Parandusteg

LANG-ERLEMANN

FÜÜSIKA
KESKKOOLILE

I

Sissejuhatus, vedelikud, gaasid ja soojus

1. trükk

Tartu, 1925


EX LIBRIS
JUHAN LANG

Eessõna asemel.

Käesolev „Füüsika õpperaamat keskkoolile I jagu“ tahab olla õpperaamatuks keskkooli humanitaar- ja reaalharu II ja osalt ka III klassile. Ta kokkuseadmisel on võetud aluseks FÔK'i poolt välja töötatud „Keskkooli humanitaar- ja reaalharu füüsika õppeplaan ja õppekava ühes seletuskirjadega“, mis on saadetud Haridusministeeriumi poolt keskkoolidele juhtnööriks füüsika õpetamisel.

Jämedama kirjaga laotud küsimused kuuluvad õppekava kohustava miinimumi hulka, kuna peenema kirjaga on laotud mõned katsete ja riistade kirjeldused ning küsimused, mis on arvatud paremate õpilaste iseseisvaks huvi rahuldamiseks ja täiendamiseks kordamisel, samuti ka üldiseks käsitamiseks sääl, kus füüsika õpetamiseks on määratud 3 tundi nädalas.

Materjali hulga valikul on kõigiti püütud arvestada tegelikke töövõimalusi meie praeguses keskkoolis.

Iga osa lõppu on paigutatud rohkesti küsimusi ja ülesandeid, mis on hädatarvilikud füüsikalise mõtlemise kasvatamisel.

Oskussõnade suhtes on arvesse võetud vastavatest ülikooli õppejõududest ja FÔK'i Tartu liikmeist koosneva komisjoni otsused, nimelt: tarvitada tung (mitte jõud), kõva keha (mitte kindel k.), kõvastuma, veelduma, pendel, võnkuma jne.

Käesoleva I jao otsekoheseks jatkuks on II jagu (Hääl ja valgus — III kl. kursus), mis ilmub loodetavasti k. a. septembris. Ülejäänud osad ilmuvad edaspidi.

Kõigist raamatu puudusist palume austatud ametivendi lahkesti teatada (J. Lang, realgümnaasium, Tartu). Esimene trükk on tehtud väikearvuline, mis võimaldab kiiresti kõrvaldada kõiki tähelepandud puudusi järgmises trükis.

Teatud lühedus raamatu lõpul on tingitud soovist piirduda 8 trükipoognaga, et raamat suureks ja sellega ühtlasi kalliks ei läheks.

Tartus, 20 aug. 1925.

J. Lang ja V. Erlemann.

J. LANG JA V. ERLEMANN

FÜÜSIKA

ÕPPERAAMAT KESKKOOLILE

I

Sissejuhatus, vedelikud, gaasid ja soojus
humanitaar- ja reaalharu II kl. ulatuses

Autori kirjastus — Tartu, 1925

A.-S. „VARRAK'u“ trükk, Tartus 1925.

1 metafüüsiline mõiste GP
2 paratamata GP.

Sissejuhatus

Mõõtmised

1. Millega teeb füüsika tegemist. Igapäevasest elust teame, et vaba keha langeb maa poole, et soojuse mõjul tekkinud veeaur paneb liikuma raudtee veduri, et elektri voolu tarvitatakse valgustamiseks, telefoonimiseks ning 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 paratamatult ~~tihedalt~~ seotud nähtust karakteriseerivate suuruste mõõtmisega, sellepärast vaatame, kuidas mõõdetakse füüsikas sagedamini ettetulevaid suurusi.

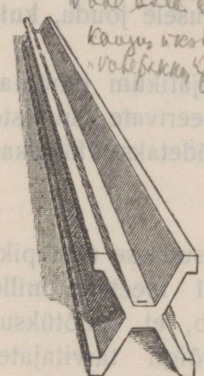
2. Mõõtmisest üldse. Mõõtmine on antud suuruse (toa pikkus) **võrdlemine** teise sama liiki suurusega (1 meeter), mille nimetame ü k s u s e k s. Otstarbekohasus nõuab, et mõõtühikud oleksid m u u t m a t u d (konstantsed), kõigil tarvitajatel s a m a d, omalt suuruselt m i t m e s u g u s e d, kuid üksteisega l i h t s a l t s e o t u d.

