega, mille aluseks on 1 cm^2 ja kõrgus 76 cm. Niisuguse elavhõbedast püstsamba ruumala on 76 cm^3 ja kaal 13,6 · 76, s. o. 1,033 g, järelikult on siis elavhõbeda ja teda tasakaalustava õhu rõhumine $\mathbf{1033}\frac{g}{cm^2}$.

Ôhu rõhumist, mis tasakaalustab 76 cm kõrguse elavhõbeda-samba, nimet. **normaalrõhumiseks.**

1. Võrdle atmosfääri normaalrõhumist tehnilise atmosfääriga $\left(1\frac{kg}{cm^2}\right)$!

2. Kui tugevasti rõhub õhk inimese keha välispinda, mille suurus 2 m^2? Mispärast ei tunne me seda rõhumist?

3. Ôhurôhumise suurus (p mm elavh. s. k.) mitmesuguses kôrguses merepinnast (h km) on keskmiselt järgmine:

h km	0	10	20	30	40	50
p mm	760	217	51	9,3	1,24	0,11

Joonesta nende andmete pôhjal graafik, mis näitab ôhu rôhumise olenevust kôrgusest.

Leia saadud graafiku pôhjal ôhurôhumine Maa kôige kôrgema mäe tipus (Everest, 8840 m). Kuidas on lugu hingamisega sellel kôrgusel?

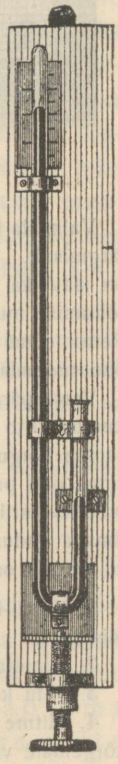
4. Leia ligikaudu Maa atmosfääri kaal tonnides!

5. Mitme m vôrra merepinnast kôrgemale tôustes väheneb Torricelli katses elavhôbeda-samba kôrgus 1 mm vôrra, oletades, et ôhk on igal pool ühtlase tihedusega?

6. Leia ôhurôhumine 60. joon. kujutatud Magdeburgi poolkeradele!

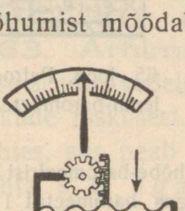
61. Baromeetrid. Baromeetriks nimetatakse riista, mille abil on võimalik mõõta õhurõhumist. Lihtsamaks baromeetriks on Torricelli katse tegemiseks tarvitatud riist (anum elavhõbedaga ja klaastoru); kõrguse loendamise otstarbel tuleb teda varustada skaalaga (astmikuga), mille null ühte langeb elavhõbeda nivooga anumas. Niisugune baromeeter nimet. **anumbaromeetriks.**

Sifoonbaromeeter (62. joon.) on lahtise otsa lähedusest kõveraks painutatud klaastoru, kus õhurõhumist mõõdab elavhõbeda nivoode vahe mõlemais torudes.



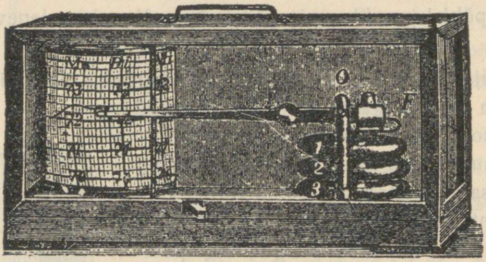
62. joon. Sifoonbaromeeter.

Igapäevases elus on väga laialt tarvitusel n. n. **aneroid-** ehk **metallbaromeetrid** (63. joon.). Nende oluliseks osaks on õhukindel metallkarbike, mille kaas on tehtud hästi vetruvast plekist. Õhurõhumise suurenedes paindub kaas veidi sissepoole, rõhumise vähenedes aga ümberpöördult. Karbi kaane võrdlemisi väikesed edasi-tagasi-nihkumised suurendatakse kangide ja hammasrataste süsteemi abil meile kergesti tähelepandavaiks osutiliikumisteks astmikul. Aneroidi astmik varustatakse jaotistega, mis vastavad elavhõbe-baromeetri omile.



63. joon. Aneroid.

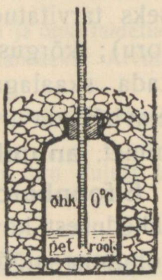
Riista, mis järjest üles kirjutab õhurõhumise iga momendi kohta, nimet. b a r o g r a a f i k s (64. joon.). See pole muud midagi, kui üleskirjutamis-vahenditega varustatud metallbaromeeter.



64. joon. Barograaf.

Metallbaromeetri näitamist tuleb vahete-vahel reguleerida, sest pleki elastsus muutub aja jooksul. N o r m a a l b a r o m e e t r i k s seejuures on elavhõbe-baromeeter.

Valmista 65. joonisel kujutatud petrooleum-baromeeter, mille töötamine seletub järgmiselt. Pudelis olev õhk hoitakse jäävas temperatuuris (0°C), seega on jääv ka ta rõhumine petrooleumi pinnale. Välisõhu rõhumise muutudes muutub petrooleumisamba kõrgus torus. Petrooleumi tõusmine ja vajumine torus ei muuda tunduvalt õhu ruumala pudelis.



65. joon. Petrooleum-baromeeter.

Varsti pärast baromeetri leiutamist (umbes a. 1650) ehitas kuulus Otto von Guericke endale vesi-baromeetri. Et veesamba kõrguse muutumine oleks paremini näha, pani ta sinna otsa puust mehe ujuma. Hää ilmaga seisis vesi baromeetris harilikult kõrgel ja mees ulatus üle katuse. Halva ilmaga kadus mees katuse varju. Seletuseks arvas rahvas, et leiutaja on kurivaimuga lepingusse astunud.

1. Metall-baromeetri karbike on õhust tühjaks pumbatud. Mispärast?

2. Nimeta aneroid-baromeetri hääd ja halvad küljed!

3. Mitu korda on petrooleum-baromeeter tundlikum elavhõbe-baromeetrist?

4. Mitme mm võrra muutub petrooleum-baromeetri kõrgus baromeetrit 1 m kõrgemale või madalamale asetades?

5. Missugune elavhõbeda-samba kõrgus baromeetris vastab rõhumisele 1 tehniline atmosfäär?

62. Baromeetri kasutamine. Varemini (§ 60) nägime, et maapinnast kõrgemale tõustes õhurõhumine väheneb. Nende kahe suuruse — õhurõhumine ja kõrgus merepinnast — vahel on kindel side, ehkki meie ei saa teda väljendada päris täpselt, sest siin on mõjumas väga mitmesugused tegurid (niiskus, temperatuur jne.); ka on üldse atmosfääri olek väga muutlik. Kuid siiski on võimalik merepinnast kõrgemale tõustes õhurõhumise suuruse põhjal kaunis õieti otsustada tõusu kõrguse üle. Sedaviisi määravad kõrgust õhusõitjad ja rändajad mägedes. Praktiliselt võib öelda, et maapinna läheduses iga **11 m** võrra kõrgemale tõustes baromeeter langeb **1 mm** võrra.

Palju laialdasem on baromeetri kasutamine ilmade ennustamisel. Vaatlused näitavad, et kuiva ilmaga on õhurõhumine harilikult kõrge, vihmase ilmaga — madal. Siin on põhjuseks n. n. *tsüklonid* (madalrõhu-ala) ja *antitsüklonid* (kõrgrõhu-ala), mis liiguvad kaunis püsivate õhkkonna-moodustistena mööda maad edasi ja toovad teatud ilma endaga kaasa. Õhurõhumise muutumise põhjal, ühtlasi arvesse võttes kõiki teisi andmeid, nagu pilvitust, tuule suunda ja kiirust, temperatuuri muutumist jne., on võimalik otsustada tsüklonite ja antitsüklonite liikumise üle ning siit ennustada tulevat ilma, harilikult 1—2 päeva ette.

1. Baromeeter näitab õhus 754 mm. Kui palju näitab sama baromeeter, kui teda vette asetada nõnda, et elavhõbeda alumine nivoo oleks veepinnast 1 m allpool?

2. Kui palju peaks baromeeter S. Munamäe otsas (310 m) vähem näitama kui merepinnal (Pärnus)? $\left(\frac{31}{11}\right)$

3. Mispärast õhu-rõhumine õõnsaid asju (pudelid, klaasid jne.) ära ei purusta? Kuidas suudab inimene ületada ta kehasse mõjuvat õhurõhumist?

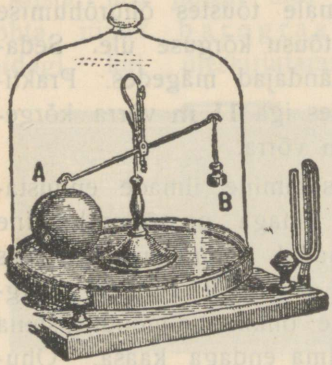
x siiani

63. Arhimedese seadus gaaside kohta.

Arhimedese seadus vedelikkude kohta järeldub Pascali seadusest ja vedelikkude raskusest. Et samad tingimused on täidetud ka gaaside suhtes, siis peab Arhimedese seadus olema maksev ka gaaside kohta, s. o. *iga gaasi asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub gaas selle keha ruumala suuruses.*

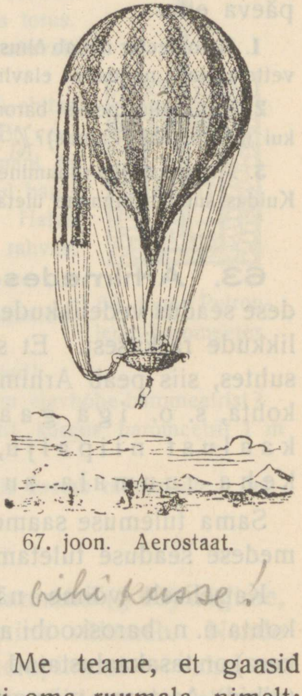
Sama tulemuse saame tarvitades § 42 toodud mõttekäiku Arhimedese seaduse tuletamiseks. Tee seda!

Katseliselt võime näidata Arhim. seaduse maksvust gaaside kohta n. n. baroskoobi abil (66. joon.). Ruumalalt suur keha (õõnes kera) on tasakaalustatud väikesel kangkaalul õhus väikese keha abil (vihid). Asetame niisuguse riista õhupumba kupli alla ja hakkame hõrendama õhku, siis kaob tasakaal ning suurem keha langeb alla, tähendab, suurem keha on absoluutselt raskem. Mispärast nad siis õhus kaalusid ühepalju?



66. joon. Baroskoop.

Järeldusena Arhimedese seadusest gaaside kohta võime öelda (nagu ujumise puhul vedelikes): iga keha, mis kaalub rohkem kui gaas selle keha ruumala suuruses, langeb selles gaasis alla; keha, mis kaalub vähem kui gaas selle keha ruumala suuruses, tõuseb selles gaasis üles. On aga keha ja gaasi kaalud sama ruumala puhul võrdsed, siis püsib keha selles gaasis tasakaalus. Sel gaaside omadusel põhjeneb õhupallide (aerostaat) ja õhulaevade (tsepelin) ehitus. Kergest tugevast materjalist (alumiinium, siid jne.) tehtud suured õõnsad kehad (67. joon.) täidetakse gaasiga, mis õhust kergem ja seepärast õhus tõuseb üles, nagu vesinik $\left(\text{erikaal } 0{,}09\frac{kg}{m^3}\right)$, valgustusgaas (erikaal $\left.0{,}75\frac{kg}{m^3}\right)$ jne. Õhupallide leiutajad vennased Montgolfier (a. 1783) tarvitasid selleks kuuma õhku.



67. joon. Aerostaat.

1. Mispärast seebimullid õhus vahel tõusevad üles, vahel aga langevad alla? Suul

2. Kõige harilikumaks õhupallide täiteaineks on oma kättesaadavuse tõttu valgustusgaas. Mitu m^3 valgustusgaasi kulub vähemalt õhupalli täiteks, mis üles tõstaks 3 inimest (à 75 kg), kui õhupall ise kaalub 100 kg? ~~X~~ / Kirj.

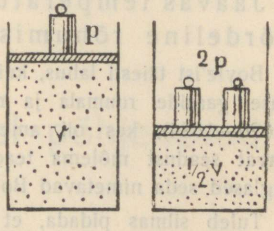
3. Kui palju kaalub sinu keha õhus vähem kui tühjas ruumis? Suul.

4. Kas on rahva naljal „kumb raskem: kas nael tina või nael villu" mingisugust füüsikalist alust? Kirjal puhtasse vihikusse!

Suul -

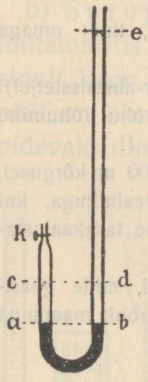
64. Boyle-Mariotte'i seadus. Me teame, et gaasid muudavad rõhumise muutumisel kergesti oma ruumala, nimelt: rõhumise suurenedes gaasi ruumala väheneb ja ümberpöördult.

Et gaasi rõhumine tasakaalustab välisrõhumise, siis suureneb ruumala vähenedes ka gaasi oma rõhumine. Kujutluse põhjal, et gaas koostub kiiresti liikuvaist molekulest, on gaasi rõhumine molekulide alalise „pommitamise" (põrgete) tagajärg. Sellest järeldub, et ruumala vähenedes näiteks 2 korda molekulide anuma seina pommitamine (põrgeta arv) läheb 2 korda sagedamaks (seleta ligemalt, mispärast), s. o. rõhumine suureneb 2 korda (68. joon.).



68. joon. Gaasi ruumala vähenemine rõhumise suurenedes.

Täpsema olenevuse antud gaasihulga ruumala ja talle vastava rõhumise vahel avastas kõige esiti iirlane Robert Boyle (1626—1691).



69. joon. Boyle'i katse.

Kõverasse torru, kui kraan K lahti, valame elavhõbedat kuni nivooni ab (69. joon.). Keerame kraani kinni, seega eraldame torus ac teatud hulga õhku, mille rõhumine võrdub välisõhu rõhumisega. Lahtises torus elavhõbedat juurde valades suurendame eraldatud õhu rõhumist nii kaua, kuni ta ruumala endisega võrreldes läheb 2 korda väiksemaks. Nüüd mõõdame elavhõbeda nivoode vahe lahtises ja kinnises harus; see võrdub elavhõbeda-samba kõrgusega baromeetris. Tähendab, endisega võrreldes on nüüd õhk kinnises torus 2 korda suurema rõhumise all (õhurõhumine + elavhõbeda-samba oma). Et gaasi ruumala oleneb ka temperatuurist, tuleb kogu katse jooksul temperatuur jätta muutumatuks.

Märkus: Eelpoolkirjeldatud katse korraldamiseks sellekohase riista puudumisel võib väga hästi demonstreerida Boyle'i seadust peenikese (seesmine läbimõõt $\sim$ 2 mm) umbes 80 cm pikkuse klaastoru abil. Lähemalt selle kohta vaata: E. Kilkson, Füüsika praktilised tööd keskkoolis, töö nr. 21.

Rõhumise (p) suurust muutes ja vastavad ruumala (v) suurused mõõtes leidis R. Boyle nende kahe suuruse vahel järgmise olenevuse:

Jäävas temperatuuris on antud gaasihulga rõhumine **(p)** pöördvõrdeline ruumalaga **(v)**, s. o.

$$\mathbf{p : p_1 = v_1 : v} \text{ ehk } \mathbf{pv = p_1 v_1 = const.}$$

Et antud gaasihulga ruumala vähendades ta tihedus suureneb nii mitu korda, kui mitu korda vähenes ruumala, siis võime Boyle'i seaduse väljendada ka järgmiselt:

Jäävas temperatuuris on antud gaasihulga tihedus võrdeline rõhumisega.

Boyle'ist täiesti lahus, kuid veidi (17 aastat) hiljemini, leidis sama korrapärasuse gaaside ruumala ja rôhumise vahel ka prantslane Edmonde Mariotte (1620—1684), kes oli ametilt kloostri ülem. Seepärast nimetame käsiteldavat seadust môlema teadusemehe auks Boyle-Mariotte'i seaduseks, ehkki inglased seda nimetavad Boyle'i ja prantslased Mariotte'i seaduseks.

Tuleb silmas pidada, et Boyle-Mariotte'i seadus ei ole mitte päris täpne, iseäranis kôrgete rôhumiste ja madalate temperatuuride puhul. Ka ei käi kôik gaasid ühteviisi täpselt selle seaduse järgi, näiteks vesinik rohkem kui lämmastik.

1. Seleta, milles seisab sisse- ja väljahingamine ning joomine!

2. Leia ligikaudu ôhu tihedus Everesti tipul, kus rôhumine on ainult umbes 25 cm! Mitu korda minutis tuleks sääl sisse ja välja hingata, et sama palju hapnikku kopsudesse juhtida kui maapinnal?

3. Missuguse rôhumise puhul oleks ôhu tihedus vee (raua, tina) omaga ühesugune?

4. Joonesta graafik Boyle-Mariotte'i seaduse kujutamiseks (v-abstsissteljel)!

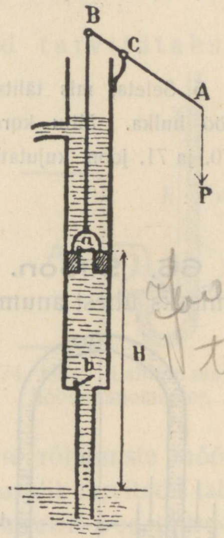
5. Manomeeter näitab, et ôhupumba kupli alla järelejäänud ôhu rôhumine on 2 cm. Leia selle ôhu tihedus ja kaal, kui kupli ruumala on 3 *l*!

6. Tsepelin, mille kera mahtuvus on 100 000 m^3, lendab 500 m kôrgusel, kus rôhumine on 717 mm ja temp. 0^0 C. Täites gaasisalved vesinikuga, kui palju jääb ôhu altrôhust üle tsepelini oma kui ka reisijate raskuse tasakaalustamiseks?

7. Prof. Piccard stratosfääri uurimisel 1931. a. kasutas ôhupalli, mille gaasipallongi mahtuvus oli 14000 m^3. Kui suur oli sel puhul ôhu altrôhk maapinna lähedal ($p = 760$ mm; $t = 0^0$ C)?

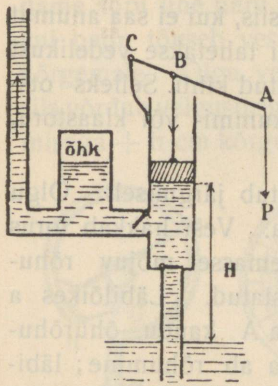
Mõned gaaside omadustel põhjenevad riistad

65. Veepumbad. a) I m e j a p u m b a ehitus ja töötamine selgub 70. joonisest. Säärasena on teda inimsugu juba üle 2000 aasta tarvitanud. Tuleb tähele panna, et k l a p i d v õ i v a d l a h t i k ä i a a i n u l t v e e l i i k u m i s e s u u n a s.



70. joon. Imejapump.

b) S u r u j a p u m b a (71. joon.) ehitus ja töötamisviis on sarnane imejapumba omaga, ainult kann on ilma klapita ja ülemise klapi pääl on õhureservuaar, mis teeb vee surumist pidevaks ning ühtlaseks. Surujapumpa tarvitatakse vee juhtimiseks reservuaaridesse, mis pumpamiskohast kõrgemal või kaugemal.



71. joon. Surujapump.

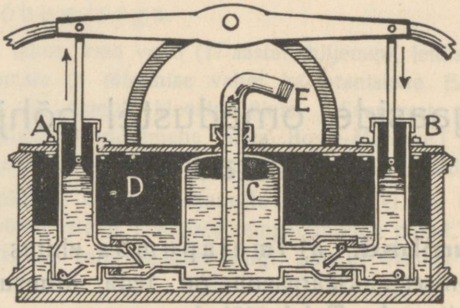
c) T u l e t õ r j e p r i t s (72. joon.) pole muud midagi, kui kahe surujapumba ühendis. Selgita joonise põhjal ta ehitust ja töötamist!

1. Kui kõrgele veepinnast võiks panna teoreetiliselt veepumba ülemine klapp? Vasta sama küsimus elavhõbeda ja petrooleumi kohta!

2. Harilikult panevad pumbameistrid veepumba ülemise kannu 7—8 m kaugusele veepinnast. Millega on see põhjendatud?

3. Et pump „hakkaks võtma", valatakse temale sagedasti enne vett sisse. Mispärast?

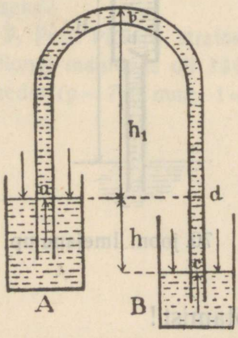
4. Millest tuleb, et üks pump on teisest palju „raskem"?



72. joon. Tuletõrje-prits.

5. Seleta, mis tähtsus on pumbaraual ja kuidas mõõta pumpamisel tehtud töö hulka. Mitu korda võidame tungi suuruselt ja kaotame tee pikkuselt 70. ja 71. joon. kujutatud pumbaga töötamisel?

66. Sifoon. Sifooni tarvitatakse vedelikkude ümbervalamiseks ühest anumast teise (73. joon.), eriti siis, kui ei saa anumat paigalt nihutada või kui tahetakse vedelikust ümber valada ainult teatud kihti. Selleks otstarbeks võib tarvitada kummi- või klaastoru, võilille-õie vart jne.



73. joon. Sifoon.

Sifooni tegevus seletub järgmiselt. Olgu toru abc täidetud veega. Vesi hakkab torus voolama siis, kui temasse mõjuv rõhumine pole tasakaalustatud. Läbilõikes a mõjub alt üles anuma A kaudu õhurõhumine miinus veesamba ab rõhumine; läbilõikes c aga anuma B kaudu õhurõhumine miinus veesamba bc rõhumine. Veesamba bc rõhumine on veesamba ab rõhumisest suurem veesamba cd rõhumise võrra; samal määral on ka läbilõikes a rõhumine alt üles suurem talle otse vastu suunatud rõhumisest läbilõikes c, ja vesi hakkab torus liikuma abc suunas senikaua, kui kaob ära kõrguste vahe ning sellega ühtlasi rõhumiste vahe.

Vedeliku voolu sifooni torus võib võrrelda nööri liikumisega ploki rattal: samuti kui nöörgi — langeb vedelik pikema otsa suunas; õhurõhumise mõjul ei katke vedelik sifooni torus.

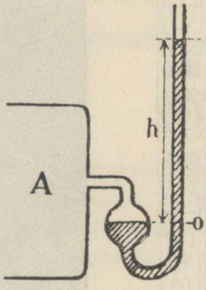
Selgituseks on kasulik silmas pidada matemaatilist analoogiat: niipalju kui me samast arvust (õhurõhumine) rohkem lahutame (veesamba ab ja bc kõrguste vahe), selle võrra jääb meil vähem järele. Näide arvudega: 10 — 4 = 6; 10 — 7 = 3; 7 — 4 = 6 — 3.

1. Kui kõrgel võib olla sifooni koolukoht (läbilõige b) nivoost anumas A vee ümbervalamisel?

Vasta sama küsimus elavhõbeda ja piirituse suhtes!

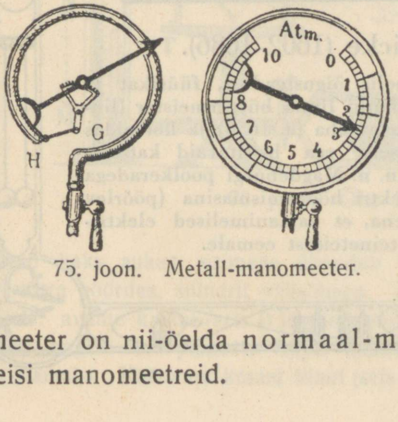
2. Kas sifoon töötab sama hästi, kui me ta paneme õhupumba kupli alla ja hakkame õhku hõrendama?