Põhjenda neid nõudeid lähemalt.

Meile tuntud mõõtüksuste süsteemidest rahuldab kõige suuremal määral ülaltoodud nõudeid XVIII aastasaja lõpul prantslaste loodud m e e t e r m õ õ d u s t i k.

3. Meetermõõdustiku tekkimine. XVIII aastasaja lôpul valitses Prantsusmaal (samuti ka mitmes teises riigis) tarvitusel olevate mõõtüksuste suhtes suur segadus; peaaegu igas riigi osas (departemangus) olid omad, teistest lahkuminevad môôdud, mis kaubanduslikku läbikäimist takistas; algüksusi, iseäranis pikkuse omi, muudeti sagedasti, suhted üksikute mõõtüksuste vahel olid keerulised jne. Raskustest välja pääsemiseks otsustas Rahvuskogu (9. mai, 1790) vanad môôdud hoopis kaotada ja tegi Teaduste Akadeemiale ülesandeks uue otstarbekohasema mõõtüksuste süsteemi väljatöötamise. Viimase poolt valitud komisjon, mille liikmeiks olid tolle aja kuulsamad prantsuse teadusemehed (Berthollet, Borda, Delambre, Lagrange, Laplace, Mechain, Prony), töötas välja uue môôtude süsteemi — meetermôôdustiku, mis seaduseandliku asutuse poolt (7. apr. 1795) hääks kiideti. Esialgu tarvitati uusi môôte vanadega kôrvuti. Alles 1. jaan. 1840 alates on Prantsusmaal sunduslikult ainult meetermõõdustik tarvitusel. Pääle Prantsusmaa on meetermôôdustik praegu tarvitusele vôetud umbes 50 riigis suuremal ehk vähemal môôdul.

4. Meeter. Meetermõõdustiku põhiüksuseks on pikkuseüksus **meeter.** Meeter defineeriti esialgu (1795) kui ü k s k ü m n e m i l j o n d i k ($^1/_{10^7}$) P a r i i s i s t l ä b i m i n e v a v e e r a n d m e r i d i a a n i p i k k u s e s t. Et aga pärastised täpsemad maa veerandmeridiaani pikkuse mõõtmised andsid teineteisest erinevad resultaadid (kõik mõõtmise resultaadid on ainult ligikaudsed!), siis loobuti pärastpoole sellest meetri esialgsest definitsioonist. N ü ü d n i m e t a t a k s e m e e t r i k s rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe paralleelse kriipsu kaugus üksteisest, mõõdetud jää sulamistemperatuuri juures. Rahvusvaheline algmeeter on valmistatud ~~j ä ä s u l a m i s t e m p e r a t u u r i j u u r e s m õ õ d e t u d k a h e p a r a l l e e l s e k r i i p s u v a h e, m i s o n t õ m m a t u d~~ 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 v a r v a l r a h v u s v a h e l i s e l a l g m e e t r i l,~~ ~~m i s~~ ning h o i t a k s e a l a l R a h v u s v a h e l i s e s M õ õ t u d e B ü r o o s S è v r e ' i s, P a r i i s i l ä h e d a l (joon. 1).


Joon. 1. Algmeeter.

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

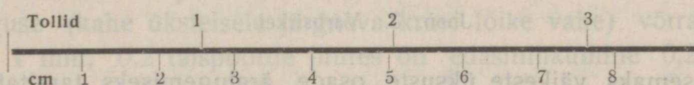
Esimene nn. algmeeter valmistati a. 1799 ja pandi hoiule Rahvuslikku Arhiivi. Rahvusvaheline Mõõtude Büroo valmistas sellest algmeetrist vôimalikult täpse koopia, mille Üldine Môôtude Konverents (Conférence générale des Poids et Mesures) a. 1889 rahvusvaheliseks algmeetriks tunnistas. Sellest valmistati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

5. Pikkuse üksused. 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**), detsimeeter 10 s e n t i m e e t r i k s (**cm**), sentimeeter