67. Manomeetrid. M a n o m e e t r e i d t a r v i t a t a k s e g a a s i d e j a a u r u r õ h u m i s e s u u r u s e m ä ä r a m i s e k s. Lihtsaim neist on lahtiste otstega kõver toru veega, ehk n. n. v e s i - m a n o m e e t e r, nagu nägime §§ 39 ja 56. Kui tahame tema abil määrata näiteks valgustusgaasi rõhumist linna võrgus, siis ühendame toru ühe haru gaasitoruga ja vaatame, kui palju tõuseb vesi teises (lahtises) harus kõrgemale. Olgu vee nivoode vahe h cm, siis võrdub valgustusgaasi rõhumine õhurõhumisega + h cm kõrguse veesamba rõhumine.



74. joon. Lahtine elavhõbe-manomeeter.

Suuremate rõhumiste mõõtmisel on kasulik tarvitada lahtises manomeetris vee, petrooleumi jne. asemel raskemat vedelikku, nimelt elav-hõbedat. Ka tehakse siis harilikult toru ühe haru asemel jämedam reservuaar, et 0-punkt jääks ligikaudu muutumatuks (74. joon.). Elavhõbe-manomeeter on nii-öelda n o r m a a l - m a n o m e e t e r, millega võrreldakse teisi manomeetreid.



75. joon. Metall-manomeeter.

Görike.

Otto von Guericke (1602–1686).

Noorena õppis mitmes ülikoolis õigusteadust, füüsikat ja matemaatikat. Pärast Magdeburgi linna bürgermeister (linnapää). Leiutas õhu hõrenduspumba (a. 1650) ja korraldas õhurõhumise demonstreerimiseks rea huvitavaid katseid, millest väga tuntud on katse n. n. Magdeburgi poolkeradega (vaata 60. joon.). Ehitas elektri hõõrumismasina (pöörlev väävlikera) ja näitas esimesena, et samanimelised elektrilaengud tungivad teineteisest eemale.

Tööstuses tarvitatakse harilikult metall-manomeetreid (75. joon). Nende ehitamine põhjeneb õhukeste seintega kõverakskäändud metalltorukeste omadusel korrapäraselt oma kuju muuta (deformeeruda), kui muutub rõhumine nende sees. Rõhumise suurenedes läheb toru veidi õgvemaks, sest toru välispind on sisepinnast suurem ja seetõttu rõhumine välispinnale tugevam; rõhumise vähenedes tekib vastupidine nähtus. Kangikeste abil tehakse toru otsa nihkumised nähtavaks osuti liikumiseks astmikul. Muidugi toimetatakse metall-manomeetri kaliibrimist mõne teise, n. n. normaal-manomeetri abil.

1. Leia gaasi rõhumine $\left(\frac{g}{cm^2}\right)$ linna võrgus, kui 754-mm-lise õhurõhumise puhul vesi-manomeetri nivoode vahe oli 4,5 cm.

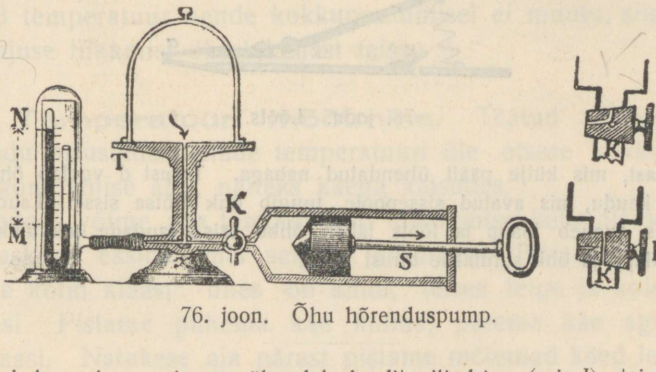
2. Nimeta petrooleum-manomeetri hääd küljed võrreldes vesi-manomeetriga (soovitatav tarvitada *radix alcannae* abil punaseksvärvitud petrooleumi).

3. Mitu korda on petrooleum-manomeeter elavhõbe-manomeetrist tundlikum?

4. Kui kõrge elavhõbeda-sammas annab rõhumise 10 tehn. atmosfääri?

5. Varemini mõõdeti rõhumist harilikult $\frac{nael}{toll^2}$-des. Mitu tehnil. atmosfääri on 120 $\frac{nael}{toll^2}$-i ?

68. Õhu hõrenduspump. Hõrenduspumba abil hõrendame õhku antud ruumis. Ta tegevus selgub 76. joon. kujutatud skeemist. Kuppel, milles õhku hõrendame, lasub lihvitud taldrikul T ja on ühendatud toruga kraani K kaudu silindriga S. Silindris liigub edasi-tagasi umbne kann. Kraanist K on



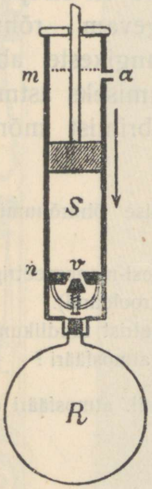
76. joon. Õhu hõrenduspump.

tehtud kaks auku: esimene ühendab kuplit silindriga (seis I), teine, kraani 90^0 võrra pöördes, silindrit välisõhuga. Pumpamine (hõrendamine) toimub järgmiselt: avame kraani (seis I) ja tõmbame kannu väljapoole niipalju kui võimalik. Nüüd tungib õhk paisudes kupli kannu taga olevasse ruumi, jäädes kuplis hõredamaks. Kääname kraani kinni (seis II) ja lükkame kannu teise otsa tagasi.

Seega surume kõik õhu silindrist välja. Pöörame uuesti kraani seisu I ja tõmbame kannu välja, hõrendades seega uuesti õhku kuplis, jne. Iga väljatõmbega muutub õhk kuplis hõredamaks. Sedaviisi kannu edasi-tagasi liigutades vôime viia õhu kuplis vajalise hõreduseni, kuid kuplit õhust täitsa tühjaks teha me ei saa.

Et otsustada hõreduse määra üle, ühendatakse kuppel sifoon-baromeetriga. Elavhõbeda nivoode vahe näitab õhu hõrendusemäära kuplis.

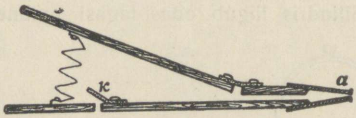
Õhu hõrenduspumba leiutaja oli Magdeburgi bürgermeister Otto von Guericke umbes a. 1650. Praegusel ajal on tarvitusel mitmel teisel viisil ehitatud õhupumbad, mis annavad sagedasti palju kiiremini vajalise hõrenduse.



77. joon.
Õhu surujapump.

69. Õhu surujapump. Tahame õhku mõnesse kinnisesse anumasse rohkem koguda, kui see hariliku rõhumise juures toimub iseendast, näit. jalgratta kummide täitmine, priimus, õhupost jne., siis tarvitame selleks õhu surujapumpa. Tema ehitus selgub 77. joon. Silindris S liigub tihedalt umbne kann. Silindri alumises osas on allapoole lahti käiv klapp (ventiil) v. Kannu varre abil alla lükates surume silindris oleva õhu klapi vahelt läbi anumasse R. Klapp käib vedru abil kinni. Tõmbame kannu ülemisse otsa, siis tungib õhk läbi augu a uuesti silindrisse.

70. Lõõts. Lõõts pole muud midagi kui õhu surujapump. Teda tarvitatakse tugeva õhuvoolu saamiseks sepapajas, mesilas jne. Lõõts 78. joon koostub kahest liiku-



78. joon. Lõõts.

vast lauast, mis külje päält ühendatud nahaga. Torust d voolab õhk välja; klapi k kaudu, mis avatud sissepoole, tungib õhk lõõtsa sisse. Laudu laiali tõmmates avaneb klapp ja lõõts läheb õhku täis; laudade kokkulükkamisel sulgub klapp ja õhk surutakse torust välja.

Soojus

Temperatuuri mõõtmine

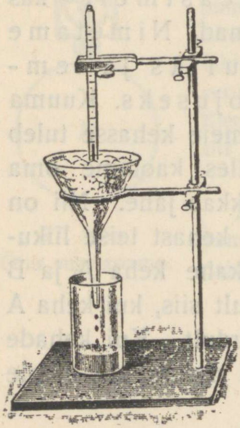
71. Temperatuur ja soojus. Ümberolevaid asju katsudes tunneme, et nad on oma soojuseastmelt kas kuumad, palavad, soojad, leiged, jahedad või külmad. Nimetame keha soojuseastme ta temperatuuriks ja temperatuuri muutumise põhjuse—soojuseks. Kuuma ahju ääres seistes tunneme, et ahjust soojust meie kehasse tuleb juurde ja meil hakkab soe; jahedas toas olles kaotame oma kehast soojust ümberolevasse õhku ja meil hakkab jahe. Nii on siis kehade temperatuuride vahe soojuse ühest kehast teise liikumise eeltingimuseks. Üldse võime öelda, et kahe keha A ja B kokkupuutumisel voolab soojus A-st B-sse ainult siis, kui keha A temperatuur on B omast kõrgem, ja ümberpöördult. Kui kehade A ja B temperatuur nende kokkupuutumisel ei muutu, siis ei ole ka soojuse liikumist ühest kehast teise.

72. Temperatuuri mõõtmine. Teatud piires võime ligikaudu otsustada kehade temperatuuri üle otsese kokkupuutumise, kompamise abil, näiteks käega katsudes.

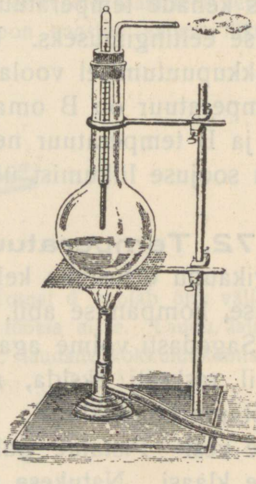
Sagedasti võime aga temperatuuri määramisel keha otsese tunde abil raskesti eksida, mis selgub järgmisest lihtsast katsest. — Võtame kolm klaasi: ühes on külm, teises leige ja kolmandas soe vesi Pistame pahema käe külma, parema käe aga sooja vee klaasi. Natukese aja pärast pistame mõlemad käed leige vee klaasi. Nüüd tunneb pahem käsi leiges vees sooja, parem — külma. Sellest näeme, et käe tunne temperatuuri määramisel ei ole mitte alati õige. Ka mõjuvad väga külmad (vedel õhk) ja soojad (kuum raud) kehad meie temperatuurimeelde ühteviisi „põletavalt“, tekitades valu. Täpsemaks temperatuuri määramiseks tarvitatakse sellekohaseid riistu, mida nimetatakse soojamõõtjaiks ehk termomeetreiks. Nende ehitus põhjeneb kehade omadusel paisuda soojendamise mõjul.

Too näiteid, kus sama temperatuuriga kehad katsudes näivad olevat erisuguse temperatuuriga.

73. Termomeetri ehitamine. Peenikesele ühtlasele klaastorule puhutakse ühte otsa kerakujuline või pikergune anum ehk reservuaar. Anum ja osa torust täidetakse puhta kuiva elavhõbedaga. Nüüd kuumutatakse elavhõbedat nii palju, et ta paisudes täidaks toru kuni lõpuni, ja sulatatakse toru ots kinni. Jahtumisel kokku tõmbudes jääb elavhõbeda asemele torus tühi ruum. Soojendamisel paisub elavhõbe ja ta sammas pikeneb; jahtumisel tekib vastupidine nähtus. Tähendab, elavhõbeda-samba pikkus termomeetri torus on seotud temperatuuriga ja suureneb temperatuuri tõusuga. Temperatuuri kõrguse ja elavhõbeda-samba pikkuse olenevuse ligemaks määramiseks varustatakse termomeeter skaala ehk astmikuga, mis toimub järgmiselt.



79. joon. Termomeetri nullpunkti määramine.



80. joon. Termomeetri keemispunkti määramine.

Võtame termomeetri ja asetame ta sulavasse jäässe (79. joon.). Niikaua kui jää sulab, seisab elavhõbe termomeetri torus ühel ja selsamal kõrgusel. Sellest järeldame, et jää sulamistemperatuur on jääv. Märgime elavhõbeda-samba otsa asukoha kriipsuga. See on termomeetri üks **jääv** ehk **põhipunkt** ja nimetatakse **jää sulamispunktiks.** Nüüd võtame termomeetri ja asetame ta keeva vee auru (80. joon).

Elavhõbe torus järjest tõuseb ja jääb viimaks seisma senikauaks, kui vesi keeb, tähendab, ka vee keemistemperatuur on jääv. See on termomeetri **teine jääv** ehk **põhipunkt** ja seda nimetatakse **vee keemispunktiks**. Jäävate punktide vahe jagatakse võrdseiks osadeks. Selle järgi, mitmeks võrdseks osaks me jagame keemis- ja sulamispunktide vahe, saame mitmesugused termomeetri skaalad ehk astmikud.

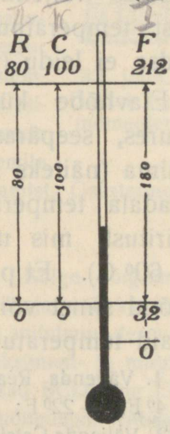
Kuidas muutuks temperatuuri muutudes vedelikusamba kõrgus termomeetri torus sel juhul, kui toru aine paisuks vedelikust rohkem?

74. Termomeetri skaalad. Praegusel ajal on tarvitusel jäävate punktide vahe jagamisel pügalaiks 3 viisi: Réaumuri, Celsiuse ja Fahrenheit'i oma (81. joon.).

Réaumur (loe: reomüür) jagas jäävate punktide vahe **80 võrdseks osaks,** mida nimetatakse **kraadideks** ehk **pügalaiks** (^{0}). Réaumuri järgi on jää sulamispunkti temperatuur 0^0, vee keemispunkti temperatuur 80^0 (81. joon.).

Celsius jagas sama vahe **100 võrdseks osaks,** järelikult on Celsiuse järgi jää sulamispunkti temperatuur 0^0, vee keemispunkti oma aga 100^0.

Fahrenheit märkis jää sulamispunkti temperatuuri 32^0 ja vee keemispunkti temperatuuri 212^0, tähendab, jäävate punktide vahe on jagatud 212—32, s. o. **180 võrdseks pügalaks.** Fahrenheiti nullpunkt on seega 32 Fahrenheiti pügalat allpool jää sulamispunkti.



81. joon. Termomeetri skaalad.

Réaumuri skaalat tarvitatakse suurel määral Eesti- ja Venemaal, Fahrenheiti oma Inglismaal, tema asumail ja Ameerikas, Celsiuse skaalat teaduslikes töis ja suuremas osas teisis kultuurmais.

Eesolevast selgub, et R, C ja F skaala järgi on temperatuuri pügalate suurused seotud järgmiselt:

$$80 \text{ R} = 100 \text{ C} = 180 \text{ F}.$$

tähendab

$$\mathbf{4\ R = 5\ C = 9\ F.}$$

Saadud võrduse abil on kerge temperatuuri ümber arvutada ühest skaalast teise.

4R = 5C = 9F

Näiteks: $20^0\,R = \left(\frac{20\cdot 5}{4}\right)^0 C = 25^0\,C$; $15^0\,C = \left(\frac{15\cdot 4}{5}\right)^0 R = 12^0\,R$;
$16^0\,R = \left(\frac{16\cdot 9}{4} + 32\right)^0 F = 68^0\,F$; $-13^0 F = -\left(\frac{(13+32)\cdot 5}{9}\right)^0 C = -25^0 C$;
$95^0\,F = \left(\frac{(95-32)\cdot 4}{9}\right)^0 R = 28^0$ R jne.

Samasugused pügalad kui jäävate punktide vahel märgitakse ka allapoole nullpunkti. Pügalate arv ülalpool nullpunkti tähendatakse positiivsete (+), allpool negatiivsete (–) arvudega.

Teaduslikes töis võetakse temperatuuri mõõtmisel nullpunktiks sagedasti n. n. **absoluutne null,** mis on 273 C pügalat allpool jää sulamistemperatuuri. Absoluutsest nullist temperatuuri mõõtes väljenduvad kõik temperatuurid absoluutsete arvudega, sest temperatuuri, mis oleks absoluutsest nullist madalamal, üldse ei leidu (v. § 90).

Elavhõbe külmub kõvaks — 39^0 C juures ja keeb + 357^0 C juures, seepärast ei saa tarvitada elavhõbe-termomeetrit kange külma (näiteks Põhja-Siberis) ega kõrge kuumuse mõõtmiseks. Madala temperatuuri mõõtmisel tarvitatakse elavhõbeda asemel piiritust, mis mitte nii kergesti kõvaks ei külmu (kõlblik kuni — 60^0 C). Et piiritus kergemini silma paistaks, lisandatakse talle mõnd sinist või punast värvainet. Veel kõrgemaid või madalamaid temperatuure mõõdetakse **gaas-termomeetri** abil (v. § 91).

1. Väljenda Réaumuri kraadides: + 30^0 C; + $22{,}5^0$ C; — 20^0 C; — 273^0 C — 4^0 F; — 22^0 F; + 14^0 F; + 50^0 F; + 221^0 F.

2. Väljenda Celsiuse kraadides: + 24^0R; + 30^0R; — 8^0R; — 75^0 R; — 4^0F; + 5^0 F: + 41^0 F; + 122^0 F.

3. Väljenda Fahrenheiti kraadides: + 32^0 R; — 6^0 R; — 20^0 R; — 15^0 C; + 50^0 C; — 8^0C; — 273^0 C.

4. Kui kõrge on inimese keha normaaltemperatuur (+ $98{,}4^0$ F) R ja C skaala järgi?

5. Leia temperatuur, mis avaldub R ja F ning C ja F skaalade (astmikkude) järgi sama kraadide arvuga.

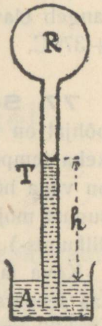
6. Lahenda eelmine ülesanne sel juhul, kui kraadide arvu absoluutsed suurused on võrdsed, kuid märgid vastupidised.

7. Mispärast ei tarvitata termomeetrivedelikuna vett, vaid enamasti elavhõbedat?

8. Vedela õhu temperatuur on — 180^0 C. Kui palju see on R ja F järgi?

75. Termomeetri ajalugu. Esimese termomeetri (termoskoobi) ehitas kuulus Galilei, Paadua ülikooli professor Itaalias, a. 1592. Galilei termomeetri ehitus on väga lihtne, nagu selgub 82. joon. Reservuaariga varustatud pikk toru on otsapidi vette pistetud. Temperatuuri langedes tõmbub õhk kokku ja vesi torus tõuseb kõrgemale, temperatuuri tõustes ümberpöördult. Kuid selle riistaga on võimalik näidata temperatuuri muutumist ainult väikesis piires ja vähese täpsusega. Päälegi näitab ta ühtlasi ka õhurõhumise muutumist.

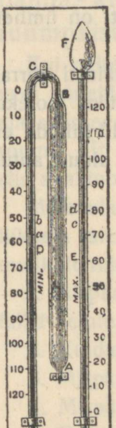
Jäävaiks punktideks olid esialgu Toskaana kõige madalam talve- ja kõige kõrgem suvetemperatuur (päikesepaistel). XVII sajandi lõpul avastati, et jää sulamis- ja vee keemistemperatuur on jääv (Renaldini, Hooke, Boyle). Newton (1643—1727) tarvitas termomeetri toru täitmiseks linaõli ja võttis jäävaiks punkteks jää sulamis- ning inimese keha temperatuuri. Esimese elavhõbetermomeetri ehitas Daniel Fahrenheit (1686—1736), klaasipuhuja Amsterdamis. Fahrenheit võttis skaala pügalaiks jagamise aluseks 3 jäävat punkti: kõige madalam tolle aja kunstlik temperatuur (0°F), jää sulamistemperatuur (32°F) ja inimese kehasoojus (96°F). Aastal 1730 soovitas Réaumur, zooloogiaprofessor Pariisis, võtta jäävaiks punkteks jää sulamis- ja vee keemistemperatuuri ning jagada vahe 80-ks võrdseks pügalaks. Upsala ülikooli professor Celsius tegi a. 1742 ettepaneku jagada samade jäävate punktide vahe 100-ks võrdseks osaks. Kümnendsüsteemile vastavuse tõttu on see jaotus leidnud kõige laialdasemat tarvitamist. Gaastermomeeter võeti tarvitusele XIX sajandi keskpaigu.



82. joon. Galilei termomeeter.

76. Maksimum- ja miinimum-termomeeter.

Kõige kõrgema ja madalama temperatuuri märkimiseks teatud aja, näiteks ööpäeva, jooksul tarvitatakse n. n. maksimum- ja miinimum-termomeetreid. 83. joon. on kujutatud S i x'i maksimum- ja miinimum-termomeeter. Reservuaar AB ja toru osad BCD ning EF on täidetud alkoholiga, toru osa DE aga elavhõbedaga. Mõlemal pool torus elavhõbeda-samba otsas on väikesed rauast näitajad ab ja cd, mis vähese hõõrumisega liiguvad torus edasi-tagasi. Elavhõbeda rõhumine lükkab näitaja torus edasi, hõõrumine aga takistab näitajal oma kohalt ära nihkuda kas raskuse või mõnel teisel põhjusel.


83. joon. Six'i miin. ja maksimumtermomeeter.

Magnetiga seatakse vaatluse alul näitajad elavhõbeda-samba otsa. Oletame, et temperatuur tõuseb, siis paisub alkohol anumas AB ja lükkab elavhõbeda-samba DE ühes näitajaga cd paremas torus kõrgemale. Elavhõbeda-samba otsas olev alkohol kogundub reservuaari F. Kui temperatuur hakkab langema, langeb paremas torus ka elavhõbeda-sammas, jättes näitaja cd sinna, kus ta oli kõige kõrgema temperatuuri puhul (joonisel ~ 75°). Skaala on tehtud nõnda, et näitaja alumine ots (c) osutab otsitavat kõige kõrgemat temperatuuri. — Kõige madalama temperatuuri puhul on pahempoolses torus elavhõbeda-sammas kõige kõrgemal ja näitaja ab ots a osutab kõige madalamat temperatuuri.

Inimese kehasoojuse môôtmiseks tarvitatava maksimumtermomeetri toruke on reservuaari juures ôige peenike ning kôveraks käändud, nii et elavhôbe paisudes küll tôuseb, jahtudes aga iseendast ei lange mitte alla, vaid katkeb ja jääb endises kôrguses torukeses peatuma. Ainult tugevasti raputades langeb elavhôbe uuesti alla. — Inimese keha normaaltemperatuur on umbes $+37^0$ C.

77. Soojus molekulaarhüpoteesi põhjal. Molekulaarhüpoteesi pôhjal on iga keha ainemolekulid alalises liikumises, mille kiirusest oleneb keha temperatuur. Gaasimolekulid vôrreldes vedelikkude ja kôvade kehadega on väga hôredalt ruumis, seepärast ei avalda kohesioontungid peaaegu mingisugust môju ja kogu soojuse juurdevool gaasis muutub molekulide kineetiliseks (liikumis-) energiaks.

Kôva ja vedela keha molekulid on tugevasti seotud kohesioontungidega, ei saa seepärast vabalt liikuda nagu gaasimolekulid. Kuid nemadki on alalises vônkliikumises oma keskmise asukoha ümber. Temperatuuri tôustes läheb kôva ja vedela keha molekulide vônkliikumine tugevamaks (amplituud suureneb), s. o. molekulide liikumisenergia suureneb. Pääle liikumisenergia on kôva ja vedela keha molekulidel nende suure läheduse tôttu ka potentsiaalenergiat (kohesioontungide môju). Nähtavasti suureneb temperatuuri tôustes ka molekulide potentsiaalenergia. Missugune osa soojusest kôva ja vedela keha molekulide kineetilise, missugune osa potentsiaalse energia kuju omandab, ei ole teada.

Iga liikuv keha vôib tööd teha, temas on energiat. Soojus on keha molekulide kineetiline (liikumis-) energia, tähendab, ka soojus on energia, tema arvel saab tööd teha, nagu meie seda teame aurumasinast. Samuti on ümberpöördult vôimalik liikumist muuta soojuseks (hoog, hôôrumine).

Kôneldes molekulide liikumisest peab silmas pidama, et see on täiesti korraldamatu (kaootiline) liikumine oma suunalt kui ka suuruselt: üks molekul liigub ühes, teine teises suunas, ka sama molekul vôib igal momendil liikuda eri suunas; kiiruse suurused erinevad üksteisest ja vôib kônelda ainult antud temperatuurile vastavast molekulide keskmisest kiirusest.

Kehade paisumine soojendamisel

Kõvade kehade paisumine

78. Paisumisest üldse. Igapäevase elu tähelepanekuist teame, et kõigil kehadel, olgu nad kõvad, vedelad või gaasid, on ühine omadus soojendamisel paisuda, jahtumisel aga kokku tõmbuda. Näited: raudtee-rööpad päikesepaistel, vesi kohvimasinas, petrooleum pudelis, õhk põies ning kummipallis kuuma ahju ääres jne.

Too veel näiteid kehade paisumise kohta!

Kehade paisumise lähemal tundmaõppimisel tuleb teha vahet pikuti ehk joon-, pind- ja ruumpaisumise vahel.

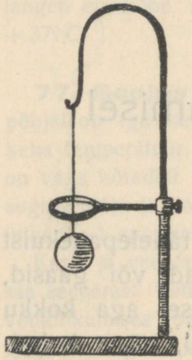
Kõvade kehade juures võime kõiki kolme paisumisliiki tähele panna, kuna vedelikkude ja gaaside juures võib kõnelda ainult ruumpaisumisest.

Kui näiteks elavhõbeda-sammas termomeetri torus pikeneb, siis ei saa siin veel kõnelda elavhõbeda joonpaisumisest, vaid ikkagi ruumpaisumisest. Ruumala suurenedes tungib elavhõbe oma osakeste liikuvuse tõttu sinna, kus on vaba ruumi. Et ruumala suurenemine võib toimuda ainult samba pikenemise arvel, siis avaldubki selles ruumpaisumine.

Molekulaarhüpoteesi põhjal hakkavad keha molekulid temperatuuri tõusmisel liikuma laiemalt (suurema kiiruse ja amplituudiga), tarvitades selleks ka loomulikult rohkem ruumi, mille tagajärjeks ongi keha üldine paisumine.

1. Mispärast aetakse raudrehv rattale päälepanemisel kuumaks, samuti raudtalad seinte kokkutõmbamisel?
2. Kuidas saab kinnijäänud klaaskorki kergemini ära võtta?
3. Mispärast jäetakse silla otste ja raudtee-rööbaste vahele väikesed vahed?
4. Mispärast kange külmaga jää praguneb?
5. Tulle visatud kastanid ja pähklid lõhkevad. Mispärast?
6. Klaasanumad lõhkevad sagedasti kuuma vee sissekallamisel. Mispärast?

79. Kõvade kehade joonpaisumise koeffitsient. Katsed näitavad, et kõik kehad ei paisu temperatuuri tõusmisel ühteviisi. Kõige suuremal määral paisuvad gaasid, siis vedelikud ja kõige vähem kõvad kehad. Kuid ka kõvad kehad on väga erisuguse paisumisega. On leitud koguni sulatisi (terasnikkel), kus paisumist peaaegu üldse ei ole märgata.



84. joon. Metallkera paisub soojendamisel igas suunas.

Kõva keha paisub mitte ainult ühes, vaid igas suunas. Seda näitab meile lihtne katse metallkerakesega (84. joon.), mis harilikus temperatuuris igas suunas rõngast vabalt läbi mahub, kuumaksaetuna mitte; ära jahtudes või rõnga soojenedes aga jällegi rõngast läbi mahub.

Nagu pärast näeme (§§ 81 ja 82), on võimalik kehade pind- ja ruumpaisumist arvutada joonpaisumise põhjal, seepärast on küllalt, kui kõvadel kehadel katseliselt määrata ainult joonpaisumise suurus.

Katse näitab, et keha soojendamisel sama kraadide arvu võrra pikeneb (ligikaudu) sama palju, s. o. keha pikenemine on võrdeline temperatuuri juurdekasvuga. Nii näiteks pikeneb 10 meetri pikkune raudvarb temperatuuri tõusmisel iga 10^0 C võrra ($10^0 - 20^0$; $50^0 - 60^0$ jne.) 1,2 millimeetrit.

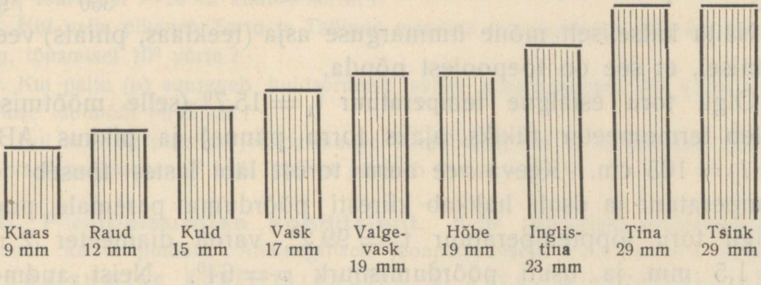
Keha pikenemise suurus oleneb keha esialgsest pikkusest, temperatuuri juurdekasvust ja ainest. Antud aine joonpaisumise karakteriseerimiseks on võetud tarvitusele n. n. **joonpaisumise koeffitsient**. Nimetame aine joonpaisumise koeffitsiendiks (α) arvu, mis näitab, kui suure osa oma pikkusest (0^0 C juures) pikeneb sellest ainest keha soojendamisel 1^0 C võrra.

Kui näiteks vase joonpaisumise koeffitsient on 0,000017, siis pikeneb vasest varb, mille pikkus 0^0 C juures on 1 m, temperatuuri tõusmisel ühe kraadi võrra 0,000017 m, 1 cm pikkune varb vastavalt 0,000017 cm jne.

Meile tuntud kehade võrdlevat joonpaisumist näitab 85. joon., kus on üles tähendatud 10-meetrilise varva pikkuse juurdekasv soojendamisel 100^0 C võrra.

Täpsed mõõtmised näitavad, et kehade pikenemine soojendamisel 1^0 C võrra ei ole mitte igas temperatuuris ühesugune. Et aga kitsamas temperatuuride vahemikus (0^0—100^0) on vahed väga väikesed, siis võime lihtsuse otstarbel joonpaisumise koeffitsiendi määramisel tegelikult mitte arvestada esialgset temperatuuri, millest paisumine algas.

Selles môttes vôime defineerida lihtsamalt joonpaisumise koeffitsienti kui arvu, mis näitab, kui suure osa oma pikkusest paisub sellest ainest keha soojendamisel 1^0 C vôrra.

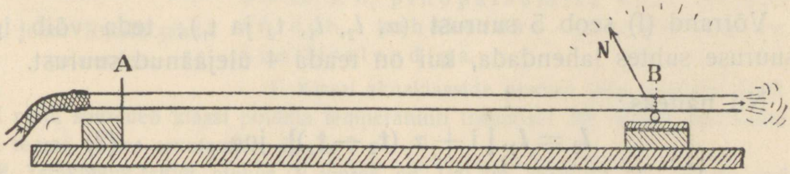


85. joon. 10-meetrilise varva paisumine soojendamisel 100^0 vôrra.

Tabeleis antakse harilikult keskmised joonpaisumise koeffitsiendid, mis on ôiged kitsamas temperatuuride vahemikus (0^0—100^0).

80. Joonpaisumise koeffitsiendi määramine.

Teeme joonpaisumise koeffitsiendi määramiseks järgmise katse (86. joon.). Olgu valgevasest toru kinnitatud otsast A alusele,



86. joon. Joonpaisumise koeffitsiendi määramine.

ots B aga lasub vabalt peenikesel metallvardal (sukavarras, nõel), mille külge on kinnitatud osuti N (õlekõrreke). Et soojuse kaotus oleks väiksem, on toru vildiga ümber mähitud. Pikenedes soojendamise mõjul paneb toru varda veerema (soovitatav teha varda alus klaasist) ja osuti pöördub paremale poole. Osuti pöördumisnurga (φ) ja varda raadiuse (r) põhjal on võimalik arvutada toru pikenemist. Kui osuti pöördub nurga φ^0 võrra, siis nihkub toru ja varda puutumispunkt edasi kaare

$\frac{2\pi r\varphi}{360}$ võrra, sama palju nihkub edasi ka varda tsenter, järelikult võrdub toru AB kogu pikenemine kahekordse toru ja varda puutumispunkti edasinihkumise suurusega, s. o. $2 \cdot \frac{2\pi r\varphi}{360}$ ehk $\frac{\pi r\varphi}{90}$.

Näita katseliselt mõne ümmarguse asja (teeklaas, pliiats) veeretamisel, et see on tõepoolest nõnda.

Olgu toru esialgne temperatuur $t_1 = 15{,}7^0$ (selle mõõtmiseks tuleb termomeeter tükiks ajaks torru panna) ja pikkus AB $=$ $= l_1 = 105$ cm. Keeva vee auru torust läbi lastes tõuseb toru temperatuur ja osuti hakkab kiiresti pöörduma paremale poole. Olgu toru lõpptemperatuur $t_2 = 99{,}2^0$, varda diameeter $2\ r =$ $= 1{,}5$ mm ja osuti pöördumisnurk $\varphi = 64^0$. Neist andmeist arvutame valgevase joonpaisumise koeffitsiendi α järgmiselt: definitsiooni põhjal on

$$\alpha = \frac{\text{pikkuse juurdekasv}}{\text{temperatuuri juurdekasv} \cdot \text{algpikkus}}$$

ehk, tähistades lõpp-pikkuse l_2-ga, lühidalt

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{(t_2 - t_1)\, l_1} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

Pikkuse juurdekasv $l_2 — l_1 = \frac{\pi r\varphi}{90}\,\text{mm} = \frac{\pi r\varphi}{90 \cdot 10}\,\text{cm} = \frac{\pi \cdot 1{,}5 \cdot 64}{90 \cdot 10 \cdot 2}$ cm

$$\text{ja } \alpha = \frac{\pi \cdot 1{,}5 \cdot 64}{90 \cdot 10 \cdot 2 \cdot (99{,}2 — 15{,}7)\, 105} = 0{,}000019.$$

Võrrand (1) seob 5 suurust (α, l_2, l_1, t_2 ja t_1); teda võib iga suuruse suhtes lahendada, kui on teada 4 ülejäänud suurust.

Nii näiteks:

$$l_2 = l_1\, [1 + \alpha\, (t_2 — t_1)], \text{ jne.} \quad . \ . \ . \quad (2)$$

Kui keha algtemperatuur on 0^0 ja lõpptemperatuur t^0, ning tähistada neile vastavad keha pikkused vastavalt l_0 ja l_t, siis võime valemi (2) põhjal kirjutada

$$l_t = l_o \cdot (1 + \alpha\, t) \quad . \ . \ . \ . \quad (3)$$

Kaksliige $1 + \alpha t$ nimet. paisumise binoomiks.

Veereva varda võtte asemel võib määrata toru AB pikenemist soojendamisel otsese mõõtmise abil mikromeetriga. Selleks tuleb toru AB külge liikuvas otsas kinnitada ristliistuke, teine samasugune ristliistuke alusele. Toru pikenemisel muutub vahe ristliistude vahel, mis otseselt mikromeetriga mõõdetakse. Lähemalt vaata: E. Kilkson, Füüsika praktilised tööd keskkooiis, töö nr. 28.

1. Vaskvarva pikkus 10^0 juures on 2 m. Kui pikk on sama varb 40^0 juures?

2. Klaastoru pikkus 100^0 juures on 1 m. Kui pikk on see toru 50^0 ning 0^0 juures?

3. Kui palju paisub pikemaks raudtee-rööbas, mille pikkus on 8 m, temperatuuri tôusmisel -20^0-st kuni $+30^0$-ni?

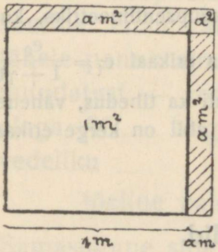
4. Kui palju pikeneb Tartu ja Tallinna vaheline telegraafitraat (191 km, raud) temp. tôusmisel 10^0 vôrra?

5. Kui palju (μ) suureneb kuldsôrmuse avaus soojendamisel 30^0 vôrra, kui sôrmuse läbimôôt on 2 cm?

6. Kui suur on plaatina joonpaisumise koeffitsient, kui 10 m pikkune plaatinast varb soojenedes 0^0 kuni 100^0-ni pikeneb 9 mm vôrra?

81. Pindpaisumise koeffitsient. Keha paisumisel soojendamisel suureneb ka ta pindala. Analoogiliselt joonpaisumisele *nimetame keha pindpaisumise koeffitsiendiks* (β) *arvu, mis näitab, kui suure osa oma pindalast* (0^0 C *juures*) *saab keha juurde soojendamisel* 1^0 C *vôrra.*

Olgu näiteks 87. joon. kujutatud kuubi üks tahk, mille serva pikkus antud temperatuuris on 1 m ja pindala 1 m^2. Kuubi soojendamisel 1^0 C vôrra pikeneb iga serv α m vôrra ning iga tahu pindala on siis $(1+\alpha)^2$ ehk $(1+2\alpha+\alpha^2)\,m^2$. Seega suurenes ruudu pindala $(2\alpha+\alpha^2)m^2$ vôrra (joonisel viirutatud osa). Et α^2 on väga väike arv, siis vôime tegelikult ruudu pindala suurenemisel arvestada ainult 2α, mis näitabki, kui suure osa oma pindalast saab kuubi iga tahk juurde soojendamisel 1^0 C vôrra; tähendab, kuubi pindpaisumise koeffitsient $\beta = 2\alpha$, s. o. *pindpaisumise koeffitsient vôrdub kahekordse joonpaisumise koeffitsiendiga.*



87. joon. Ruudu pindpaisumine.

1. Klassi aknaklaaside pindala (üks pool) on 2 m^2. Kui palju suureneb klaasi pindala temperatuuri tôusmisel 20^0 vôrra? Kui suure vea teeme vôttes arvutamisel $\beta = 2\alpha$?

2. Tsinkplekk-tahvli pikkus 0^0 juures on 150 cm, laius 75 cm. Mitme cm^2 vôrra suureneb selle tahvli pind ta soojendamisel 0^0-st kuni 50^0-ni?

3. Vaskplekk-tahvel on 0^0 juures 20 cm lai ja 30 cm pikk. Kui suur on selle tahvli pindala 60^0 juures?

4. Raudkera pindala suureneb temperatuuri tôustes 0^0-st kuni 200^0-ni 1 dm^2 vôrra. Leia selle kera läbimôôt!

82. Ruumpaisumise koeffitsient. Soojendamisel paisub keha igas suunas, järelikult suurenevad vôrdeliselt kôik keha môôted, sellega siis ka ruumala. *Nimetame keha ruumpaisumise koeffitsiendiks* (γ) *arvu, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast* (0^0 C *juures*) *saab* keha juurde soojendamisel 1^0C võrra. Olgu kuubi serva pikkus (87. joon.) 1 m; soojendamisel 1^0 C võrra muutub serv $(1+\alpha)$ m pikaks ja kuubi ruumala suureneb seejuures $(1+\alpha)^3-1$, s. o. $1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3-1$ ehk $(3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3)$ m^3 võrra. Et $3\alpha^2$ ja α^3 on oma suuruselt väga väikesed, võime kuupmeetri ruumala suurenemisel tegelikult arvestada ainult 3α, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast saab kuupmeeter juurde soojendamisel 1^0 C võrra. Tähendab, ruumpaisumise koeffitsient $\gamma = 3\alpha$.

Et pind- ja ruumpaisumis-koeffitsiendid väljenduvad kergesti joonpaisumis-koeffitsiendi abil, siis antakse tabeleis kõvade kehade jaoks ainult joonpaisumis-koeffitsiendid.

83. Erikaalu (tiheduse) olenevus temperatuurist.

Olgu keha erikaal 0^0 juures $e_0 \frac{g}{cm^3}$, s. o. 1 cm^3 seda keha kaalub e_0g, temperatuuri tõusmisel t^0 võrra muutub iga cm^3 $(1+\gamma t)$ kuupsentimeetriks, kuna kaal jääb endiseks (e_0). Seega on siis t^0 juures keha erikaal $e_t = \frac{e_0}{1+\gamma t}$. Siit näeme, et temperatuuri tõusmisel keha erikaal, samuti ka tihedus, väheneb, temperatuuri langemisel aga suureneb. Saadud valemi abil on kerge erikaalu ühest temperatuurist teise ümber arvutada.

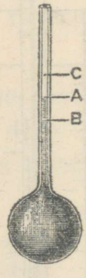
Tabeleis antakse harilikult erikaal 0^0 juures.

Joonpaisumise koeffitsiendid.

Alumiinium	0,0000244	Marmor	0,0000117
Hõbe	195	Nikkel	151
Inglistina	225	Plaatina	092
Jää	507	Raud	111
Klaas	091	Tina	293
Kuld	143	Tsink	292
Kuusepuu: pikuti	037	Valgevask	198
„ risti	584	Vask	171

1. Mispärast kange külmaga jää praguneb?
2. Kui palju paisub (mm^3) soojenedes 300^0 võrra raudkuup, mille serva pikkus on 5 cm?
3. Keedupudeli ruumala 15^0 juures on 500 cm^3. Leia selle keedupudeli ruumala 0^0 juures!
4. Raudplekist anuma mahtuvus 15^0 juures on just 3 liitrit. Kui suur on sama anuma mahtuvus 95^0 juures?
5. Metallvarva pikkus 100^0 juures on 6 m ja 200^0 juures 6,01 m. Leia selle varva ruumala 0^0 juures, kui ta ruumala 130^0 juures on 500 cm^3!

84. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine. Vedelikel puudub kindel kuju, seepärast võib kõnelda ainult vedelikkude ruumpaisumisest samas mõttes, kui seda tegime kõvade kehade puhul. Olgu peenikese toruga varustatud anum täidetud vedelikuga kriipsuni A (88. joon.) Oletame, et soojendame esiti ainult anumat, ilma et soojus edasi anduks vedelikule. Soojendamise mõjul paisub anum, ta mahtuvus suureneb ja vedelik langeb kriipsuni B. Toru ruumala AB mõõdab anuma mahtuvuse juurdekasvu. Nüüd oletame, et ka vedelik soojeneb anuma temperatuurini. Seetõttu tõuseb vedelik torus kriipsuni C (vedelik paisub rohkem kui kõva keha). Toru ruumala BC mõõdab vedeliku ruumala juurdekasvu. Tõepoolest toimub anuma kui ka vedeliku paisumine enam-vähem kõrvuti ja me võime kindlasti tähele panna ainult mõlema paisumise mõjul tekkinud muudatust — vedeliku näivat paisumist, mis mõõtub toru ruumalaga AC. Nagu 88. joon. näha, on $BC = AB + AC$, s. o. vedeliku



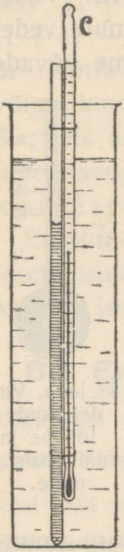
88. joon. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine.

tõeline paisumine = näiv pais. + anuma paisumine.

Samasugune side maksab ka vedeliku tõelise ja näiva paisumise koeffitsiendi vahel. Teades anuma kui kõva keha paisumiskoeffitsienti, võime leida saadud sideme põhjal vedeliku näiva paisumise koeffitsiendi abil tõelise paisumise koeffitsiendi.

Katse näitab, et vedelikkude paisumiskoeffitsiendid on kõvade kehade omist suuremad (umbes 10 korda) ning igal vedelikul erisugused. Ka oleneb vedeliku paisumine temperatuurist, s. o. sama vedeliku paisumiskoeffitsiendid on erisuguste temperatuuride puhul erisugused. Kõige korrapärasemalt paisub elavhõbe ja seepärast tarvitataksegi teda termomeetri ehitamisel.

85. Vedeliku näiva paisumis-koeffitsiendi leidmine. Võtame peenikese klaastoru (umbes 30 cm pikk ja 3 mm õõnsuse läbimõõt) ja seome ta kõvasti termomeetri külge (89. joon.). Täidame toru suuremalt jaolt vedelikuga (petrooleum) ja asetame riista sügavasse anumasse vette, mille sees on jäätükid. Vaatame, kui palju näitab termomeeter; ühtlasi märgime ära, millise termomeetriskaala kriipsu kohal seisab vedeliku nivoo torus.



89. joon. Vedelikkude näiva paisumise määramine.

Nüüd soojendame vett anumas (kuidas?), hoiame natukese aega temperatuuri jäävana ja jällegi märgime termomeetri näitamise kui ka vedeliku nivoo seisu torus termomeetriskaala abil. Mõõdame vedelikusamba pikkuse 0^0 juures, olgu see h_0 cm, ja pikkuse vaatluse lõpul t^0 juures, olgu see h_t cm. Tähistades läbilõike s-ga, leiame vedeliku näiva ruumpaisumis-koeffitsiendi järgmiselt:

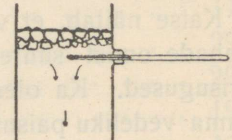
$$\frac{v_t - v_0}{t v_0} = \frac{s h_t - s h_0}{t s h_0} = \frac{h_t - h_0}{t h_0}.$$

Siit näeme, et vedeliku ruumala näiv paisumine on võrdeline vedelikusamba pikenemisega torus ($h_t - h_0$).

Märkus. Vee soojendamiseks anumas võib juhtida sinna toru kaudu keeva vee auru. — Pikka termomeetrit tarvitades on kasulik vedelikusamba alumine ots ühte seada termomeetriskaala alumise kriipsuga. Siis ei ole erilist mõõtpuud vaja, sest vedelikusamba esialgset pikkust kui ka pikenemist soojendamisel võib mõõta termomeetriskaala kriipsuvahedega. Mispärast ei ole mõõtühikute absoluutne suurus siin tähtis?

Siiani.

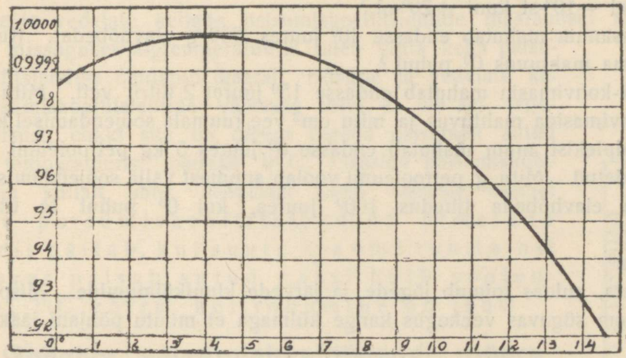
86. Vee paisumise iseärasused. Vee paisumist uurides selgub, et vesi soojendamisel igas temperatuuri vahemikus ei paisu, vaid vahel otse ümberpöördult soojendamisel tõmbub kokku. Seda vee omadust võime katseliselt näidata järgmiselt. Võtame anuma (90. joon.), täidame veega ja jahutame vett anumas, pannes ülalt jääd (lund) veepinnale. Jälgime kogu aja seintest läbi pandud termomeetrite abil vee temperatuuri muutumist ülal ja all. Vaatluse resultaadid tähendame üles tabelina. Vesi jahtub jääga kokku puutudes, muutub tihedamaks ja langeb alla. Toimub aeglane jahedamate ja soojemate osade segunemine, mida tõendab



90. joon. Veel on 4^0 C juures kõige suurem tihedus.

mõlema termomeetri langemine. On alumised veekihid 4^0 C jahtunud, jääb termomeetri edaspidine langemine seisma, millest järeldame, et ses temperatuuris on vee tihedus kõige suurem, järelikult ruumala kõige väiksem. Edaspidisel vaatlusel näeme, et ülemine termomeeter järjest langeb ja võib minna kuni 0^0-ni, mis laseb järeldada vee vähemat tihedust (suuremat ruumala) ses temperatuuris võrreldes 4^0-ga.