10 millimeetriks (mm); 0,001 mm = 1 mikron (μ); 0,001 mikroni = 1 millimikron ($\mu\mu$). Meetrist suuremad pikkuse üksused on: 1 dekameeter = 10 m; 1 hektomeeter = 100 m; 1 kilomeeter (**km**) = 1000 m. Nii siis:

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

Endistest vene pikkuse mõõtudest meetermõõdustikku üleminekuks



Joon. 2. Tolli ja cm vôrdlevad 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. Leia, missugune neist ligikaudseist mõõtüksuste vôrdlusist on kôige täpsem (määra vea suurus % %-des).

2. Kuidas muutub mõõtmise täpsus kultuuri üldise arenemisega?

3. Missugused meetermôôdustiku pikkuse üksused on tegelikus elus harilikult tarvitusel? Mispärast kôiki üksusi ei tarvitata?

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

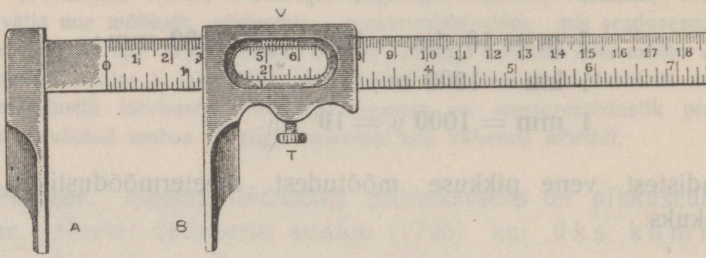
5. Määra ära ning pea meeles oma sammu keskmine pikkus meetrites.

6. Oleviste kiriku torni kôrgus on 65 sülda ja S.-Munamäe kõrgus 1065 jalga. Väljenda need kôrgused m-tes.

7. Eiffeli torni kõrgus Pariisis on 300 m. Väljenda see kõrgus süldades ja vôrdle Oleviste kiriku torni kôrgusega.

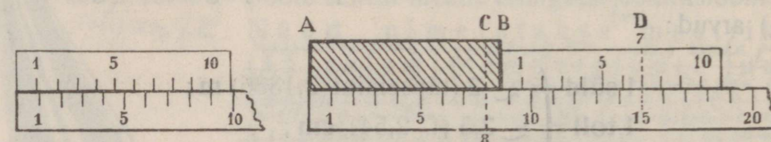
8. Emajôe pikkus Virtsjärvest Peipsini on 104 km. Mitu versta see on?

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



Joon. 3. Varbsirkel.

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



Joon. 4. Noonius ja selle tarvitamine.

Mõõdu 9 jaotust (kriipsuvahet) võrdub nooniuse 10 jaotusega, sellega on siis mõõdu iga jaotus 0,1 võrra pikem nooniuse vastavast jaotusest. Nagu joon. näha, on asja AB pikkus 8 mõõdu jaotust plus pikkus CB. Et 7-mes nooniuse kriips mõõdu kriipsuga ühte langeb, siis on pikkus CB = 7 mõõdu jaotust — 7 nooniuse jaotust, s. o. 0,7 mõõdu jaotust, ja terve asja pikkus 8,7 mõõdu jaotust.

Üldse on seda liiki nooniuse tarvitamisel a s j a p i k k u s t m õ õ t v a a r v u m u r r u l i n e o s a n i i m i t u k ü m n e n d i k k u, k u i m i t m e s n o o n i u s e k r i i p s m õ õ d u k r i i p s u g a k õ i g e r o h k e m ü h t e l a n g e b.

Tõendame sama omaduse üldisel kujul. Oletame, et n nooniuse jaotust võrduvad n — 1 mõõdu jaotusega, siis on iga nooniuse jaotus mõõdu jaotusest lühem $1 - \frac{n-1}{n}$, s. o. $\frac{1}{n}$ võrra. Kui nooniuse kriips k kõige rohkem ühte langeb mõõdu kriipsuga, siis on mõõtarvu murrulise osa suurus $\frac{k}{n}$.