91. joon. kujutatud kõver näitab kujukalt vee tiheduse muutumist külmumispunkti lähedal. Kõvera käigust selgub, et *veel temperatuuri tõustes 0^0—4^0-ni tihedus suureneb ning*



91. joon. Vee tiheduse muutumise graafik.

ruumala väheneb; kõige suurem tihedus, järelikult ka kõige väiksem ruumala, on veel **4^0 C** *juures*. Selles seisabki vee paisumise iseärasus.

Kirjeldatud veepaisumise iseärasusel on suur tähtsus looduses, nimelt veekogude kinnikülmumisel. Välispinnal jahtunud veeosad kui tihedamad langevad alla ja nende asemele tulevad põhjast uued soojemad veeosad. Nii kestab vee segunemine seni, kui kõik vesi on jahtunud kuni 4^0-ni C. Alles siis jäävad edaspidisel jahtumisel kuni 0^0-ni veeosad pinnale ja jää tekkimine võib alata. Ainult jääpinna all on vee temperatuur 0^0 läheduses, kuna sügavamal vee temperatuur ei lange alla 4^0 C. Sel asjaolul on suur tähtsus vees elutsevate loomade ja taimede kohta.

Soojendamisel jäävad soojemad veeosad kui vähem tihedad pinnale. Sügavais veekogudes (meres) on ka suvel vee temperatuur umbes 4^0 C.

Seleta, kuidas toimuks veekogude kinnikülmumine siis, kui veel 0^0 puhul oleks kõige suurem tihedus. Missugust mõju avaldaks see asjaolu jääkorra tekkimisse? Süani

Ruumpaisumis-koeffitsiendid.

Bensiin	0,00138	Petrooleum	0,00095
Eeter	166	Piiritus	104
Elavhõbe	018	Tärpentin	097
Glütseriin	051	Vesi	043
Oliivi-õli	072	Väävelhape	055

1. Kui palju muutub vaaditäie piirituse (500 liitri) ruumala temperatuuri muutumisel -10^0-st kuni $+20^0$-ni?

2. Klaasanum mahutab endasse 40^0 juures 850 g elavhõbedat. Kui suur on selle anuma mahtuvus 0^0 puhul?

3. Vask-kohvimasin mahutab endasse 15^0 juures 2 liitrit vett. Mitu cm^3 suureneb kohvimasina mahtuvus ja mitu cm^3 vee ruumala soojendamisel kuni 100^0?

4. Raudplekist anum mahutab endasse 0^0 juures 5 kg petrooleumi ja on just ääreni täidetud. Mitu g petrooleumi voolab anumast välja soojendamisel 30^0-ni?

5. Leia elavhõbeda tihedus 100^0 juures, kui 0^0 puhul ta tihedus on $13{,}596 \frac{g}{cm^3}$.

6. Seleta, kuidas toimub jõgede ja järvede kinnikülmumine. Mispärast vesi enam-vähem sügavas veekogus kange külmaga ei muutu põhjani jääks?

Gaaside paisumine

87. Gay-Lussac'i seadus. Gaasidel ei ole kindlat kuju, seepärast võib kõnelda ainult gaaside ruumpaisumisest. Ka oleneb antud gaasihulga ruumala, nagu varemini nägime (§ 64), rõhumisest — Boyle-Mariotte'i seadus; seepärast tuleb rõhumise mõju kõrvaldamiseks gaasi paisumise käsitlemisel jätta rõhumine kogu aeg samaks.

Mitmesuguste gaaside paisumist uurides leidis prantslane Gay-Lussac (loe: gei lüssak) esimesena (a. 1802), et jääva rõhumise juures paisuvad kõik gaasid ühteviisi, ja nimelt nõnda, et temperatuuri tõusmisel 1^0C võrra suureneb gaasi ruumala 0,00366 ehk $\frac{1}{273}$ osa võrra oma ruumalast 0^0C juures. Seega on siis $\frac{1}{273}$ kõikide gaaside kohta ühine ruumpaisumis-koeffitsient.

Tähistame antud gaasihulga ruumala 0^0 C juures v_0-ga, t^0 C juures v_t-ga ja gaaside ruumpaisumis-koeffitsiendi α-ga, siis võime Gay-Lussac'i seaduse põhjal kirjutada:

$$v_t = v_0 + \alpha t v_0 \text{ ehk } v_t = v_0 (1 + \alpha t), \quad . \quad . \quad (1)$$

millest järeldub:

$$v_0 = \frac{v_t}{1 + \alpha t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Olgu antud gaasi hulga ruumala t_1^0 juures v_1 ja t_2^0 juures vastavalt v_2, siis vôime valemi (1) pôhjal kirjutada:

$$v_1 = v_0 (1 + \alpha t_1) \text{ ja } v_2 = v_0 (1 + \alpha t_2).$$

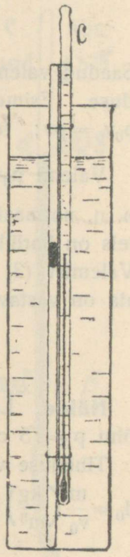
Siit saame:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

kus T_1 ja T_2 on t_1-le ja t_2-le vastavad absoluutsed temperatuurid. Järelikult, antud gaasihulga ruumala jääva rôhumise puhul on vôrdeline tema absoluutse temperatuuriga.

Kôvade ja vedelate kehade paisumiskoeffitsientide määramisel me jätsime ütlemata, missuguses algtemperatuuris tuleb vôtta keha paisumist koeffitsiendiga näidatud määral. Kôvade ja vedelate kehade paisumiskoeffitsientide väiksuse tôttu ei ole sel tegelikku tähtsust, ehkki siin on ôigem lugeda paisumist antud kindlast temperatuurist, näiteks 0^0 C. Gaaside paisumiskoeffitsient on küllalt suur, seepärast tuleb täpsuse nôudel gaaside paisumiskoeffitsiendiks nimetada arvu, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast 0^0 C juures paisub antud gaasi hulk soojendamisel 1^0 C vôrra, kui rõhumine on jääv.

88. Gaaside paisumiskoeffitsiendi määramine. Vôtame ühtlase klaastoru läbimôôduga umbes 1 mm ja ligi 20 cm pikk. Imeme torru umbes 1 cm pikkuselt elavhôbedat, sulatame toru ühe otsa kinni nônda, et toatemperatuuris elavhôbe püsiks umbes toru keskel (92. joon.). Seega eraldame torus teatud hulga ôhku. Kinnitame toru ühes termomeetriga skaalale ja asetame saadud riista anumasse, milles on vesi jääga. Märgime temperatuuri ja ôhusamba kôrguse torus. Vett anumas soojendades märgime järjest (umbes 10^0 tagant) temperatuurid ja vastavad ôhusamba kôrgused. Enne kôrguse loendamist on vaja toru pihta veidi koputada, et elavhôbe ei jääks toru seinte külge peatuma. Kui toru on ühtlase jämedusega, siis vôime ôhusamba pikenemise lugeda vôrdeliseks ruumala suurenemisega, mille pôhjal on vôimalik arvutada paisumiskoeffitsienti. Olgu ôhusamba kôrgus 0^0 puhul h_0 ja t^0 juures h_t ning vastavad ruumalad v_0 ja v_t, siis on $\frac{v_t}{v_0} = \frac{h_t}{h_0}$. Valemist $v_t = v_0 (1 + \alpha t)$ saame $\frac{v_t}{v_0} = 1 + \alpha t$. Järelikult $1 + \alpha t = \frac{h_t}{h_0}$, kust $\alpha = \frac{h_t - h_0}{t h_0}$.



92. joon. Gaaside paisumiskoeffitsiendi määramine.

Arvuta saadud valemi põhjal vaatluse andmeist keskmised paisumiskoeffitsiendid mitmesuguses temperatuurivahemikus!

Sama meetodit võib tarvitada iga gaasi kohta.

89. Boyle-Mariotte'i — Gay-Lussac'i valem. Rakenduste otstarbel on kasulik Boyle-Mariotte'i ja Gay-Lussac'i seadused väljendada ühise valemi abil. Olgu antud gaasihulga rõhumine ja ruumala 0^0 C korral vastavalt p_0 ja v_0 (algolek). Jätame temperatuuri samaks (0^0) ja muudame rõhumist (p), siis muutub Boyle-Mariotte'i seaduse järgi ka ruumala (v'), ja nimelt nõnda (ülemineku-olek):

$$p_0 v_0 = p v' \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Nüüd jätame rõhumise (p) endiseks ja muudame temperatuuri (t), siis muutub ka ruumala (v) Gay-Lussac'i seaduse järgi (lõpp-olek) järgmiselt:

$$v = v' \, (1 + \alpha t) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Jagame v' kõrvaldamiseks (1)-st (2)-ga, saame:

$$\frac{p_0 v_0}{v} = \frac{p}{1 + \alpha t} \text{ ehk } p_0 v_0 = \frac{pv}{1 + \alpha t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Saadud valem (3) sisaldab endas nii Boyle-Mariotte'i kui ka Gay-Lussac'i seaduse. Esimene neist järeldub, asetades valemisse $t = 0 = \text{const.}$, siis saame: $p_0 v_0 = pv$; teine järeldub, oletades, et $p = p_0 = \text{const.}$, siis $v = v_0 \, (1 + \alpha t)$.

Valemi $p_0 v_0 = \frac{pv}{1 + \alpha t}$ abil on võimalik antud gaasihulga ruumala taandada n. n. normaaltingimustesse (temperatuur 0^0 C ja rõhumine $p_0 = 76$ cm), sest tabeleis on harilikult kõik andmed (tihedus, erikaal) antud normaaltingimuste kohta. Valemist (3) järeldub, et kui antud gaasihulga temperatuur, rõhumine ja ruumala on vastavalt t, p ja v, siis normaaltingimustes selle gaasihulga ruumala

$$v_0 = \frac{pv}{p_0 \, (1 + \alpha t)} \, .$$

Näide. Leia klassis oleva õhu mass, kui klassi ruumala $v = (9 \cdot 6 \cdot 4) \; m^3$, õhu $p = 75$ cm ja $t = 15^0$.

Tiheduse valemist

$$d_0 = \frac{m}{v_0} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \text{ saame: } m = d_0 v_0 = \frac{d_0 p v}{p_0 (1 + \alpha t)} = \frac{1{,}3 \cdot 75 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 4}{76 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 15\right)} = 262{,}67 \; (kg).$$

90. Gaasi rõhumise olenevus temperatuurist. Absoluutne temperatuur. Jääva rõhumise puhul muutub gaasi ruumala temperatuuri muutudes Gay-Lussac'i seaduse järgi. Vaatame nüüd, kuidas muutub antud gaasihulga rõhumine j ä ä v a s r u u m a l a s, kui temperatuur muutub. Selleks jätame valemis $p_0 v_0 = \frac{pv}{1 + \alpha t}$ ruumala konstantseks, s. o. $v = v_0$, siis saame:

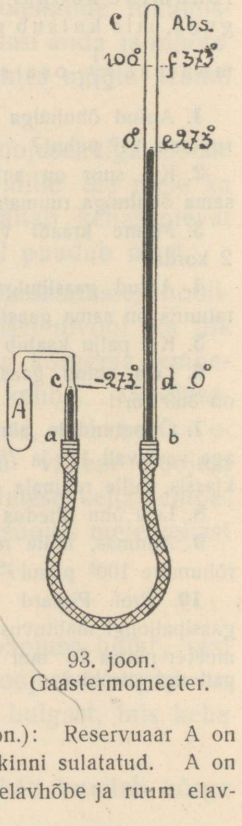
$$p_0 = \frac{p}{1 + \alpha t} \text{ ehk } p = p_0 \, (1 + \alpha t) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Saadud valemist näeme, et gaasirõhumine jääva ruumala puhul oleneb temperatuurist just niisama, kui ruumala jääva rõhumise puhul, nimelt: temperatuuri tõusmisel 1° C võrra suureneb gaasirõhumine α ehk $\frac{1}{273}$ osa võrra oma rõhumisest 0° C juures. Seega siis on $\frac{1}{273}$ kõikide gaaside kohta ühine rõhumise suurenemiskoeffitsient temperatuuri tõusmisel 1° C võrra.

Boyle-Marioite'i — Gay-Lussac'i valemist tuletatud gaaside rõhumise muutumise seaduse avastas katseliselt prantslane Charles (loe: šarl) a. 1787, seepärast nimetatakse teda sagedasti ka Charles'i seaduseks.

Valemist (1) järeldub, et temperatuuri langemisel rõhumine p väheneb. Nüüd küsime: missuguses temperatuuris gaasirõhumine kaob hoopis ära, s. o. $p = 0$. Küsimuse vastamiseks lahendame võrrandi $p_0 (1 + \alpha t) = 0$ t suhtes, saame: et p_0 ei võrdu nulliga, siis peab $1 + \alpha t = 0$, siit $\alpha t = -1$ ja $t = -\frac{1}{\alpha} = -273$.

Molekulaarhüpoteesi põhjal on gaasirõhumine tingitud molekulide liikumisest. Kui nüüd gaasirõhumine ära kaob, siis peab molekulaarhüpoteesi põhjal ära jääma ka molekulide liikumine; üldse gaas kaotab oma olemise, meie ei suuda enam gaasi kui niisugust kujutella. Nagu nägime, on temperatuuriks, milles gaasirõhumine kaob, —273° C. See temperatuur (—273° C) nimetatakse **absoluutseks nulliks**, sest siis on gaasimolekulide kineetiline energia null — ning sellest madalamat temperatuuri ei saa enam olla. Võttes absoluutse nulli termomeetriskaala nullpunktiks, väljenduvad kõik temperatuurid ainult absoluutsete arvudega; seepärast nimetataksegi absoluutsest nullist alates loendatud temperatuuri (Celsiuse pügalais) ka absoluutseks temperatuuriks. Harilikult tähistatakse absoluutne temperatuur T, Celsiuse skaala järgi t tähe abil.



93. joon.
Gaastermomeeter.

91. Gaastermomeeter. Galilei ehitas oma esimese termomeetri (§ 75) gaasi (õhu) omadusel paisuda temperatuuri tõusmisel. Praeguse aja gaastermomeetri ehitus põhjeneb Charles'i seadusel, mille järgi jääva ruumala puhul on gaasirõhumise juurdekasv võrdeline temperatuuri juurdekasvuga (valemi $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$ põhjal). Gaastermomeetri ehitus ja tarvitamine toimub järgmiselt (93. joon.): Reservuaar A on kummitoruga ab ühendatud klaastoruga, mis otsast kinni sulatatud. A on kuni nivooni c täidetud vesinikuga; edasi on torus elavhõbe ja ruum elavhõbeda pääl torus b hästi õhust tühjendatud.

Asetame A sulavasse jäässe. Vesiniku rõhumine A-s väheneb. Toru b ülespoole tõstes ja allapoole lastes seame elavhõbeda nivoo torus a kriipsu c kohale. Olgu seejuures vesiniku rõhumist tasakaalustava elavhôbeda nivoo torus b kriipsu e juures. Nüüd asetame A keeva vee aurusse. Vesiniku rõhumine suureneb ja ta ruumala hoidmiseks kriipsu c juures tuleb tõsta toru b. Oletame, et siis elavhõbeda nivoo torus b seisab kriipsu f juures ja elavhõbedasammas df tasakaalustab vesinikurõhumise jääva ruumala juures. On selge, et vesiniku temperatuuri tõusmisel jää sulamistemperatuurist kuni vee keemistemperatuurini, vesinikurõhumine anumas A suurenes elavhõbeda-samba ef kõrguse võrra. Märgime kriipsule e 0^0 C ja kriipsule f 100^0 C. Nivoode e ja f vahe jagame 100-ks võrdseks osaks. Sama suured osad (kriipsuvahed) märgime ka ülespoole kriipsu f ja allapoole kriipsu e. Nimetame üheks temperatuuri kraadiks iga niisuguse temperatuuri muutuse, mille mõjul vesinikurõhumine reservuaaris A muutub ühe kriipsuvahe võrra elavhõbeda kõrgusest torus b. Katse näitab, et de mahutab 273 niisugust kriipsuvahet, milliseid ef-s on 100. Sellest järeldub: 1) absoluutne null on -273^0 C, sest siis kaob gaasirõhumine hoopis ära; 2) temperatuuri muutus 1^0 C on niisugune, mis kutsub esile jäävas ruumalas oleval gaasil rõhumise muutuse $\frac{1}{273}$ osa sellest, mis oli jää sulamistemperatuuris.

1. Antud õhuhulga ruumala 0^0 juures on 3 liitrit. Kui suur on sama õhu ruumala 91^0 puhul?

2. Kui suur on antud õhuhulga ruumala -25^0 juures, kui $+20^0$ puhul on sama õhuhulga ruumala 240 cm^3?

3. Mitme kraadi võrra tuleb 0^0 õhku jahutada, et ta ruumala väheneks 2 korda?

4. Antud gaasihulga ruumala 0^0 juures on v_0 liitrit. Missuguses temperatuuris on sama gaasihulga ruumala $2v_0$ liitrit?

5. Kui palju kaalub normaalrõhumisel klassitäis õhku ($9 \times 6 \times 4$ m) 15^0 puhul?

6. Leia antud gaasihulga ruumala 0^0 juures, kui -30^0 puhul ta ruumala on 360 cm^3!

7. Õppetundide alul oli klassi õhu temp. 12^0 ja rõhumine 755 mm, lõpul aga vastavalt 17^0 ja 750 mm. Kui palju vähenes selle aja jooksul õhu raskus klassis, mille ruumala on $9 \times 6 \times 4$ m^3?

8. Leia õhu tihedus 15^0 temp. ja 76,8 cm rõhumise puhul!

9. Anumas, mille ruumala 1 liiter, on 2 g õhku. Kui suur on selle õhu rõhumine 100^0 puhul?

10. Prof. Piccard stratosfääri uurimisel 1931. a. kasutas õhupalli, mille gaasipallongi mahtuvus oli 14000 m^3. Õhupall tõusis 15781 m kõrgusele, kus baromeeter näitas 76 mm rõhumist ja termomeeter -55^0 C. Kui suur oli gaasipallongi altrõhk?

Soojusehulga mõõtmine

92. Vahe soojusehulga ja temperatuuri vahel. Keha temperatuuri tõusmist seletame soojuse juurdetulekuga, temperatuuri langemist — soojuse kaotusega. Meile juba tuntud molekulaarhüpoteesi põhjal on soojus keha molekulide liikumisenergia. Energiat võime ühest kehast teise edasi anda ja mõõta. Samuti võime ka soojuse energiat ta hulga suhtes mõõta teatud ühikuis.

Tuleb kindlasti vahet teha temperatuuri ja soojusehulga mõiste vahel. Esimene näitab keha soojuse astet, mille üle meie ka otsese tunde abil saame otsustada, teine näitab kehas olevat soojuse-energiat, mille otseseks tajumiseks meil puudub meel.

Nagu vesi voolab alati kõrgemalt nivoolt madalamale, hoolimata sellest, kui palju asub vett ühel või teisel nivool (ka tilk langeb merre), samuti liigub ka soojuse-energia kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehha. Soojuse-energia liikumise suuna määrab t e m p e r a t u u r, m i t t e s o o j u s e h u l k. Inimese kehas on kahtlemata vähem soojust kui järves või jões, kus supleme. Et aga inimese keha temperatuur on järve temperatuurist kõrgem, voolab soojus meie kehast vette, me kaotame soojust ja meil hakkab jahe.

Too veel selliseid näiteid!

Tuleb hoiduda kõnekäänust „kehas olev soojuse hulk", sest meil on raske ja ka tarbetu teada, kui palju soojuse-energiat on kehal üldse, küll aga võime kõnelda soojuse hulgast, mis keha temperatuuri muutumisel juurde sai või kaotas.

Too näiteid tegelikust elust, kus meid eeskätt huvitab kõrge või madal temperatuur ja kus soojuse hulk.

93. Soojusehulga mõõtmine. Segamis-ülesanded. Soojusehulga (energia) mõõtmisel on võetud ühikuks see soojusehulk, mis 1 g vett juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1^0C võrra. Nimetame selle soojusehulga **gramm-kaloriks** ehk lihtsalt **kaloriks (cal,** ladina keelest: *calor* — soojus). **Kilogramm-kalor** ehk **kilokalor (kcal)** on 1000 väikest kalorit ja vastab soojusehulgale, mis 1 kg vett juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1^0C võrra.

Katse näitab, et antud veehulga temperatuuri tõstmiseks 1^0C võrra kulub alati (peaaegu) ühepalju soojust, vaatamata algtemperatuurile, millest algas soojendamine (kas 0^0, 15^0 või 60^0 jne.), seepärast ei ole meil tegelikult tähtis kalori definitsioonis nimetada algtemperatuuri.

Tahame näiteks teada, kui palju kulub soojust, et 250 g vee temperatuuri 10^0 võrra tõsta, siis arutame järgmiselt:

1 g vee temp. tõstm. 1^0 C võrra kulub 1 cal soojust
250 „ „ „ „ 1^0 C „ „ 250 „ „
250 „ „ „ „ 10^0 C „ „ $250 \cdot 10$ „ „

Tähistades otsitava soojuse hulga Q-ga, saime:

$$Q = 250 \cdot 10 \text{ cal} = 2\,500 \text{ cal} = 2{,}5 \text{ kcal}.$$

Üldse, m g vee temperatuuri tõstmiseks t^0 võrra kulub soojust

$$Q = mt \text{ (cal)}.$$

Näide. Segati 200 g vett 15^0 juures 300 g veega 40^0 juures. Leida segu temperatuur.

Olgu otsitav segutemperatuur x^0, mis on 15^0 ja 40^0 vahel. Soojenedes $(x - 15)^0$ võrra sai 200 g vett soojust juurde $200 \cdot (x - 15)$ cal; jahtudes $(40 - x)^0$ võrra kaotas 300 g vett soojust $300 \cdot (40 - x)$ cal. Et 200 g vett võis soojeneda ainult selle soojusehulga arvel, mis 300 g vett jahtudes kaotas, siis saame võrrandi

$$200\,(x - 15) = 300\,(40 - x),$$

millest $x = 30$.

1. Tee vee segamise katse ja võrdle katseliselt leitud lõpptemperatuuri sellega, mis saadud eespoolnäidatud viisil kalkuleerides. Millest on tingitud väike vahe resultaatides?

2. Lahenda üldisel kujul vee segamise ülesanne: m_1g vett t_1^0 puhul segati m_2g veega t_2^0 puhul, leida lõpptemperatuur t. Näita, et saadud valem on maksev ka iga teise vedeliku segamisel.

3. Kui palju kulub soojust, et 150 g vett soojendada 10^0-st kuni 25^0-ni?

4. Kui palju soojust kulub selleks, et 5 liitrit vett toatemperatuurist (17^0) soojendada 100^0-ni?

5. Kui palju soojust annab ära teeklaasitäis (250 cm^3) vett jahtudes 100^0-ist 15^0-ni?

6. 5 liitrit vett andis ära jahtudes 60 kcal soojust. Kuidas muutus vee temperatuur?

7. 15 g vett, mille temp. 20^0, saab 0,3 kcal soojust juurde. Kui kõrgele tõuseb vee temperatuur?

8. 1 m^3 vee soojendamiseks kulutati 2 500 kcal soojust. Kui palju tõusis vee temperatuur?

9. Mitme kraadi võrra soojeneb 20 g vett, kui temasse juhtida 1 kcal soojust?

10. Mitu g vett võib soojendada 300 cal arvel 15^0 võrra?

11. Mitu liitrit vett kaotab jahutamisel 12^0 võrra 90 kcal soojust?

12. Mitu g 100^0-list vett tuleb segada 80 g veega 30^0 juures, et segu temperatuur oleks 72^0?

13. Mitu liitrit vett 10^0 juures tuleb segada 3 liitri veega 40^0 juures, et segu temp. oleks 28^0?

14. Segati 2 liitrit vett 10^0 juures 3 liitri veega 15^0 juures. Leia segu temperatuur!

15. Kuidas saab määrata soojusehulka, mis annab hõõglamp 5 min jooksul?

94. Keha soojamahtuvus. Aine erisoojus. Võtame 500 g rauda (naelad) ja 500 g tina (haavlid), soojendame neid näiteks 100^0-ni (keevas vees hoides) ja asetame siis ühe ühte, teise teise anumasse veega. Veehulk ja algtemperatuur olgu mõlemas anumas samad, soovitatav, et ka anumad ise oleksid ühesugused (mispärast?). Mõõtes vee temperatuuri tõusu anumais näeme, et see ei ole ühesugune, vaid raua jahtumise mõjul umbes 3 korda suurem kui tina mõjul. Sellest järeldame, et samas hulgas võetud erisuguste ainete (raud, tina) soojendamiseks sama kraadide arvu võrra tarvitab üks keha tublisti rohkem soojust kui teine.

Nimetame keha **soojamahtuvuseks** seda soojusehulka, mis keha juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1^0 C võrra.

Kui näiteks rauatüki temperatuuri tõstmiseks 1^0 C võrra kulub 15 cal, siis on selle rauatüki soojamahtuvus 15 cal, jne.

Kui keha koosłub ühtlasest ainest (tina, raud, vask, puu jne.), siis on kerge ta soojamahtuvust leida selle aine 1 massiühiku (g, kg) soojamahtuvuse ehk erisoojuse põhjal. Tähendab, **aine erisoojus** näitab soojuse hulka (g-kaloreis), mis 1 g seda ainet juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1^0 C võrra.

1 g vee soojendamiseks 1^0 C võrra kulub 1 cal soojust, järelikult vee erisoojus on 1 cal; 1 g raua soojendamiseks 1^0 C võrra kulub 0,1 cal soojust, seega on siis raua erisoojus 0,1 cal, jne.

Näide. Teeklaas kaalub 200 g ning jahtus 60^0 võrra. Kui palju ta kaotas soojust?

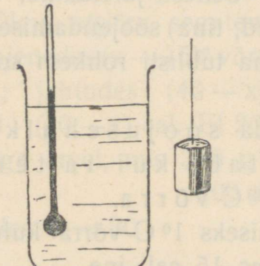
Klaasi erisoojus on 0,17 cal, järelikult 1^0 C võrra jahtudes kaotab teeklaas $0{,}17 \cdot 200$ cal, 60^0 võrra jahtudes $0{,}17 \cdot 200 \cdot 60$ ehk 2 040 cal.

Üldse, kui meil on **m** g ainet, mille erisoojus **c** cal, siis kaotab ta temperatuuri langemisel t^0 võrra soojust

$$Q = cmt \text{ (cal)}.$$

Katse näitab, et kitsamas temperatuuride vahemikus, näiteks 0^0—100^0-ni, antud keha temperatuur tõuseb (või langeb) sama soojusehulga arvel (peaaegu) sama kraadidearvu võrra, vaatamata algtemperatuurile, millest algas soojendamine (või jahutamine). Selle põhjal võime lugeda aine erisoojuse kitsamas temperatuuride vahemikus jäävaks. Tabeleis on antud keskmised erisoojused teatud temperatuurivahemikus.

95. Erisoojuse leidmine segamisviisi abil. a. Tahame näiteks leida tina erisoojust, siis võtame tüki tina, olgu 645 g, soojendame teda keeva vee aurus hoides kuni 100^0-ni ja asetame anumasse, milles on näiteks 400 g vett $13{,}5^0$ juures (94. joon.). Nüüd läheb tinast osa soojust vette ja vee temperatuur hakkab tõusma. Segame vett ümber ja paneme tähele kõige kõrgema temperatuuri, mis termomeeter näitas. Olgu see $17{,}5^0$. Siis oli vesi niisama soe kui tinagi. Tähendame tina otsitava erisoojuse x-ga ja arvutame soojusehulga, mis tinatükk jahtudes kaotas ja veele andis. Üks gramm tina, jahtudes ühe kraadi võrra, kaotab x cal soojust, 645 g kaotab aga 645x cal. Tinatükk jahtus $(100 - 17{,}5)^0$, tähendab,



94. joon. Erisoojuse leidmine.

tinatüki soojusekaotus kokku on $645 \cdot (100 - 17{,}5)\ x$ cal. Samuti leiame, et vesi anumas soojenedes sai soojust juurde $400 \cdot (17{,}5 - 13{,}5)$ cal. Kui oletada, et muud soojusekaotused, näiteks kiirgamise ja juhtivuse teel, on niivõrd väikesed, et neid võib jätta tähele panemata, siis peab soojusehulk, mis tinatükk kaotas, võrduma soojusehulgaga, mis vesi sai juurde, s. o.

$$645 \cdot (100 - 17{,}5)\ x = 400 \cdot (17{,}5 - 13{,}5),$$

kust $x = 0{,}03$ (kalorit).

Niiviisi leidsime, et tina erisoojus on 0,03, s. t. et ühe grammi tina ühe kraadi võrra soojendamiseks tuleb talle anda 0,03 cal soojust.

Riista, mille abil määratakse erisoojust, nimet. **kalorimeetriks**. Meil oli kalorimeetriks lihtne anum veega.

b. Vedelikkude, näiteks petrooleumi, erisoojuse leidmiseks võtame meile juba tuntud erisoojusega keha, näiteks tinatüki, juhime tast osa soojust vedelikku ja vaatame, kui palju seetõttu tõuseb vedeliku temperatuur.

Olgu meil kalorimeetris näiteks 400 g petrooleumi, mille algtemperatuur on 19°. Võtame 537-grammilise tinatüki, soojendame teda keeva vee aurus hoides 100°-ni ja asetame petrooleumi. Tinatükk annab osa oma soojusest petrooleumile ja petrooleumi temperatuur hakkab tõusma. Petrooleumi ümber segades paneme tähele kõige kõrgema temperatuuri, mis termomeeter näitab. Olgu see 25°. Tina erisoojus on 0,03, otsitav petrooleumi erisoojus x. Tinatükk kaotas jahtudes $0{,}03 \cdot 537 \cdot (100 - 25)$ kalorit, petrooleum sai soojenedes soojust juurde $400 \cdot (25 - 19)\ x$ kalorit. Et mõlemad soojusehulgad peavad olema võrdsed, siis saame võrrandi

$$400\ (25 - 19)\ x = 0{,}03 \cdot 537 \cdot (100 - 25),$$

millest $x = 0{,}5$.

96. Gaaside erisoojus. Gaaside erisoojusest kõneldes tuleb teha vahet erisoojuse vahel jääva rõhumise puhul (c_p) ja erisoojuse vahel jääva ruumala puhul (c_v). Kui gaas on soojendamisel jääva rõhumise all ja saab seejuures vabalt paisuda, siis on ta erisoojus suurem kui sel juhul, kui gaasi ruumala on soojendamisel jääv ning rõhumine soojendamise tõttu suureneb. Põhjuseks on asjaolu, et esimesel juhul kulub osa soojust tööks, mida gaas teeb paisumisel. Näitena toome mõne tuntud gaasi erisoojuse jääva rõhumise puhul.

Hapnik	0,244	Vesinik	3,410
Lämmastik	0,217	Õhk	0,237

Erisoojuste tabel.

Alumiinium	0,212	Liivakivi	0,174
Huumus	0,433	Marmor	0,216
Hõbe	0,056	Nikkel	0,109
Inglistina	0,055	Plaatina	0,032
Jää	0,463	Raud	0,112
Kivisüsi	0,312	Tina	0,032
Klaas	0,170	Tsink	0,093
Kuld	0,031	Valgevask	0,092
Kuusepuu	0,654	Vask	0,094

Bensiin	0,38	Petrooleum	0,51
Eeter	0,53	Piiritus	0,58
Elavhõbe	0,03	Tärpentin	0,51
Glütseriin	0,50	Vesi	1,00

1. Millisel kehal eesolevast tabelist on kõige suurem ja millisel kõige väiksem erisoojus?

2. Tina- ja raudkuul lendavad sama kiirusega vastu märklauda. Kumb neist läheb rohkem kuumaks, kui algtemperatuur oli ühesugune?

3. Missugust mõju avaldab vee erisoojus kliima kujunemisse?

4. Kui palju soojust kaotab 4,5-kg-line klaasitükk jahtudes 200^0-st kuni 0^0-ni?

5. Kui palju soojust läheb vaja, et 2 kg elavhõbedat soojendada 100^0 võrra?

6. 500 g vaske jahtus 100^0-ist 28^0-ni. Kui palju kaotas ta soojust?

7. Tinatükk kaalub 250 g. Kui palju soojust kulub ta soojendamiseks 15^0-st 100^0-ni?

8. Segati liiter 40^0-list vett liitri piiritusega 20^0 juures. Leia segu temperatuur!

9. Mitme kraadi võrra jahtub jäätükk, mis kaalub 480 g, kui talt ära võtta 2,4 kcal soojust?

10. Alumiiniumlusikas kaalub 18 g. Mitme kraadi võrra tõuseb lusika temperatuur, kui talle juurde anda 72 cal soojust?

11. Mitme kraadi võrra soojeneb 500 g tsinki, kui talle juurde anda 2 kcal soojust?

12. Mitu g inglistina on võimalik 30 cal arvel teha 5^0 soojemaks?

13. 300-g-lise tinatüki soojendamiseks 15^0-st kuni 35^0-ni kulub 186 cal soojust. Kui suur on tina erisoojus?

14. Kui suur soojamahtuvus on teeklaasil, mis kaalub 120 g?

15. Hõbelusikas kaalub 70 g. Kui suur on ta soojamahtuvus?

Aine oleku muutumine

Sulamine

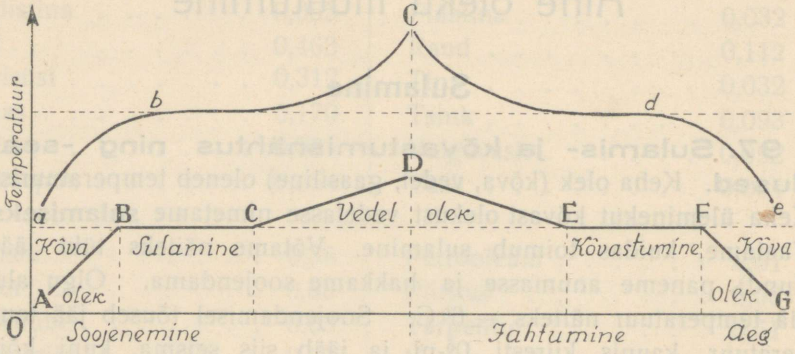
97. Sulamis- ja kõvastumisnähtus ning -seadused. Keha olek (kõva, vedel, gaasiline) oleneb temperatuurist. Keha üleminekut kõvast olekust vedelasse nimetame **sulamiseks**. Vaatame, kuidas toimub sulamine. Võtame näiteks tüki jääd (lund), paneme anumasse ja hakkame soojendama. Olgu alul jää temperatuur näiteks — 6° C. Soojendamisel tõuseb jää temperatuur kaunis kiiresti 0°-ni ja jääb siis seisma, kuni kõik jää ära sulab — muutub veeks. Kui tugevamini soojendada, muutub sulamine kiiremaks, kuid jää temperatuur ei tõuse seejuures mitte. Kogu sulamise kestes on jää temperatuur sama, nimelt 0°. Lõpetame soojuse juurdevoolu, siis jääb sulamine otsekohe seisma; mõlemad — sulamisest tekkinud vesi ja sulamata jää — püsivad 0° juures. Siit näeme, et sulamine ei toimu mitte iseendast, vaid selleks on vaja soojust. On kõik jää ära sulanud, alles siis hakkab termomeeter uuesti tõusma.

Vee jahutamisel toimub nähtus vastupidises järjekorras, nimelt: vesi jahtub soojuse kaotusel kuni 0°-ni ja hakkab siis edaspidisel soojuse kaotusel muutuma jääks — kõvastuma. Kogu kõvastumise kestes on vee temperatuur sama, nimelt 0°. Temperatuuri langemine algab alles siis, kui kõik vesi on muutunud jääks. Näitlikult võime sulamis- ja kõvastumiskäiku kujutada graafiku abil (95. joon.). Märgime püstteljel temperatuuri ja rõhtteljel aja; oletame, et soojuse juurdevool soojendamisel ja kaotus jahtumisel on ühtlane, s. o. võrdeline ajaga. Siis kujutab joon ABCD keha temperatuuri muutumise käiku soojendamisel ja DEFG jahtumisel.

Samuti kui jää sulamine ja vee kõvastumine toimub ka kõigi teiste kristallilise ehitusega kehade oleku muutumine kõvast vedelaks ja ümberpöördult, nimelt:

1. iga keha hakkab sulama (kõvastuma) kindla, sellele kehale omase sulamis- (kõvastumis-) temperatuuri juures;

2. sulamistemperatuur on ühesugune kõvastumistemperatuuriga;



95. joon. Aine oleku muutumise graafik.

3. sulamine (kõvastumine) kestab niikaua, kui soojust juurde tuleb (kaotub);

4. kogu sulamise (kõvastumise) kestes on keha temperatuur jääv.

Mitte kõik kehad ei sula nõnda kui jää. Kui näiteks klaaspulka soojendada gaasipõleti leegis, siis ta ei muutu vedelaks mitte äkitselt, vaid läheb temperatuuri tõusmisel järjest pehmemaks, kuni lõpuks jõuab vedela olekuni. Sel klaasi omadusel on suur tähtsus klaasitööstuses, sest ta võimaldab välja töötada klaasist hästi mitmekujulisi asju. Sarnaselt klaasiga sulavad (kõvastuvad) üldiselt kõik amorfsed (mittekristallilised) kehad, nagu või, rasv, vaha, pigi, kummi jne. Seda liiki kehade temperatuuri muutumise käiku soojendamisel (jahutamisel) võime kujutada kõveraga abcde (95. joon.), mis muutub pidevalt. Sulamis- (kõvastumis-) temperatuuriks loetakse niisugusel juhul see, kus temperatuuri muutumine toimub kõige aeglasemalt (b ja d).

Iti Blau Iti Blau,

98. Aine sulamissoojus. Nagu nägime, kestab jää sulamine niikaua, kui soojust juurde tuleb. Termomeeter seda soojuse juurdevoolu aga ei näita, sest kogu sulamise kestes on temperatuur jääv. Kuhu jääb siis soojuse-energia, mis sulamisel kulutatakse, kuid mis ei suurenda molekulide kineetilist energiat (temperatuur on jääv)? Kõik see energia kulub kõva keha molekulide vahel olevate sidemete lõhkumiseks, sest kõva keha molekulid on palju tugevamini üksteisega seotud kui vedeliku molekulid. Sulamisel äratarvitatud soojuse-energia kulub kõva keha molekulide vahel mõjuvate kohesioontungide ületamiseks, n. n. sisemiseks tööks, mis suurendab molekulide potentsiaalset energiat. Nagu maa ja kivi potentsiaalne energia suureneb kivi maapinnast kõrgemale tõstes, samuti võib ka molekulide teissugusel asetamisel üksteise suhtes suureneda nende potentsiaalne energia.

Soojuse-energia hulka, mis kulub selleks, et 1 g antud ainet sulamistemperatuuris kõvast olekust muuta vedelaks, nimet. selle aine **sulamissoojuseks.** Nii näiteks on jää sulamissoojus **80 gramm-kalorit.**

Kõvastumisel toimub vastupidine nähtus. Sulamiseks kulutatud energia saab vabaks, molekulide potentsiaalne energia muutub kineetiliseks ja andub edasi ümberolevaile kehadele. Et looduses energia ei hävi, siis on loomulik, et sulamiseks kulutatud energia hulk kõvastumisel jälle täiel määral vabaneb; samuti muutub ka ülestõstetud kivi potentsiaalne energia kivi mahalangemisel molekulide kineetiliseks energiaks.

Aine sulamissoojust nimet. teisiti ka latentseks ehk peidetud soojuseks, sest varemini, kui soojus arvati olevat mingisugune kaalutu aine (vedelik), paistis, et sulamisel soojus end ära peidab.

99. Jää sulamissoojuse leidmine. Olgu kalorimeetris 434 g vett algtemperatuuriga 52,8°. Võtame tükikese kuiva jääd 0° juures ja laseme kalorimeetrisse. Jää sulamisel langeb vee temperatuur kalorimeetris. Segame vett järjest ümber ja märgime temperatuuri kohe, kui viimane jääraasuke on ära sulanud. Olgu vee lõpptemperatuur 27,6° ja kogu vee hulk 536 g. Leiame saadud andmeist jää sulamissoojuse. Vesi jahtus kalorimeetris

$52{,}8^0 - 27{,}6^0 = 25{,}2^0$ võrra. Ärasulanud jää mass on 536 g — — 434 g = 102 g. Vesi kalorimeetris kaotas $25{,}2 \cdot 434$ g-kalorit soojust; sellest soojuse hulgast kulus, tähistades jää sulamissoojuse x-ga, 102 x g-kalorit jää sulatamiseks ja $27{,}6 \cdot 102$ g-kalorit jää sulamisest tekkinud vee soojendamiseks 0^0-st kuni $27{,}6^0$-ni. Et mõlemad soojuse hulgad peavad olema võrdsed, siis saame võrrandi

$$102\,x + 27{,}6 \cdot 102 = 25{,}2 \cdot 434,$$

millest $x = 79{,}6$.

Täpsed mõõtmised näitavad, et jää s u l a m i s s o o j u s on 80 g r a m m - k a l o r i t i g a g r a m m i k o h t a.

Kaalude ja kalorimeetri puudumisel võib määrata jää sulamissoojust lihtsalt ainult mensuuri ja termomeetri abil. Kuidas?

100. Ruumala muutumine kõvastumisel. Jää ujub veepinnal, — sellest järeldame, et vee ruumala kõvastumisel suureneb (nimelt umbes 0,1 võrra). Sama omadus on ka malmil, bismutil ja mõnel teisel kehal. Suuremal hulgal kehadel (tina, vask, väävel jne.) väheneb ruumala kõvastumisel ja seepärast vajub kõva keha põhja samast ainest vedelikus.

Vee ruumala suurenemist kõvastumisel võime seletada jää kristallilise ehitusega. Kuigi jääs molekulid rühmiti võivad tihedamini üksteisega seotud olla kui vees, on aga vahed üksikute kristallide vahel võrdlemisi suured ja seetõttu jää üldine ruumala suurem kui vee oma.

96. joon. Jääks muutudes paisub vesi tugevasti ja lõhub raudpommi.

Vee ruumala muutumisel kõvastumisel on looduses lõpmatu suur tähtsus. Kui jää vajuks vees põhja, siis muutuks vesi suuremas osas meie veekogudest (jõed, järved, osalt ka mered) põhjani jääks ja elu neis häviks. Mispärast?

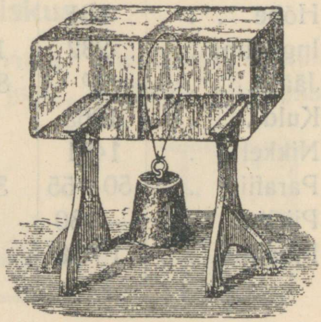
Kui tugevasti vesi jääks muutudes paisub, näitab katse raudpommiga (96. joon.), mille õõnsus täidetakse veega, siis kruvitakse kõvasti kinni ja asetatakse jahutavasse segusse. Jääks muutudes paisub vesi nii tugevasti, et pomm lõhkeb. — Samuti kui kõik teised kehad tõmbub jää kokku jahtudes ja paisub soojenedes.

Täida pudel veega ja pane välja kange külma kätte. Vaata, mis juhtub ja mispärast?

101. Sulamistemperatuuri olenevus rõhumisest.

Kehade sulamistemperatuur oleneb vähesel määral rõhumisest, mille juures toimub sulamine. Kõigil neil kehadel, mille ruumala kõvastumisel suureneb (jää), langeb sulamistemperatuur rõhumise suurenedes, teistel kehadel toimub nähtus ümberpöördult. Jää juures on seda kerge katseliselt näidata.

Võtame tüki jääd, paneme välja külma kätte ja riputame temast ülepandud traadi külge raske koormise (97. joon.). Nüüd hakkab traadi rõhumise all olev jää sulama, kuna sulamisest tekkinud vesi ülalpool traati jälle jääks külmub. Sedaviisi lõikab traat jäätüki pikkamisi läbi, kuna jäätükk ise seejuures jääb terveks.



97. joon. Jää sulamistemperatuur langeb rõhumise suurenedes.

Nähtuse seletuseks tuletame meelde, et jää ruumala sulamisel väheneb. Jäässe mõjuv rõhumine vähendab jää ruumala ja sellega aitab kaasa sulamisele. Kehade juures, kus ruumala kõvastumisel väheneb (tina, vaha), on rõhumise mõju sulamistemperatuurisse vastupidine.

102. Jahutavad segud. Ülejahutamine.

Ka lahustumisel kulub soojust, et nõrgendada sidet lahustatava aine molekulide vahel. Seepärast näiteks langeb keedusoola lahustumisel vees vee temperatuur. Iseäranis tugevasti langeb temperatuur (kuni —20° C) keedusoola lahustumisel jääs (lumes). Niisugust jää ja soola segu nimet. j a h u t a v a k s s e g u k s. Veel madalama temperatuuri (kuni —55°) annab kristallilise kloorkaltsiumi ja jää segu.

Ettevaatlikult puhast vett jahutades võib teda ü l e j a h u t a d a, s. o. jahutada alla hariliku kõvastumistemperatuuri (0°). Kuid see olek ei ole mitte stabiilne, püsiv. Raputades vôi jääkristallikest lisandades muutub osa veest äkitselt jääks, kuna ülejäänud vee temperatuur tôuseb 0^0-ni. Vett vôib kuni —20^0-ni üle jahutada.

Sarnaselt ülejahutamisega vôib kõnelda ka kehade ülesoojendamisest, s. o. nähtusest, kus keha püsib kôvas (või vedelas) olekus vaatamata sellele, et ta temperatuur on sulamistemperatuurist (vôi keemistemperatuurist) kõrgem.

Sulamistemperatuurid ja -soojused.