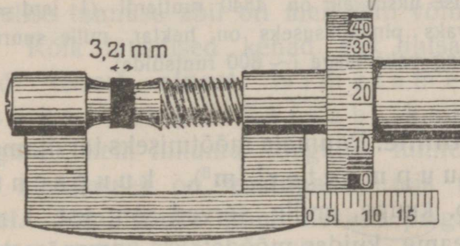
1. Tee noonius (papist, puust jne.), millega saab mõõta 1 mm-lise täpsusega. Harjuta selle riista tarvitamist ja kontrolli tulemusi samu pikkusi mõnel teisel viisil mõõtes.

2. Kuidas tuleb tarvitada nooniust, mille 10 jaotust võrduvad mõõdu 11 jaotusega?

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

4. Joon. 3. põhjal seleta varbsirkli ehitus ja tarvitamine.

b. Hästi väikeste pikkuste täpseks mõõtmiseks tarvitatakse **mikromeeterkruvi** ehk **mikromeetrit** (joon. 5), 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, näiteks 1 mm, 0,2 täispöörde juures on edasinihkumine 0,2 mm, 0,02 juures vastavalt 0,02 mm jne.



Joon. 5. Mikromeeter.

Mikromeeetri kruvi käigu kõrgused võivad mitmesugused olla, harilikult aga 1 ehk 0,5 mm. Sellepärast tuleb enne mikromeetri tarvitamist alati selgusele jõuda, kui palju nihkub kruvi edasi, teda ühe kruvi pää pääl märgitud jaotuse võrra pöörates.

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

7. Pindala mõõtmine. Pindala mõõtmisel võiksime valida üksuseks m i s t a h e s tuntud pindala, näiteks selle raamatu lehe oma. O t s t a r b e k o h a s e m on aga valida pindala mõõtmisel üksuseks niisuguse ruudu pindala, mille külje pikkus võrdub mõne tuntud pikkuse üksusega, näiteks r u u t m e e t e r (m^2), s. o. ruut, mille külje pikkus on 1 m, r u u t s e n t i m e e t e r (cm^2) jne.

ruudu pindala F.M.

Niisuguse ruudu pindala,

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

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2;$$

$$1 \text{ km}^2 = 10^6 \text{ m}^2;$$

$$1 \text{ ruuttoll} = \sim 6{,}5 \text{ cm}^2 \text{ jne.}$$

1. Tuleta meele kôik geomeetrias ôpitud kujude ja kehade pindala môôtmise viisid.

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

3. Inglise väljamôôtmise üksus akr on 4840 ruutjardi (1 jard = 3 jalga); meetermôôdustiku vastavaks pinnaüksuseks on hektar, mille suurus 10^4 m². Vôrdle akrit hektariga ning vakamaaga ($\sim$ 800 ruutsülda).

8. Ruumala mõõtmine. Ruumala mõõtmiseks tarvitame k u u p ü k s u s i, nagu k u u p m e e t e r (m³), k u u p s e n t i m e e t e r (cm³) jne., s. o. kuupe, mille servad on vst. 1 m, 1 cm, jne. Geomeetriast teame, kuidas mõõdetakse korrapäraste kehade (kuup, rööptahukas jne.) ruumala. Selleks on tarvis ära mõõta üksikud kehaga seotud karakteristlikud jooned (pikkus, laius, kõrgus). Nii näiteks võrdub kuubi ruumala vastavates üksustes serva pikkuse kuubiga, silindri ruumala aluspinna ja kõrguse korrutisega, kera ruumala $^4/_3\pi R^3$ jne. Selle põhjal on kerge leida suhted üksikute kuupüksuste vahel, kui neile vastavate joonüksuste suhted teada. Näiteks:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3 \text{ jne.}$$

K u u p d e t s i m e e t e r kannab nime **liiter** (l) ja teda tarvitatakse vedelikkude mõõtmiseks.

$$1 \text{ liiter} = \sim \tfrac{4}{5} \text{ toopi} = \sim 4 \text{ klaasi.}$$

Vähema vedeliku hulga ja väikeste mittekorrapäraste kehade ruumala mõõtmine on hõlbus **mõõtklaasi** ehk **mensuuri** abil.