Aine	Sulamis-tempera-tuur	Sulamis-soojus	Aine	Sulamis-tempera-tuur	Sulamis-soojus
Alumiinium .	657^0	102	Raud (puhas)	1 528	49
Eeter . . .	—132	—	Tina (seatina)	327	6,3
Elavhõbe . .	—39	2,8	Tsink . . .	419	26,6
Hõbe . . .	961	24	Vaha . . .	63—64	42,3
Inglistina . .	232	14,6	Vask . . .	1 083	42
Jää	0^0	80,0	Väävel . . .	113	9,4
Kuld	1063	16	—		
Nikkel . . .	1451	65	Hapnik . .	—219	3,3
Parafiin . .	50—55	35,1	Lämmastik .	—210	6,1
Piiritus . .	—130	—	Süsihapu gaas	—56,3	45,3
Plaatina . .	1 764	27	Vesinik . .	—258	14

1. Mis tähtsus on jää sulamissoojuse kõrgusel jää- ja lumikatte tekkimisel ning kadumisel?

2. Millisel ainel eelolevas tabelis on kôige kôrgem (madalam) sulamistemperatuur ja kôige suurem (väiksem) sulamissoojus?

3. Missugune on lume (jää) ja vee segu temperatuur? Millest tunneme, kas külmetab vôi sulab?

4. Jää (jäätis) tundub hambaile külmem kui jäävesi (0^0). Mispärast?

5. Lumememme ja lumesôda on hää teha sula ilmaga vôi väikese külmaga, mitte aga kôva külmaga. Mispärast?

6. Seleta ära jääliustikkude liikumine!

7. Kange külmaga ei ole jää uisutamisel nii libe kui „pehme" ilmaga. Mispärast?

8. Missugused ained annavad paremini valada: kas need, mille ruumala kôvastumisel suureneb, vôi need, mille ruumala väheneb? Mispärast raha ei valata, vaid pressitakse („lüüakse")?

9. Kui palju kulub soojust 50 g jää sulatamiseks sulamistemperatuuris?

10. Kui palju —20⁰-list jääd on võimalik ära sulatada 120 g vee sees, mille temperatuur on 20⁰?

11. Kui palju kulub soojust selleks, et ära sulatada 500 g tina, mille temperatuur on 15⁰?

12. Segati 400 g vett +80⁰ juures 40 g jääga —10⁰ juures. Leia segu temperatuur!

13. Mitu g jääd —6⁰ juures peab 3 liitri 60⁰-lise vee sees ära sulatama, et vee temperatuur langeks 20⁰ võrra?

14. Mitu g +40⁰-list vett tuleb segada 30 g lumega, mille temp. —8⁰, et pärast lume ärasulamist segu temp. oleks +10⁰?

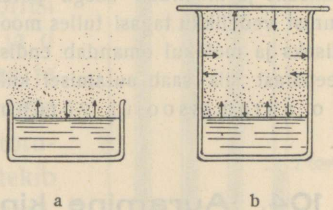
15. Leia raua erisoojus, kui 600 g rauda, jahtudes 80⁰ võrra, sulatab ära 60 g jääd.

16. Kui suur on tina erisoojus, kui 800-grammiline tinatükk, jahtudes 90⁰ võrra, sulatab ära 27 g jääd?

17. Kui paksu jääkihi suudaks Päikeselt aasta jooksul saadud soojus ümber Maa ära sulatada (jää algtemperatuur 0⁰)? Kas oleneb kihi paksus Maa raadiusest?

Auramine ja niiskus

103. Auramine lahtises anumas. Me teame, et kuivas ruumis vesi lahtisest anumast (98. joon., a) kaob pikkamisi ära. Eetri ja piirituse ärakadumine toimub hoopis kiiremini. Seletuseks ütleme, et vesi (eeter, piiritus jne.) on ära auranud, gaasilisse olekusse läinud. Nii siis nimetame a u r a m i s e k s aine aeglast muutumist vedelast olekust gaasilisse, kusjuures see muutumine toimub vedeliku pinnal ja igasuguses temperatuuris. Auramisel gaasilisse olekusse läinud vedeliku (vee) nimetame a u r u k s.



98. joon. Auramine lahtises ja kinnises anumas.

Mõned kõvad kehad (lumi, kamper, jood jne.) võivad minna otsekohe, ilma vedelaksmuutumiseta, kõvast olekust gaasilisse. Nimetame niisugust kehade omadust l e n d u m i s e k s ja kehi endid l e n d u v a i k s.

Molekulaarhüpoteesi põhjal võime auramist seletada järgmiselt. Vedelikumolekulid on alalises liikumises ja selle keskmine kiirus oleneb temperatuurist. Et vedelikumolekulid asuvad üksteisele väga lähedal, siis on sagedad kokkupõrked möödapääsmatud. Need pinna lähedal olevad vedelikumolekulid, mille kiirus keskmisest kiirusest suurem, võivad (tähtis on ka liikumise suund) ületada oma mõjupiirkonna kohesioontungid ja sedaviisi pääseda vedelikust välja ruumi, mis vedeliku kohal. Nii siis moodustavad vedeliku auru need pääasjalikult suurema kiirusega vedelikumolekulid, mis vedelikust välja pääsevad.

Et temperatuuri tõusuga kasvab molekulide liikumise kiirus, siis on loomulik, et ühes sellega suureneb ka auramise kiirus, mis vee auramisest üldiselt tuttav.

Õhus olevad aurumolekulid võivad üksteisega samuti ka õhumolekulide ja anuma seintega kokku põrgates uuesti vedelikku tagasi sattuda.

Nägu nägime, pääsevad vedelikust välja eeskätt suurema kiirusega molekulid. Seega siis peab vedeliku temperatuur, mis oleneb vedelikku järelejäänud molekulide kineetilisest energiast, auramisel langema. Vedeliku temperatuuri langemist auramisel on kerge tähele panna nende vedelikkude juures, kus auramine toimub iseäranis kiiresti (eeter, piiritus).

Nimeta mõned nähtused veeauramise jahutava mõju kohta!

Soojuse hulk, mis kulub selleks, et 1 g vedelikku antud temperatuuris muuta auruks samas temperatuuris, nimet. auramise soojuseks.

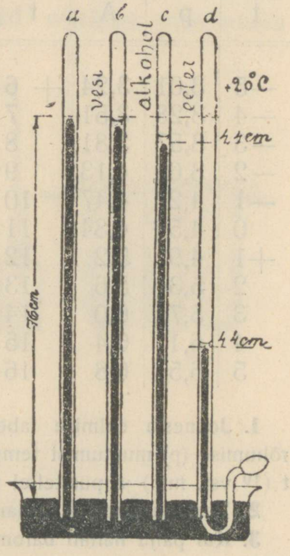
Eespoolöeldust võiks järeldada, nagu peaks auru temperatuur vedeliku omast olema suurem (energilisemad molekulid). Kuid tõepoolest kulub osa vedelikust väljuvate molekulide kineetilisest energiast (kiirusest) kohesioontungide ületamiseks ja moondub seega potentsiaalenergiaks (võrdlus ülesvisatud kiviga). Aurust vedelikku tagasi tulles moondub molekuli potentsiaalenergia uuesti kineetiliseks ja molekul omandab endise kiiruse, samuti vedelik endise temperatuuri. Seepärast siis saab auramisel kulunud soojus veeldumisel jälle uuesti vabaks, s. o. auramissoojus võrdub auru veeldumissoojusega.

104. Auramine kinnises anumas. Kui auramine toimub kinnises anumas (98. joon., b), siis ei pääse aurumolekulid vedeliku pääl olevast ruumist mitte eemale, vaid kogunduvad kõik sinna piiratud ruumi. Aurumolekulide arv suureneb järjest, kuid lõpuks tekib n. n. **liikuv tasakaal**, s. o. seisund, kus vedelikust väljunud (auruks muutunud) molekulide arv võrdub aurust vedelikku tagasiläinud molekulide arvuga. Nüüd antud ruumi antud temperatuuris aurumolekule enam ei mahu. Me ütleme, et **ruum** on aurust **küllastatud** ehk **aur** on **küllastunud**.

Liikuva tasakaalu nähtus ei esine mitte üksnes vedeliku- ja aurumolekulide liikumises, vaid väga sagedasti ka mujal. Kui rahva-arv ei kasva, siis on siin liikuv tasakaal: niipalju kui sureb, samapalju sünnib asemele jne. Too näiteid liikuva tasakaalu kohta!

Suurendame vedeliku kohal olevat kinnist ruumi, siis ei jätku aurumolekulidest selle ruumi küllastamiseks, ruum on aurust **küllastamatu** ja vedelikust võib molekule ruumi juurde tulla küllastuseni. Vähendame auruga küllastatud ruumi, siis peab osa aurumolekule paratamatult vedelikku tagasi minema — v e e l d u m a , sest niipalju neid antud ruumi ei mahu.

105. Küllastunud auru rõhumine. Aurumolekulid liiguvad vabalt ruumis sarnaselt gaasimolekulidega. Seepärast peab aur sarnaselt gaasidega molekulide alaliste kokkupõrgete (pommitamise) tõttu avaldama rõhumist. Nagu nägime, on küllastatud ruumis aurumolekulide arv kõige suurem, seepärast peab olema küllastunud aurul võrreldes küllastumatu auruga ka kõige suurem rõhumine.



99. joon. Küllastunud auru rõhumise määramine.

Auru rõhumise uurimiseks võib tarvitada tühja ruumi baromeetri torus (Torricelli tühjus). Olgu meil 4 ühesugust baromeetri toru täidetud elavhõbedaga (99. joon.). Juhime kõvera otsaga pritsi abil toru b alla vett, c alla piiritust ja d alla eetrit. Vedelik tõuseb torus üles ja muutub elavhõbeda kohal olevas ruumis auruks. Juhime vedelikku niikaua torudesse juurde, kuni elavhõbeda pääle tekib õhuke vedeliku kiht. Sellest järeldame, et ruum vedeliku kohal on aurust küllastatud, sest vedelikku enam auruks ei muutu. Toru b, c ja d elavhõbeda-samba kõrgust toru a omaga (baromeeter) võrreldes näeme, et esimestes küllastunud auru rõhumise mõjul on elavhõbe langenud, nimelt $+20^0$ C juures: torus b (vesi) 1,7 cm, torus c (piiritus) 4,4 cm ja torus d (eeter) 44 cm. Sellest järeldame, et $+20^0$ C juures on küllastunud vee-auru rõhumine 1,7 cm, piiritusel 4,4 cm ja eetril 44 cm.

Katsest selgub, et k ü l l a s t u n u d a u r u r õ h u m i n e o l e n e b v e d e l i k u a i n e s t. Sama riistaga võime ka näidata, et küllastunud auru rõhumine oleneb auru temperatuurist ja suureneb temperatuuri tõustes. Küllastunud vee-auru rõhumise olenevus temperatuurist on katseliselt kindlaks määratud (vaata tabel), kuid sidet matemaatilise valemi näol nende vahel pole senini leitud.

Küllastunud auru rõhumine ei olene sellest, kas ruum, kus aur tekib, on tühi või täidetud mõne teise auru või gaasiga, küll aga oleneb sellest auramise kiirus, — mis on tühjas ruumis märksa suurem.

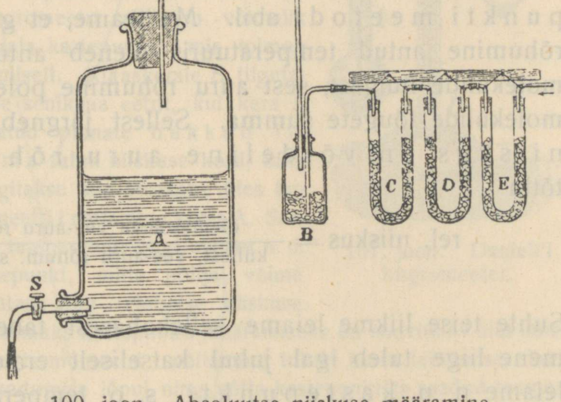
Küllastunud vee-auru rõhmine (p_{mm}) ja absoluutne niiskus $\left(A\frac{g}{m^3}\right)$ mitmesuguses temperatuuris (t^0 C).

t	p	A	t	p	A	t	p	A	t	p
—5	3,01	3,24	+6	7,0	7,3	+17	14,5	14,5	50	92,0
—4	3,28	3,51	7	7,5	7,8	18	15,5	15,4	60	148,9
—3	3,57	3,81	8	8,0	8,3	19	16,5	16,3	70	233,3
—2	3,68	4,13	9	8,6	8,8	20	17,5	17,3	80	355,4
—1	4,22	4,47	10	9,2	9,4	21	18,7	18,3	90	529,9
0	4,58	4,84	11	9,8	10,0	22	19,8	19,4	95	634,0
+1	4,9	5,2	12	10,5	10,7	23	21,1	20,6	98	707,0
2	5,3	5,6	13	11,2	11,4	24	22,4	21,8	99	733,2
3	5,7	6,0	14	12,0	12,1	25	23,8	23,0	99,5	746,5
4	6,1	6,4	15	12,8	12,8	30	31,8	—	100	760,0
5	6,5	6,8	16	13,6	13,6	40	54,9	—	105	906,4

1. Joonesta eelmise tabeli põhjal graafik, mis näitab küllastunud vee-auru rõhumise (p) muutumist temperatuuri tõusmisel 0^0-st 160^0-ni. Rõhtteljel märkida t (1^0 vst. mm) ja püstteljel p (100 mm vst. 1 mm)!
2. Vesi on poorses savianumas ümberolevast õhust jahedam. Mispärast?
3. Kui palju näitab baromeeter 20^0 C juures vähem, kui baromeetri torus on niiskust?
4. Mispärast kuivab pesu tuule käes paremini kui vaikses õhus?
5. Seleta, milles seisneb lehviku tarvitamise jahutav mõju.
6. Jäämäed meres on sagedasti ümbritsetud uduga. Mispärast?
7. Seleta, millest tuleb järvede ja soode auramine (udu).
8. Hommikune udu kaob harilikult enne lõunat. Mispärast?

106. Õhu niiskus. Vabalt veepinnalt, nagu mered, järved, jõed jne., aurab vahet pidamata vett (niiskust) õhku. Seepärast on õhus alati suuremal või väiksemal määral vee-auru. Lihtsad katsed näitavad, et see on tõepoolest nõnda: kloorkaltsium imeb endasse õhus olevat vee-auru ja läheb seetõttu varsti märjaks, kallame soojas toas väljastpoolt hästi ärakuivatatud veeklaasi külma vett, siis läheb klaas väljastpoolt niiskeks; aknad „higistavad" jne. Nimetame **õhu absoluutseks niiskuseks** ühes kuupmeetris olevat vee-auru hulka, mõõdetud grammides, **relatiivseks niiskuseks** aga antud ruumis oleva vee-auru hulga suhet selle vee-auru hulgaga, mis samas temperatuuris seda ruumi küllastaks.

107. Absoluutse niiskuse määramine. Vaatame, kuidas on võimalik leida õhu absoluutset niiskust (100. joon.). Selleks võtame U-torud C, D ja E, täidame nad niiskust sisseimeva ainega (kloorkaltsium) ning ühendame omavahel kummitorude abil. Kaalume U-torud enne katse algust võimalikult täpselt ära. Anum B kaudu ühendame U-torud aspiraatoriga A, mis veega täidetud. Kõik ühendused peavad olema täiesti õhukindlad. Anum B takistab niiskuse pääsmist aspiraatorist U-torru. Avame aspiraatori kraani S. Vesi hakkab aspiraatorist välja voolama ja õhk tungib U-torude kaudu sinna asemele, jättes kõik oma niiskuse U-torudesse. Mõõdame ära väljavoolanud vee ruumala ja U-torude kaalu juurdekasvu. Kui näiteks 5 liitri õhu läbivoolamisel U-torud lähevad 0,1 g raskemaks, siis on õhu absoluutne niiskus $\frac{0{,}1 \cdot 1000}{5}$ ehk $20 \frac{g}{m^3}$.



100. joon. Absoluutse niiskuse määramine.

108. Relatiivse niiskuse määramine. Tegelikus elus on suure tähtsusega õhu relatiivse niiskuse teadmine, sest see määrab, kas antud temperatuuris vee-auru õhku veel mahub või mitte. Ja sellest oleneb õieti õhu „kuivus“ harilikus mõttes.

Relatiivset niiskust võime leida a b s o l u u t s e n i i s k u s e a b i l. Kui näiteks teame, et 20° C juures on õhu absol. niiskus 8,65 $\frac{g}{m^3}$, siis on relatiivne niiskus $\frac{8{,}65}{17{,}3}$ ehk $\frac{1}{2}$, sest sellekohasest tabelist (v. lk. 104) leiame, et 20° C juures mahub 1 m^3 õhusse 17,3 g küllastunud vee-auru. Harilikult väljendatakse relatiivne niiskus %-des (meie juhul ½ — 50%); siis näitab r e l a t i i v n e n i i s k u s k ü l l a s t u s e m ä ä r a, s. o. mitu % moodustab õhus juba olemas olev vee-auru hulk sellest, mis sinna antud temperatuuris mahuks maksimaalselt.

Kõige lihtsam on õhu relatiivset niiskust leida n. n. k a s t e p u n k t i m e e t o d i abil. Me teame, et gaasi, samuti ka auru rõhumine antud temperatuuris oleneb antud ruumalas olevate molekulide hulgast, sest auru rõhumine pole muud, kui üksikute molekulide tõugete summa. Sellest järgneb, et a b s o l u u t n e n i i s k u s o n v õ r d e l i n e a u r u r õ h u m i s e g a ja seetõttu

$$\text{rel. niiskus} = \frac{\text{olemasoleva vee-auru rõhumine}}{\text{küllast. vee-auru rõhum. samas temp}}.$$

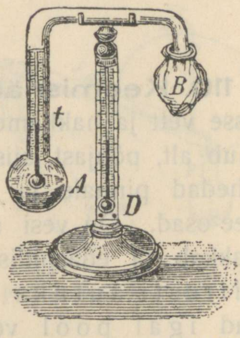
Suhte teise liikme leiame sellekohasest tabelist, kuna suhte esimene liige tuleb igal juhul katseliselt eraldi määrata. Selleks leiame n n. k a s t e p u n k t i, s. o. temperatuuri, milleni tuleks jahutada õhku, et temas olev vee-aur küllastuks. Olgu näiteks toa temp. 18° C. Jahutame sileda läikiva välispinnaga anumat (hõbetatud või kullatud klaas jne.), milles on kas jäävesi või mõni kiiresti aurav vedelik (eeter), niikaua, kui läikivale pinnale tekib õhuke kaste kord ja ta muutub tuhmiks. Olgu seejuures anuma temperatuur 12°. Anuma jahtudes jahtub ühtlasi ka ta seintega kokkupuutuv õhk ja vee-aur; seejuures ei muutu jahtunud vee-auru rõhumine, sest ta (jahtunud aur) on otseses kokkupuutumises ümberoleva vee-auruga. Seepärast võime õhus oleva vee-auru rõhumise 18° juures lugeda sama suureks, kui küllastunud vee-auru rõhumine 12° juures. Viimase suuruse leiame tabelist; ta võrdub 10,5 mm. Seega siis on otsitav relatiivne niiskus

$$\frac{10{,}5}{15{,}5} = 0{,}677 \text{ ehk } 67{,}7\%.$$

Tervishoiuliselt on meile kõige soodsam, et õhu relatiivne niiskus oleks 50—60%, seepärast tuleb tähele panna relat. niiskust haigemajades, elutubades jne. Ka taimemajades peab valitsema taimekasvule paras relatiivne niiskus. Relatiivsest niiskusest oleneb suurel määral ka sademete tekkimise võimalus jne.

109. Hügromeetrid. Riistu, mille abil määratakse õhu niiskuse suurust, nimet. hügromeetreiks.

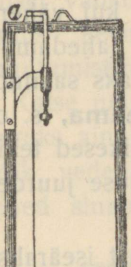
101. joon. kujutab n. n. Daniell'i hügromeetrit, mis koostub toruga ühendatud klaaskeradest A ja B. Kera B on tühi ja kaetud võrkriidega (marliga), kuna kera A on umbes pooleni täidetud eetriga, mille temperatuuri näitab termomeeter t. Kera A välispinna keskmine osa on kullatud. Danielli hügromeetri abil on võimalik määrata kastepunkti, mis toimub järgmiselt. Klaaskerale B tilgutatakse senikaua eetrit, kui kera A kullatud pinnale hakkab ilmuma tuhm niiskuse kord, ning märgitakse siis otsekohe üles termomeetri t näitamine keras A. Saadud temperatuur ongi otsitav n. n. kastepunkt, mille põhjal võime arvutada õhu relatiivse niiskuse.



101. joon. Daniell'i hügromeeter.

Täpsemaks kastepunkti määramiseks on soovitatav üles tähendada termomeetri t näitamine tuhmi korra tekkimise alul ja ärakadumise lõpul ning võtta kastepunktiks saadud temperatuuride aritmeetiline keskmine.

Seleta, kuidas mõjub eetri tilgutamine kerale B eetri temperatuuri muutumisele keras A. Misjaoks on termomeeter tulbal D? Kas ei võiks tarvitada eetri asemel Daniell'i hügromeetris mõnd teist vedelikku? Katsu määrata ligikaudu kastepunkt, lund järjest veeklaasi lisandades seni, kuni klaasi välispinnale hakkab tekkima „higi".



102. joon. Juushügroskoop.

Niiskusehulga suurenemist ja vähenemist õhus vaadeldakse n. n. niiskusenäitajate ehk hügroskoopide abil.

Üks lihtsam neist on kujutatud 102 joon. Temaehituse aluseks on nähtus, et juuksekarv imeb niiskust sisse ja läheb selle mõjul pikemaks, õhu kuivenedes aga tõmbub uuesti kokku. Juuksekarv on mässitud telje ümber, millega ühenduses on näitaja. Juuksekarva pikkuse muutumine paneb näitaja ühes või teises suunas liikuma, mis numbrilaual näitab märgitud niiskusemäära protsentides.

1. Kuidas on võimalik tarbe korral õhu relatiivset niiskust toas suurendada?

2. Mispärast ei ole kaste alati ühteviisi tugev?

3. Me tarvitame sagedasti kõnekäändu „kaste l a n g e b maha". Kas on see õige?

4. Klassi ($9 \cdot 6 \cdot 4$ m^3) õhu relat. niiskus 18^0 juures on 60%. Kui palju kaalub kogu klassis olev vee-aur?

5. Mitu kuupmeetrit ruumi on võimalik küllastada 20^0 juures 344 g vee arvel?

6. 15^0 juures on õhu relatiivne niiskus 55%. Leia absoluutne niiskus!

7. 18^0 juures on toa õhu relatiivne niiskus 65%. Leia kastepunkt ja vee-auru rõhumine!

8. Õhus 25^0 juures olev niiskuse hulk suudaks küllastada seda õhku 14^0 juures. Leia relatiivne niiskus!

Keemine

110. Keemisnähtus ja -seadused. Võtame keedupudelisse vett ja hakkame teda soojendama. Kui soojendamine toimub alt, põhjast, siis tõusevad soojenenud vee-osad kui vähem tihedad pinnale ja nende asemele langevad pinnalt jahedamad vee-osad. On vesi sedaviisi segunedes 100^0 C soojaks saanud, hakkab ta edaspidisel soojuse juurdevoolamisel **keema,** s. o. k i i r e s t i a u r u k s m u u t u m a, kusjuures aurumullikesed tekivad i g a l p o o l vee sees, iseäranis sääl, kus soojuse juurdevool on kõige tugevam.

Enne vee täielise keemise algust on kuulda põhjast iseäralist kihinat. Tugeva soojuse juurdevoolu mõjul tekivad põhjas aurumullikesed, kuid veidi kõrgemale tõustes jahtuvad nad ja surutakse kokku õhu ning vee rõhumise mõjul. Alles siis, kui kogu vesi on jõudnud keemistemperatuurini, võrdub küllastunud veeauru rõhumine õhu-rõhumisega ja mullikesed tõusevad vabalt veepinnale. Seepärast võime täpsemalt vee k e e m i s t e m p e r a t u u r i k s (k e e m i s p u n k t i k s) n i m e t a d a s e d a t e m p e r a t u u r i, m i l l e j u u r e s k ü l l a s t u n u d v e e - a u r u r õ h u m i n e v õ r d u b v ä l i s r õ h u m i s e g a.

Vee, samuti ka teiste vedelikkude keemisel maksvad korrapärasused on sarnased kõvade kehade sulamisel tähelepandud korrapärasustega, nimelt:

1. iga vedelik hakkab keema kindla, sellele kehale omase keemistemperatuuri juures;

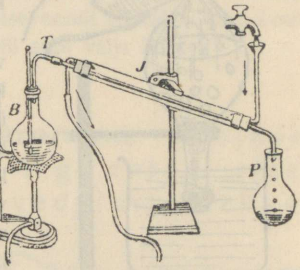
2. keemistemperatuur on ühesugune veeldumistemperatuuriga;

3. keemine kestab niikaua, kuni soojust juurde tuleb;

4. kogu keemise kestes on temperatuur jääv.

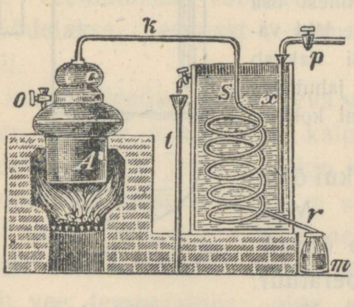
Katsed näitavad, et vedeliku temperatuur keemisel oleneb teatud määral anumast, milles vedelik keeb (anuma aine ja sisepinna puhtus). Kuid keeva vedeliku kohal oleva küllastunud auru temperatuur on alati jääv, kui ei muutu rõhumine, mille all on keev vedelik. Seepärast määratakse vedeliku keemistemperatuur keevast vedelikust tekkinud auru abil, mis vedeliku kohal.

III. Veeldumine. Destillatsioon. Vedelik, soojendatud keemistemperatuurini, hakkab soojuse juurdevoolamisel keema. Ümberpöördult — aur, jahutatud keemistemperatuurini, t i h e n e b uuesti v e d e l i k u k s ehk v e e l d u b, kui talt soojust ära võtta. Veeldumisel vabaneb k õ i k soojus, mis kulus keemisel vedeliku auruks muutumiseks.



103. joon. Destillatsioon.

Katse näitab, et keemisel muutub auruks ainult puhas vedelik, kuna kõik vedelikus lahustunud kõvad ained sinna alles jäävad. Sellel auru omadusel põhjeneb üks vedelikkude p u h a s t a m i s e ehk d e s t i l l a t s i o o n i viis (103. joon.). Keedupudelis B on puhastatav vedelik, mille aur torus T veeldub jahutajast J läbi minnes ja voolab anumasse P. Suuremal mõõdul destilleeritud vee saamiseks tarvitatakse sellekohaseid sisseseadeid, nagu näha 104. joon.



104. joon. Destilleerimis-aparaat.

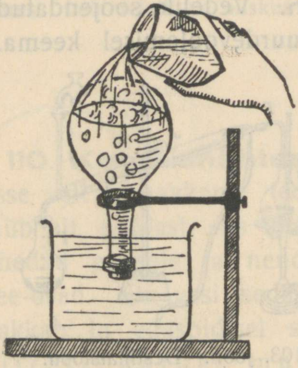
Seleta, kuidas töötab 104. joon. kujutatud destilleerimis-aparaat.

Destillatsioon leiab laialdast kasutamist tööstuses: puhta (destilleeritud) vee saamine, piirituse puhastamine jne.

Vahel, näiteks suhkrutööstuses, on vaja veest lahti saada, ilma et selleks kõrget temperatuuri tarvitataks. Niisugusel juhul toimub destilleerimine madala rõhu abil.

112. Keemistemperatuuri olenevus rõhumisest.

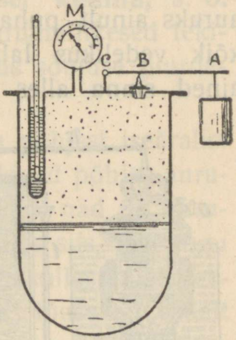
Me teame (§ 105), et küllastunud auru rõhumine suureneb temperatuuri tõustes. Ühtlasi teame ka, et keemistemperatuuris võrdub küllastunud auru rõhumine vedeliku välisrõhumisega. Sellest järeldub, et vedeliku keemistemperatuur peab olema vedeliku välisrõhumisega samuti seotud, kui küllastunud auru rõhumine vst. temperatuuriga, s.o. tõusma rõhumise suurenedes ja ümberpöördult.



105. joon. Rõhumise vähenedes langeb keemistemperatuur.

Et rõhumise vähenedes näiteks vee keemistemperatuur märksa langeb, on kerge näidata järgmise katse abil.

Võtame keedupudeli, täidame umbes pooleni veega ja ajame keema. Laseme mõne minuti keeda, nii et aur keedupudelist endaga kõik õhu ühes kaasa viiks ja keedupudelis oleks vee kohal ainult aur. Nüüd korgime keedupudeli kõvasti kinni, pöörame ümber ja pistame kaela otsa pidi vee alla (105. joon.). Keemine jääb kohe seisma, sest lõppes soojuse juurdevool. Temperatuur langeb varsti alla keemistemperatuuri. Külma vett pääle kallates jahutame keedupudelis olevat auru, millest osa veeldub; selle läbi väheneb auru rõhumine vee pääle ja vesi hakkab uuesti keema. Lume või jää abil tublisti jahutades võime sedaviisi vee keemistemperatuuri kuni kolme-, neljakümne kraadini alla viia.



106. joon. Papin'i katel.

Vesi keeb 100^0 juures ainult siis, kui õhurõhumine on normaalne (76 cm). Maapinnast kõrgemale tõustes väheneb õhurõhumine, järelikult ka keemistemperatuur. Nii näiteks keeb Ecuadoris Quito linnas vesi 90^0 C juures, Mt. Blanc'i tipus 84^0 C juures jne.

Välisrõhu suurendamisel tõuseb keemistemperatuur. Selle täpseks uurimiseks tarvitatakse n.n. Papin'i katelt (106. joon.), mis on tugevate seintega kinnine katel, varustatud termomeetri ja manomeetriga.

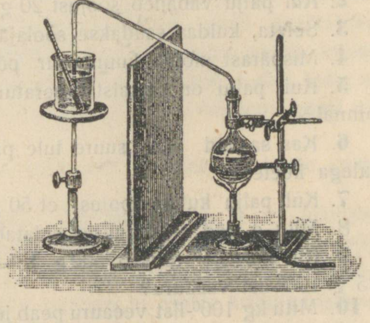
Täpsed mõõtmised annavad järgmise keemistemperatuuri (t^0 C) olenevuse rõhumisest $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$:

p	t	p	t	p	t	p	t
1	99	6	158	11	183	16	200
2	119	7	164	12	186	17	203
3	132	8	169	13	190	18	206
4	142	9	174	14	194	19	209
5	151	10	179	15	197	20	211

1. Joonesta graafik, mis näitab vee keemistemperatuuri muutumist rõhumise suurenedes.

2. Seleta, kuidas töötab Papin'i katla kaitseventiil. Oletame, et ventiili kangil punktis A rippuv koormis kaalub 1 kg ja kaitseventiili läbilõige on 0,2 cm^2. Mitme-atmosfäärilise rõhumise juures hakkab ventiil auru välja laskma?

113. Vee keemissoojuse määramine. S o o j u s e h u l k a, mis läheb vaja, et 1 g antud ainet k e e m i s t e m p e r a t u u r i j u u r e s v e d e l a s t o l e k u s t m u u u t a a u r u k s, n i m e t. s e l l e a i n e **keemissoojuseks**. Et keemisel kulunud soojus võrdub täpselt selle soojuse-hulgaga, mis veeldumisel vabaneb, siis mõõdetakse esimest viimase abil.



107. joon. Vee keemissoojuse määramine.

Juhime keedupudelis keeva vee auru kõvera toru kaudu kalorimeetrisse (107. joon.). Olgu kalorimeetris katse alul 400 g vett 16^0 temperatuuriga. Tükk aega auru kalorimeetrisse lastes tõuseb vee temperatuur; olgu see $56{,}5^0$ ja kalorimeetris oleva vee kaal 428 g. Saadud andmeist arvutame vee keemissoojuse.

Kalorimeetrisse tuli 428 g — 400 g, s. o. 28 g vett juurde, millest järeldame, et veeldus 28 g 100^0-list vee-auru. Seejuures pidi vabanema 28 x kalorit soojust, kui tähistada x-ga vee keemissoojust 100° juures. Veeldunud aur jahtus (100—56,5)° võrra ja andis ära (100—56,5) 28 kalorit soojust. Vesi kalorimeetris soojenes (56,5—16)° võrra ja sai sellega juurde 400 · (56,5—16) kalorit soojust. Et vesi kalorimeetris soojenes ainult auru veeldumisel vabanenud soojuse ja veeldumisest tekkinud vee jahtumise arvel, siis saame x-i leidmiseks võrrandi

$$28\,x + (100-56{,}5)\,28 = 400\,(56{,}5-16),$$

millest $x = 535$ kalorit.

Täpsete mõõtmiste järgi on vee keemissoojus **540** kalorit grammi kohta normaalrõhumise puhul.

Keemistemperatuurid ja -soojused.

Aine	Keemistemperatuur	Keemissoojus	Aine	Keemistemperatuur	Keemissoojus
Bensiin .	90—110	92,9	Petrooleum	150—300	—
Eeter . .	35	85	Piiritus .	78	216
Elavhõbe.	357	69	Tärpentin	159	74
Hapnik .	—183	51	Vesi . . .	100	540
Lämmastik	—194	48	Vesinik .	—252,5	114

1. Mis vahe on keemise ja auramise vahel?

2. Kui palju vabaneb soojust 20 g vee-auru veeldumisel keemistemperatuuris?

3. Seleta, kuidas saadakse soolajärvedes soola aurutamise teel.

4. Mispärast mõjub kuum aur põletavamalt kui vesi samas temperatuuris?

5. Kui palju on keemistemperatuur S. Munamäe otsas madalam kui merepinnal?

6. Kas saavad hästi suure tule pääl munad rutemini keenuks, kui väikese tulega keetes?

7. Kui palju kulub soojust, et 50 g —10°-list jääd auruks muuta 100° juures?

8. Mitu g jääd —12° juures sulatab ära 20 g 100°-list veeauru?

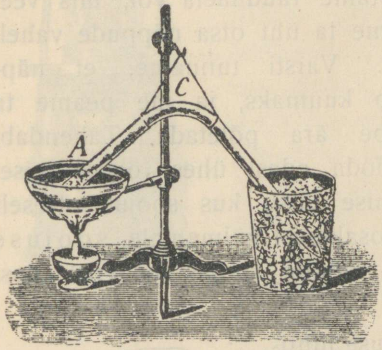
9. Kui kõrgele tõuseb 500 g 15°-lise vee temperatuur, kui temas veeldub 25 g 100°-list veeauru?

10. Mitu kg 100°-list veeauru peab juhtima 5 kg —10°-lise jää ja 3 kg +15°-lise vee segusse, et segu lõpptemperatuur oleks +90° C?

114. Gaaside veeldumine ja kriitiline temperatuur. Küllastumatu auru kohta on maksvad Boyle-Mariotte'i ja Gay-Lussac'i seadused, kuid küllastunud auru kohta mitte. Nii näiteks suurendades küllastunud auru rõhumist ei vähene auru ruumala vastavalt Boyle-Mariotte'i seadusele, vaid osa auru veeldub; samas mõttes mõjub ka temperatuuri langemine. Ruumala suurenedes ehk temperatuuri tõustes aga kaob küllastunud olek ja me saame küllastumatu auru, mis allub Boyle-Mariotte'i ja Gay-Lussac'i seadustele.

Küllastumatut auru võime kergesti rõhumise suurendamise (ruumala vähendamise) ehk temperatuuri langemise abil küllastuseni viia ja siit edasi samade võtete abil veeldumiseni. Et gaasid ja küllastumatu aur alluvad samadele korrapärasustele, siis näib olevat loomulik, et gaasegi on võimalik veeldada, tarvitades selleks suurt rõhumist ja madalat temperatuuri. Tõepoolest läkski Faraday'l (1791—1867) korda sel teel veeldada peaaegu kõiki temale tuntud gaase (pääle hapniku, vesiniku, soo- ja süsihapu gaasi). Faraday korraldas oma gaaside veeldamise katsed järgmiselt.

Tugevate seintega kinnise klaastoru (108. joon.) ühte otsa (A) on pandud ainet (näiteks kloorhüdraat), millest kuumutamisel tekib uuritav gaas (kloor). Toru teine ots asetatakse jahutavasse segusse. Toru kuumutamisel tekib gaas, rõhumine järjest suureneb ja suure rõhumise all ning madalas temperatuuris olev gaas veeldub toru teises otsas.



108. joon. Gaaside veeldumine.

Tarvitades parajat rõhumist ja temperatuuri läks dr. Andrews'il korda veeldada ka süsihaput gaasi. Seejuures pani ta tähele, et niikaua kui süsihapu gaasi temperatuur oli alla 30,9⁰ C, oli võimalik veeldada süsihaput gaasi, suurendades vajalisel määral rõhumist; tõusis aga temperatuur üle 30,9⁰, siis ei olnud see enam võimalik mistahes suure rõhumise puhul. Temperatuur 30,9⁰ nimet. seepärast süsihapu gaasi **kriitiliseks temperatuuriks**. Allpool kriitilist temperatuuri on süsihapu gaasil küllastumatu auruga ühine omadus — veelduda rõhumise suurendamise abil, kuna ülalpool kriitilist temperatuuri **ainult rõhumisest** ei jätku süsihapu gaasi veeldamiseks.

Samas mõttes tarvitatakse kriitilise temperatuuri mõistet ka teiste gaaside kohta.

Igal gaasil on oma kriitiline temperatuur. Nii näiteks on eetri kriitiliseks temperatuuriks 194⁰ C, veel 370⁰ C, hapnikul —130⁰ C, lämmastikul —167⁰ C jne. Siit näeme, et n. n. permanentsed gaasid (hapnik, lämmastik jne.) erinevad n. n. aurudest (eeter, vesi jne.) ainult selle poolest, et nende kriitiline temperatuur on väga madal võrreldes meie hariliku temperatuuriga. Seepärast pole meil ka võimalik n. n. permanentseid gaase ainult rõhumisega veeldada. Kokkuvõttes võime aine olekud järjestada järgmiselt:

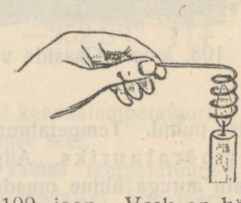
kõva | vedel | aur | gaas

sulamis-temper. — keemis-temper. — kriitiline temper.

Soojuse levimine.

115. Soojuse juhtivus. Võtame raudnaela või, mis veel parem, tükikese vasktraati ja hoiame ta üht otsa näppude vahel, teist otsa aga soojendame tulel. Varsti tunneme, et näppude vahel olev traadi ots muutub kuumaks, ja me peame ta lahti laskma, kui ei taha näppe ära põletada. Tähendab, soojus läheb naela või traati mööda edasi ühest otsast teise. Nimetame niisugust soojuse levimise viisi, kus soojus otseselt edasi andub keha soojemast aine-osakesest külmemale, *soojuse juhtivuseks* ja keha, mida mööda soojus sedaviisi edasi läheb, *soojuse juhiks*.

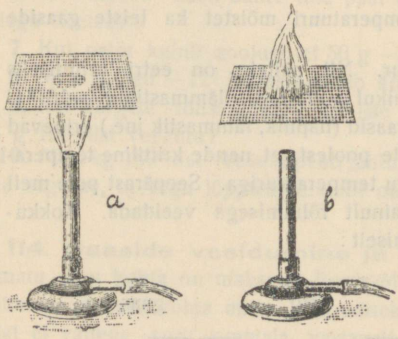
Katsed näitavad, et kehad soojuse juhtivuse suhtes üksteisest suurel määral erinevad. Üldiselt on kõige paremad soojuse juhid kõvad kehad (iseäranis metallid), vedelikud on halvemad ja gaasid kõige halvemad soojuse juhid. Teeme soojuse juhtivuse kohta veel mõne katse.



109. joon. Vask on hää soojuse juht.

Puu on halb soojuse juht; seda teab igaüks tuletiku tarvitamisest. Kuidas?

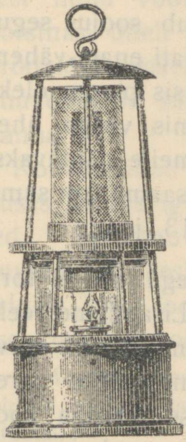
Väga hää soojuse juht on vask. Rõngasse käändud vasktraati küünla leegil hoides (109. joon.), kustub küünal. Põhjuseks on asjaolu, et soojus leegist vasktraati mööda laiali kandub ja jahutab põleva gaasi niivõrd ära, et leek kustub. Sellel vase omadusel põhjeneb vaskvõrgu tarvitamine, et gaasi leeki hoida ühel pool võrku



110. j. Leek püsib ühel pool vaskvõrku.

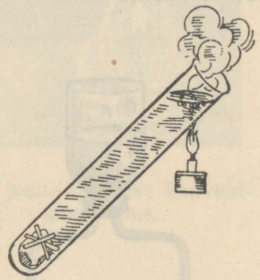
(110 joon.); esimesel juhul (a) on gaas süüdatud altpoolt teisel juhul (b) ülaltpoolt võrku.

Vaskvõrgu suur juhtivus leiab kasutamist ka D a v y' k a i t s e l a m b i ehitamisel (111. joon.). Lambi leek on ümbritsetud tiheda vaskvõrguga. Kui kaevanduses on kogunenud plahvatavat gaasi, siis tekivad väikesed kahjuta plahvatused võrgu sees ja annavad märku hädaohtlikust seisukorrast.



111. joon.
Davy' kaitselamp.

Vesi on halb soojuse juht; seda näitab lihtne katse: täidame katseklaasi veega ja soojendame teda lahtisest otsast (112. joon.). Sedaviisi võime lahtises otsas vee koguni keema ajada, kuna teine ots jääb täitsa jahedaks ja teda võib vabalt käes hoida.



112. joon. Vesi on halb soojuse juht.

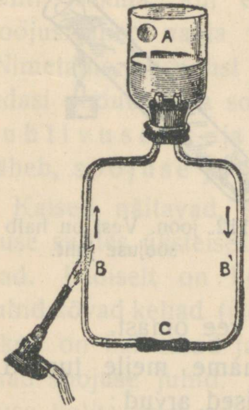
Täpsed mõõtmised näitavad, et vee soojusejuhtivus on umbes 1200 korda väiksem hõbeda juhtivusest ja gaaside juhtivus keskmiselt umbes 25 korda väiksem vee omast.

Võttes hõbeda soojusejuhtivuse 100-ks, saame meile tuntud kehade võrdleva juhtivuse mõõtmiseks järgmised arvud:

Hõbe	100	Raud	12	Männipuu risti	0,0088
Vask	94	Tina (sea-)	8,3	Saepuru	0,015
Kuld	74	Elavhõbe	2	Vilt	0,0087
Alumiinium	50	Jää	0,21	Puuvill	0,093
Valgevask	27	Klaas	0,046	Vesi	0,136
Inglistina	15	Männipuu pikuti	0,03	Õhk	0,005

1. Kuidas võiksime endile kujutella soojuse levimist juhtivuse teel molekulaarhüpoteesi põhjal?
2. Mispärast karusnahk, villane riie, suled, õled jne. kaitsevad hästi külma eest?
3. Mispärast lähevad raudahjud ruttu kuumaks, aga ka jahtuvad ruttu?
4. Mis kasu on talve-aknaist?
5. Missugune soojuse juht on Maa koor?
6. Tuha all ei kustu söed mitte nii pea. Mis võime sellest järeldada?
7. Märg käsi või keel külmub silmapilk külma raua külge, mitte aga puu külge. Mispärast?

116. Soojuse konvektsioon. Katseklaasis vett alt soojendades näeme, et vesi hakkab ka päält kohe soojaks minema, sest soojenedes veeosad paisuvad, nende tihedus väheneb ja nad tõusevad üles. Ülestõusnud veeosade asemele langevad ülalt alla jahedad suurema tihedusega veeosad. Nii kandub soojus segunedes laiali ja kõigil veeosadel katseklaasis on alati enam-vähem ühtlane temperatuur. Et vee liikumist katseklaasis parem oleks tähele panna, lisame vette peenikest puupuru, mis veega ühes hakkab liikuma ja sellega vee liikumise teeb meile nähtavaks. Veel selgema pildi vee liikumisest soojendamisel saame, kui sama katset teeme sellekohase anumaga, nagu näha 113. joon.



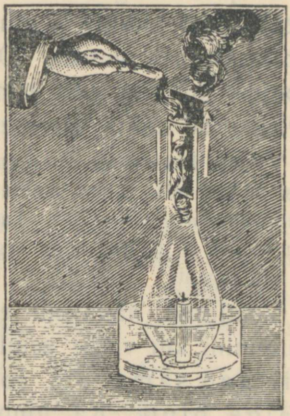
113. joon. Soojuse konvektsioon vees.

Anum A on täidetud veega nii, et toru BCB′ otsad oleksid kaetud. Lisandame veele anumas A veidi tinti või mõnd teist värvainet, et vedeliku liikumine oleks paremini näha. Toru B väikese leegiga soojendades saame vee liikumise noole suunas. Mispärast?

Niisugust soojuse levimise viisi, kus soojus aine osakestega ühest kohast teise kantakse, nimet. soojuse e d a s i k a n d u m i s e k s ehk k o n v e k t s i o o n i k s. Mõistagi, et konvektsioon on võimalik kehades, mille osad üksteise suhtes annavad kergesti liikuda, s. o. vedelais ja gaasilistes kehades, kuid mitte kõvades.

Näiteks soojuse konvektsiooni kohta õhus on meil soojuse laialdumine köetud ahjust, kus soe õhk ahju juures üles tõuseb, lae alt mööda tuba laiali valgub, seinte ääres jahtudes pikkamisi alla langeb ja alt ahju juurde tagasi liigub. Samuti kui uks või aken, mis külma ruumi lahutab soojemast, paokile teha, võime põlevat küünalt ülal ja all ukse või akna ääres hoides näha, et soe õhk voolab ülalt jahedamasse ja külm õhk alt soojemasse ruumi.

Konvektsiooni õhus näitab meile selgesti ka järgmine katse (114. joon). Madala anuma põhjal seisev küünal põleb lambiklaasi sees. Kui anuma põhja valada veidi vett, kustub küünal peagi, sest vesi takistab värske õhu juurdevoolu. Nüüd jagame lambiklaasi ülemise osa papitükiga pooleks. Küünalt uuesti süüdates ei kustu ta enam mitte, sest nüüd voolab värske õhk kui korstnast ühelt poolt sisse ja põlemisproduktid teiselt poolt välja. Seda õhuvoolu on suitsu abil kerge tähele panna.



114. joon. Soojuse konvektsioon õhus.

Konvektsioon mängib suurt osa looduses kui ka igapäevases elus. Tuuled, merehoovused, ventilatsioon, kuuma vee keskküte, mille põhimõte selgub 113. joon. kujutatud katsest, jne. on kõik konvektsiooninähtused.