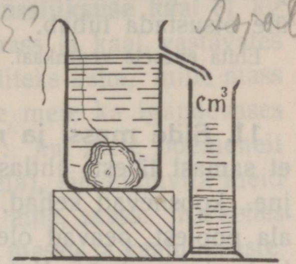
Samaks otstarbeks tarvitatakse ka **ülevooluanumat** (joon. 6.). — Seleta, kuidas tuleb mõlemat riista ruumala mõõtmisel tarvitada.

1. Tuleta meele kôik geomeetrias käsitatud kehade ruumala määramisviisid.

2. Kirjuta üles avaldus, mis môôdab 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 ôhku. Mitu m^3 ôhku hingad sina sisse 1 tunni (ööpäeva) jooksul?



Joon. 6. Mensuur ja ülevooluanum.

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 üht keha teisest eraldada. Kõik füüsilised kehad ehk lihtsalt kehad koosnevad ühest või teisest **ainest**. *Nimetame aine hulka, millest keha koos seisab, keha* **massiks.** Käega mitmesuguseid kehi liikuma tõugates tunneme, et keha massi oluliseks omaduseks on **vastupanu,** mis ta avaldab **liikuma panemisel.** Sama tõuke mõjul hakkab paigal seisvatest kehadest kõige kiiremini liikuma see, mille mass kõige vähem.

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

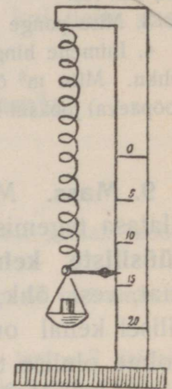
10. Raskus. Võtame kätte mõne keha, näiteks kivi. Kivi tungib maa poole ja rõhub kätt. Kui käsi alt ära võtta, langeb kivi maha. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste kehadega, nagu pliiats, kriit, raamat jne. *Nimetame keha tungi maa poole keha* **raskuseks.**

Kõige lihtsamad tähelepanekud igapäevasest elust näitavad, et keha ainehulga ehk massi suurenemisega suureneb ühtlasi ka tema raskus ja ümberpöördult.

Too näiteid selle kohta.

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

Ehita enesele vedrukaal.



Joon. 7. Vedrukaal.

11. Side massi ja raskuse vahel. On selge, et samast täiesti ühtlasest ainest, näit. vesi, tina jne., koosnevad kehad, kui nad on võrdsed ruumala poolest, peavad olema ka võrdsed oma massi ja kaalu poolest. Katse näitab seda tõepoolest. Võrdmassilisi kehi kaalu otsa riputades näeme, et massi suurenedes 2, 3... korda ka kaal vastavalt 2, 3... korda suureneb, s. o. **kehade kaal on võrdeline massiga**. Siit järgneb, et kaalu ~~poolest~~ võrdsed kehad on võrdmassilised. 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 mass on jääv, oleneb keha kaal kaugusest maapinnast ja väheneb kauguse suurenedes. Ka on pooluse lähedal maa pöörlemise (tsentripetaaltung) ja lapikuse (lähemal tsentrile) tõttu kehade kaal vähe suurem kui ekvaatori lähedal. Samuti teame, et näiteks vedrukaalu otsa riputatud asi kaalusid kiiresti üles tôstes rohkem ja alla lastes vähem paistab kaaluvat kui paigal seistes, kuna mass muutmatuks jääb. Sellepärast tuleks täpsemalt nimetada keha kaaluks rôhumise suurust liikumata alusele.

Vees kaalub keha vähem kui ôhus (Arhimedese seadus), kuu pinnal 6 korda vähem ja päikese pinnal 28 korda rohkem kui maapinnal. Kuidas on lugu sel juhusel massiga?

12. Massi ja kaalu üksused. Massi mõõtmise põhiüksuseks meetermõõdustikus on **kilogramm** ehk **kilo (kg)**, mis on plaatina ja iriidiumi sulatisest valmistatud keha (vihi) — rahvusvahelise algkilogrammi — mass. 1 dm^3 puhta vee mass 4^0 C juures võrdub ligikaudu (27 mg vähem) ühe kiloga.