1. Mispärast saepuruga täidetud vaheseinad juhivad soojust halvemini kui ainult õhuga täidetult?

2. Mispärast kaetakse jääkeldris jää suvel õlgede või saepuruga?

3. Tuulise ilmaga on külm iseäranis lõikav. Mispärast?

4. Kuidas on jää abil jahutamisel kasulikum toimetada: kas panna jahutatav keha jää alla või jää pääle?

117. Kiirgamine. Küdeva lahtise ahjusuu juures seistes tunneme, et ahjus hõõguvaist sütest meile alatasa voolab soojust. Hõõguvate süte soojus ei levi sel juhul konvektsiooni kaudu, sest õhu vool on suunatud toast ahju. Ka juhtivuse abil ei saa me nähtust seletada, sest konvektsioonivool ahju suunas hävitab täiesti juhtivuse abil õhus levinud soojuse mõju. Sellest järeldame, et pääle juhtivuse ja konvektsiooni peab olema veel mõni viis soojuse energia levimiseks. Juhtivuse ja konvektsiooni puhul levib soojus aineliste vahendite kaudu; Päikese ja Maa vahel ilmaruumis puuduvad niisugused ainelised vahendid, kuid siiski tungib soojuse-energia vabalt läbi ilmaruumi Päikeselt Maani. Nimetame soojuse levimist sel teel, nagu see toimub küdevast ahjust, Päikesest jne., k i i r g a m i s e k s. Mitte ainult helenduvad kehad, nagu Päike, hõõguvad söed, põlev lamp jne., ei kiirga soojust, vaid ka tumedad kehad, nagu ahi, triikraud, teemasin jne. Üldse iga keha saadab endast soojusekiiri välja, s. o. kiirgab.

Soojuse kiirguse hulk, mis keha välja saadab, oleneb pääle keha temperatuuri ja aine veel suurel määral kiirgava keha pinna ehitusest ja värvusest. On arusaadav, et kare pind kiirgab rohkem soojust kui sile, sest esimesel juhul on kiirgamispindala suurem. Olenevuse kohta värvusest teeme järgmise katse.

Võtame kaks täitsa ühesugust plekkanumat ($\sim 1/2\ l$). Ühe pinna katame väljast nõega, teise pinna jätame puhtaks (valge plekk). Valame mõlemasse ühepalju kuuma vett ($\sim 70^0$). Laseme veel jahtuda mõlemas anumas samasuguseis tingimusis ja jälgime kogu aeg vee temperatuuri, tehes mõõtmisi näiteks iga 2 min tagant.

Vaatlused näitavad, et nõestatud seintega anumas jahtub vesi kiiremini kui valge seintega anumas. Tähendab, must pind kiirgab sama aja jooksul soojust rohkem välja kui valge pind. Ka ümberpöördud juhul, soojuse kiirguse neelamisel on musta pinna neelamisvõime tunduvalt suurem valge pinna neelamisvõimest.

Kui päikesevarjutamisel valgus ära kaob, siis ühes sellega lõpeb ka soojuse kiirgamine. Sellest järeldame, et soojuse kiirgamise levimise kiirus võrdub valguse omaga, s. o. $300000 \frac{km}{sek}$.

Lihtsad tähelepanekud (missugused?) näitavad, et soojuse kiirgamine toimub sirgjooneliselt.

Ka võib kiirgav soojus keskkonnast läbi minna, ilma et ta seda keskkonda soojendaks. Näiteks Päikese kiired võivad õhust läbi tungida, ilma et õhk läheks seejuures tunduvalt soojemaks. On ju õhk ülemistes kihtides ka kõige palavamal suvepäeval väga külm.

1. Mispärast kantakse lõunamaal valgeid riideid?

2. Kevadisel päikesepaistel sulab lumi kõige esiti kohast, kus on pääle langenud puru. Mispärast?

3. Prof. Piccard kasutas stratosfääri uurimisel 1931. a. õhupalligondlit (õhukindlalt suletav alumiiniumist kuul), mille üks pool oli värvitud mustaks, kuna teine pool oli poleeritud pinnaga. Selline konstruktsioon võimaldas reguleerida gondli sisemuse temperatuuri. Kuidas?

Soojuse-energia ja töö

118. Päikesekonstant. Kõige tähtsamaks Maa soojuse ja üldse kogu energia allikaks on **Päike.** Suure kuuma kerana (raadius 109 Maa raadiust ja temperatuur $\sim 6000^0$ C) saadab Päike kiirgamise teel vahet pidamata määratu hulga energiat ilmaruumi laiali; Maa pääle langeb ainult väike osa $(\sim \frac{1}{2 \cdot 10^9})$ sellest energiast. Ka ei jää kõik Maa pääle langenud Päikese energia siin püsima, vaid suurem osa peegeldub (pilved, veepind jne.) ning kiirgab Maapinnalt ilmaruumi laiali.

Kogu meie ja looduse elu on tingitud Päikeselt saadud energiast, Päikese kiired on Maa pääl esinevate liikumiste algpõhjuseks. Päikese kiirte soojus tõstab merest vee õhku ja kannab ta tuulte abil mööda maad laiali, niisutades põlde, tekitades allikaid, jõgesid, koski ning jugasid jne. Taime- ja loomakasv on võimalik ainult Päikese elustavate kiirte mõjul, ka maapõuest väljakaevatavad põletusained, nagu kivisüsi, põlevkivi jne., on endiste aegade energia pärand.

Päikeselt saadava energia hulga üle võime otsustada n. n. p ä i k e s e- ehk s o l a a r k o n s t a n d i abil. Päikesekonstandiks nimet. soojuse hulka, mis langeks Maa pinnal Päikese kiirtele risti vastu asetatud 1 cm^2-lisele pinnale 1 minuti jooksul, oletades, et õhkkond läbiminevaist Päikese kiirtest midagi ära ei neela. Sellekohased täpsed mõõtmised näitavad, et päikesekonstandi suurus on $\sim$ **2** gramm-kalorit (õigemini 1,93). Et meil võimalik ei ole õhkkonna neelavat mõju kõrvaldada, siis jõuab paremal juhul (Päike on seniidis ja õhk selge ning tolmuvaba) ainult 0,8 sellest soojusest merepinnani, kuna 0,2 jääb õhku. Mida madalamal on Päike, seda pikem on ta kiirte tee õhkkonnas ja seda vähem soojuse-energiat saab Maa pind.

119. Põletusained ja nende kütteväärtused. Põletusained, nagu puu, kivisüsi, turvas, petrooleum, valgustusgaas jne., sisaldavad endis suurel hulgal energiat, mis põlemisel moondub pääasjalikult soojuse-energiaks.

Nii näiteks tekib 1 kg puusöe ärapõlemisel, s. o. süsiniku ja hapniku ühinemisel süsihapuks gaasiks (CO_2), ~ 8 000 kilokalorit soojust. Veel rohkem soojust tekib vesiniku ühinemisel hapnikuga ehk veeks põlemisel, kus tekib iga kg vesiniku ärapõlemisel ~ 34 000 kilokalorit soojust. Kütteainete põlemisel tekkinud soojust võime lugeda igapäevases elus pääle Päikese kõige tähtsamaks soojuse allikaks. Ka meie kehas tekib soojus toiduainete pikaldase põlemise, s. o. õhu hapnikuga ühinemise tagajärjel.

Põletusainete hindamisel tuleb silmas pidada nende **kütteväärtusi**, s. o. soojuse hulka, mis tekib 1 kg selle aine täielisel ärapõlemisel. Toome järgnevas tabelis tähtsamate põletusainete kütteväärtused kg-kaloreis.

Bensiin, petrooleum	10 000
Kivisüsi	7 000—8 000
Piiritus	6 360
Puu, õhukuiv, (20—25% niiskust)	~3 000
Puusüsi põlemisel CO_2-ks	8 100
„ „ CO-ks	2 430
Põlevkivi (15% niiskust)	3 350
Turvas (25% niiskust)	3 280
Valgustusgaas	10 000
Vesinik veeks põlemisel	34 000

1. Ahjutäis kasepuid kaalub 35 kg. Kui palju soojust tekib selle puude hulga täielisel ärapõlemisel? Kui palju sellest soojusehulgast kulub puudes oleva vee (25%) auruks muutmiseks?

2. Oletame, et eelmises ülesandes õhu puuduliku juurdevoolu tõttu 10 kg ei põlenud mitte täiesti ära, vaid muutus süsihapendiks (CO). Mitu % läks selle läbi terve ahjutäie kütteväärtusest kaduma?

3. Jõõpre rabas on ~ 116 miljonit tonni põletusturvast. Mitme kuupmeetri kasepuude väärtusele see vastab, kui selle turba kütteväärtuseks arvata 3400 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ ja üks kuupmeeter kasepuid kaalub 580 kg?

120. Töö moondumine soojuseks. Mehaanilist tööd võime kergesti moondada soojuseks. Selleks on meil igapäevasest elust küllalt näiteid. Hõõrume peopesi kiiresti teineteise vastu, siis tunneme, et nad lähevad soojaks, sest hõõrumise ületamiseks kulutatud töö moondub soojuseks. Kahe kuiva puutüki teineteise vastu hõõrumisel võime saada tuld. Sel teel saadi tuld vanasti ja veel koguni hilise ajani metsrahvaste juures. 115. joon. kujutab sellekohast puuri, mis eskimod tarvitasid tule saamiseks. Alasi läheb tagumisel kuumaks, väikesed kosmilised kehakesed, sattudes Maa õhkkonda, lähevad vastu õhku hõõrudes kuumaks; hakkavad helenduma ja põlevad sagedasti hoopis ära; jalgratta kummisid õhuga täites läheb pump kuumaks, traadi painutamisel painutamiskoht jne. Neist näiteist selgub, et mehaaniline töö muutub kergesti soojuseks.

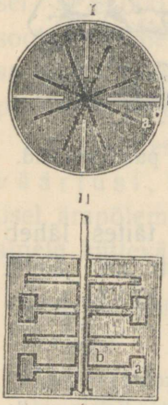
115. joon. Eskimod puurivad tuld.

1. Too veel näiteid mehaanilise töö soojuseks moondumise kohta!
2. Meie esivanemad tarvitasid tule saamiseks n.n. tulerauda. Seleta selle tarvitamine!
3. Seleta lähemalt 115. joon. kujutatud eskimote tulesaamise viisi!

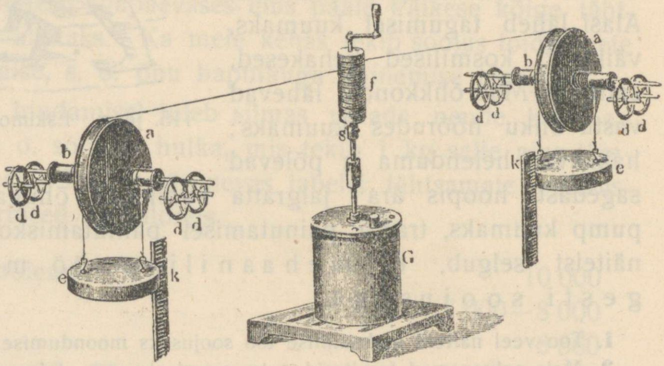
121. Soojuse mehaaniline ekvivalent. Me nägime, et mehaaniline töö võib moonduda soojuseks. Täpsema sideme kulutatud töö hulga ja sellest tekkinud soojuse hulga vahel leidsid esimestena sakslane Robert Mayer (1814—1878) ja inglane James Prescot Joule (1818—1889). Suure hulga täpsete katsete tulemusena võib öelda, et töö moondumisel soojuseks on alati **427 kgm** ühevääriline ehk ekvivalentne **1 kilokaloriga**, seepärast nimet. 427 kgm soojuse (1 kilokalori) mehaaniliseks ekvivalendiks.

Tutvume lühidalt ühe meetodiga, mille abil Joule määras soojuse mehaanilise ekvivalendi.

Anumas G (117. joon.) pöörleb labidatega keha, mis kujutatud läbilõikeks 116. joonisel. Keha pöörlemapanemiseks tarvitatakse võlliga f niidi abil ühendatud koormisi e. Raskuse mõjul alla langedes teevad koormised e tööd, mis kulub anumas G oleva vee takistuse ületamiseks labidate pöörlemisel. Kulutatud töö moondub soojuseks ja vee temperatuur tõuseb. Ära mõõtes koormiste langemisel tehtud töö suuruse (kuidas?) ja anumas G kui kalorimeetris juurdetulnud soojuse hulga (kuidas?) on võimalik arvutada soojuse mehaanilist ekvivalenti.



116. joon.



117. joon.

Joule'i viis soojuse meh. ekvivalendi määramisel.

Lihtsamal kujul võib toimetada soojuse mehaanilise ekvivalendi ligikaudset määramist järgmiselt. Pikas papptorus on teatud hulk tinahaavleid. Toru püsti hoides ja äkki ümber pöördes langevad haavlid teise otsa. Seejuures moondub langemisel kulunud raskustungi töö soojuseks ja haavlite temperatuur tõuseb. Sedaviisi haavleid mitu korda edasi-tagasi valades ja ära mõõtes toru pikkuse, haavlite massi ja alg- ning lõpptemperatuuri, võime saadud andmeist arvutada soojuse mehaanilise ekvivalendi. Kuidas?

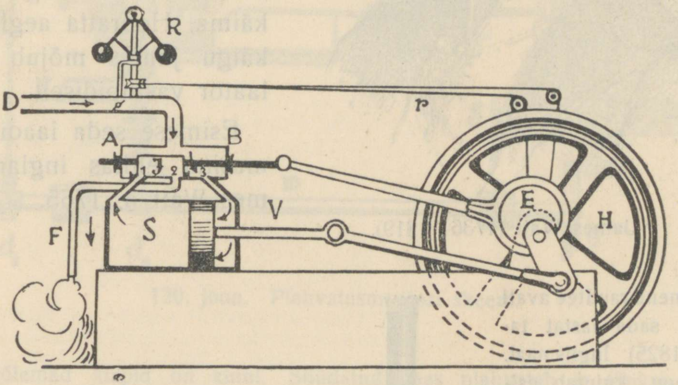
1. Väljenda soojuse mehaaniline ekvivalent ergides ja töö soojuse ekvivalent kalorites.

2. Kui suure igapäevase söekaevanduse-toodanguga (tonnides) on ühevääriline Narva kose energia (75 000 HP)?

3. Eesti Vabariigi aastast energiatarvitust hinnatakse umbes $50 \cdot 10^6$ kilovatttundi. Mitmeks aastaks jätkuks Jõõpre raba energia tagavaradest kogu Eesti energiatarvituse täitmiseks (v. § 119)? Kui palju suudaks Narva kosk täita meie üldisest energiatarvitusest?

122. Aurumasin. Soojuse-energia moondumine tööks toimub pääasjalikult aurumasina ja plahvatusmootori abil.

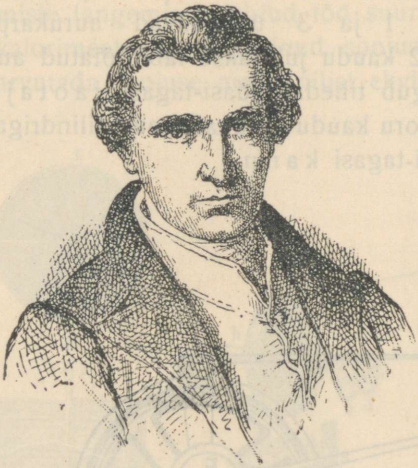
Aurumasina töötamine selgub skemaatilisest 118. joonisest. Toru D mööda juhitakse aur katlast aurukarpi AB, millest väljuvad kolm toru: torud 1 ja 3 ühendavad aurukarpi aurusilindriga S, toru 2 kaudu juhitakse läbitöötatud aur masinast välja. Aurukarbis liigub tihedalt edasi-tagasi jaotaja J, ühendades kord 1., kord 3. toru kaudu aurukarpi aurusilindriga. Silindris S liigub tihedalt edasi-tagasi kann.



118. joon. Aurumasina skeem.

Joonisel kujutatud asendis tuleb aur katlast, tungib paremale poole kannu taha ja rõhub teda pahemale poole. Silindris pahemal pool kannu olev aur läheb jaotaja alt toru 2 kaudu välja. On kann jõudnud silindri pahemasse otsa, nihkub jaotaja niivõrd paremale poole, et ta toru 3 kinni katab ja toru 1 kaudu aurukarpi silindriga ühendab. Nüüd tungib katlast tulev aur pahemale poole kannu taha ja rõhub kannu paremale poole silindri otsa, kuna kannu taga olev aur endist viisi toru 2 kaudu masinast välja juhitakse. Kannu edasi-tagasi-liikumised antakse väntade abil hoorattale edasi, teda pöörlema pannes. Hoorattal käib rihm, mis masinaid ümber veab.

Jaotaja edasi-tagasi-nihkumine toimub automaatselt hooratta võlli külge kinnitatud n.n. ekstsentriku E abil. Auru silindrisse pääsmist reguleerib toru D küljes olev tsentrifugaalregulaator R, mis rihmade r abil hooratta võlliga ühendatud.

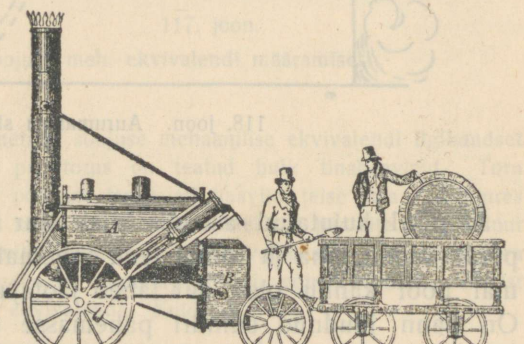


James Watt (1736—1819).

Hakkab hooratas kiiremini käima, tõusevad regulaatori R kerakesed kõrgemale, seega ühtlasi torus D olevat plaati rohkem risti asetades. Pääseb aga katlast vähem auru silindrisse, väheneb aururõhumine ja hooratas hakkab aeglasemalt käima. Hooratta aeglasema käigu juures mõjub regulaator vastupidiselt.

Esimese seda laadi aurumasina ehitas inglane James Watt a. 1765.

Esimene raudtee avati umbes sada aastat tagasi (1825) Inglismaal. 119. joon. kujutab esimeste vedurite ja raudteede ehitaja G. Stephensoni poolt a. 1829 ehitatud vedurit (Rocket), mis hulk aega püsis tarvitusel. Kirjelda seda vedurit ja võrdle teda praeguste raudteeveduritega. Kust tuleb sõna vagun?

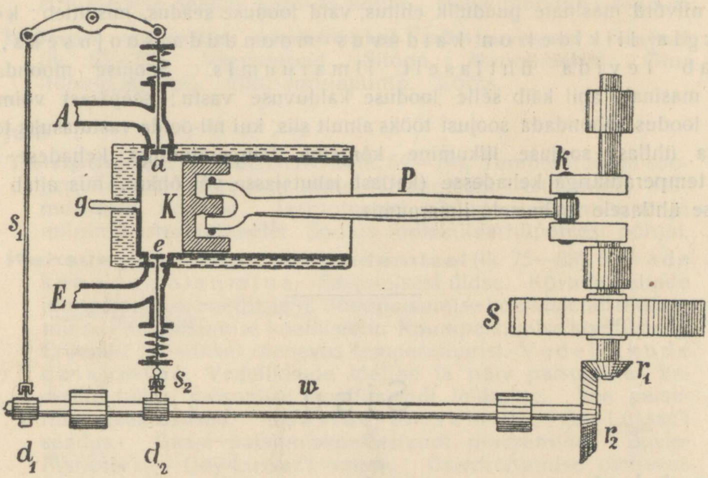


119. joon. Rocket.

123. Plahvatusmootori töötamine selgub 120. joon. kujutatud skeemist. Jahutajaga ümbritsetud silindris liigub edasi-tagasi umbne kann K, mille varb P paneb pöörlema hooratta S võlli. Toru E kaudu juhitakse plahvatusaine (õhu- ja petrooleumi-, bensiini- või piirituse-auru segu) silindrisse ja toru A kaudu äratarvitatud ained säält välja. Üks töötamisperiood koostub 4 osast ehk n. n. taktist.

1. Kann liigub silindri põhjast paremale poole, klapp e avaneb (klapp a on kinni) ja plahvatusaine tungib silindrisse.

2. Kann liigub tagasi äärmisse pahempoolsesse seisu ja surub kokku (tihendab) plahvatusaine-auru või gaasi. Mõlemad klapid (a je e) on kinni. Kokkusurumise mõjul soojenenud gaas süüdatakse (elektrisäde) selle takti lõpul süütetorus g.



120. joon. Plahvatusmootori skeem.

3. Mõlemad klapid on kinni. Süüdatud gaas plahvatab ja tõukab kannu suure hooga silindri põhjast välja paremale poole.

4. Klapp e on kinni, kuna klapp a avaneb. Kann liigub paremalt poolt pahemale ja tõukab plahvatusproduktid silindrist toru A kaudu välja.

Edaspidised kannu käigud korduvad endises järjekorras. Nagu näha, saab siin kann kahe edasi-tagasi-käigu jooksul plahvatavast gaasist ainult ühe töövõimsa tõuke. Selle töö arvel toimub ka kannu liikumine tööperioodi ülejäänud kolme takti jooksul. Mootori käimapanemiseks tuleb alguses hooratas sellekohase vända abil kiiresti pöörlema panna.

Klappide a ja e avanemine toimub automaatselt võlli w külge kinnitatud kühmude ehk näsade (d_1 ja d_2) abil, sest võll w teeb ühe täistiiru sama aja jooksul, kui hooratas teeb 2 täistiiru.

Nimeta plahvatusmootori hääd ja halvad küljed võrreldes aurumasinaga!

124. Soojuse tööks moondumise koeffitsient. Aurumasina ja plahvatusmootori abil moondame soojuse-energiat mehaaniliseks tööks. Seejuures saame iga 1 kilokalori arvel 427 kgm tööd. Kuid kahjuks ei võimalda aurumasin ega plahvatusmootor kuigi suurt osa masinas tekitatud soojusest tööks moondada. Paremad aurumasinad moondavad tööks praegusel ajal ainult

~ 17% kütteainest tekkinud soojusest, kuna kôige paremal (ideaalsel) juhul see protsent vôiks tôusta kuni 23-ni. Harilikud vedurid ja lokomotiivid ei moonda tööks rohkem kui ~ 8%. Plahvatusmootorite juures on soojuse tööks moondumise % suurem (~ 25%).

Vôrdlemisi väikese soojuse-energia tööks moondumise % pôhjuseks ei ole mitte niivôrd masinate puudulik ehitus, vaid looduse seadus, mis ütleb: kôigil energia liikidel on kalduvus moonduda soojuseks, mis püüab levida ühtlaselt ilmaruumis. Soojuse moondamine tööks masinate abil käib selle looduse kalduvuse vastu; seepärast vôimaldab meile loodus moondada soojust tööks ainult siis, kui nii-öelda vastutasuks toimub sellega ühtlasi soojuse liikumine kôrgema temperatuuriga kehadest madalama temperatuuriga kehadesse (katlast jahutajasse vôi ôhku), mis aitab kaasa soojuse ühtlasele levimisele ilmaruumis.

Sisu.

Hind 1,50 krooni.

Sama õpperaamatu teised köited:

II. **Hääl ja valgus**, 2. trükk, 1928 a. . . . . Hind 1,60 kr.
III. **Mehaanika**, 2. trükk, 1930 a. . . . . . . Hind 1,20 kr.
IV. **Magnetism ja elekter** 2. trükk, 1930 a. . Hind 1,65 kr.

Selle õpperaamatu kõik köited on Hariduse- ja Sotsiaalministeeriumi kooliraamatute komisjoni poolt keskkoolidele tarvitamiseks soovitatud.

Pääladu kirjastus „Noor-Eesti" juures Tartus, Rüütli tän. 4.