Esimene algkilogramm valmistati a. 1799 ühes algmeetriga. Sellest algkilogrammist valmistati rahvusvahelise komisjoni järelvalvel vôimalikult täpne koopia, mille a. 1889 Pariisis ära peetud Üldine Môôtude Konverents rahvusvaheliseks algkilogrammiks tunnistas ja Breteuil paviljoni Sèvre'is hoiule pani.

Et meetermõõdustikus, samuti ka teistes mõõtude süsteemides, **kaaluüksuseks on võetud ühe massiüksuse kaal** (1 kg massi kaalub 1 kg), siis väljendub keha mass ja kaal, vastavates üksustes mõõdetud, alati sama arvuga; näiteks keha, mille mass 5 kg, kaalub 5 kg jne. Sellepärast ei tee meie ka igapäevases elus sõnades vahet massi ja raskuse vahel: kui meie poemehelt küsime „palju leib kaalub" (näiteks, 3 naela), siis ei huvita meid põrmugi leiva tung maa poole, vaid leiva aine, mass. Ka selles raamatus ei tee meie vahet samanimeliste massi- ja kaaluüksuste, näiteks kg, nael jne., tähistamisel. Lause mõttest selgub isegi, kas on antud juhusel tegemist keha massi või kaaluga.

Kilost suuremad ja vähemad massi- ning kaaluüksused on:

1 tonn (t) = 1000 kg;

1 gramm (g) = 0,001 kg;

1 milligramm (mg) = 0,001 g.

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

1 kg = ~ 2,5 (t. 2,44) **naela;**

1 t = ~ 61 puuda;

1 nael = ~ 400 (t. 409,5) **g;**

1 puud = ~ 16 kg.

Eesti Vabariigi 1925. a. korralised kulud on eelarve järele 6.086.913.400 marka. Mitu puuda kulda peaksime ära müüma selle summa saamiseks, kui 1 g kulda maksab 250 mk.?

{Eriö koha

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 tema **tiheduse.** Üldse nimetame keha tiheduseks selle keha ühe kuupsentimeetri massi grammides. Sellega siis oleks vee tihedus 1 $\frac{g}{cm^3}$ (loe: 1 gramm kuupsentimeetris), tinal 11,3 $\frac{g}{cm^3}$, raual 7,8 $\frac{g}{cm^3}$ jne. Tähistades keha massi

V kohta fK.

g-des **m**-ga (ladina keeles **m**assa—mass), ruumala cm^3-tes **v**-ga (l. k. **v**olumen—ruumala), saame tiheduse **d** (l. k. **d**ensitas—tihedus), kui ühe ruumüksuse massi, määramiseks valemi:

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

Massi ja kaalu üksuste valikust (kaalu üksuseks on võetud massi üksuse 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. **p**ondus—raskus, kaal) ruumala cm^3-tes **v**-ga, saame **e**rikaalu **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 ruumüksuse kaal) mitu korda on antud keha veest raskem.

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

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

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 „	Elavhõbe	13,6 „
Vask	8,9 „	Väävlihape	1,84 „
Raud	7,8 „	Glütseriin	1,26 „
Inglistina	7,3 „	Vesi (4° C)	1,00 „
Tsink	7,1 „	Petrooleum	0,8 „
Marmor	2,7 „	Piiritus	0,79 „
Alumiinium	2,7 „	Eeter	0,73 „
Klaas	2,5 „		
Jää	0,9 „		
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. Palju kaalub ruutmeeter ~~niisugustest~~ telliskividest tehtud seina, mille paksus 75 cm? (vaata 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 6371 km).

5. Mitu naela 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 tõendusi selleks). Leia enese ruumala liitrites.

7. Kas võib inimene oma kaalu ning erikaalu muuta?

8. Mitu kg kaaluks sinu marmorist kuju loomulikus suuruses?

9. Palju kaalub kuupmeeter vett, korki, pang elavhõbedat?

10. Leia 3 kg petrooleumi ruumala.

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

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

13. Ülesannete lahendamisel on sagedasti kasulik väljendada tihedust ja erikaalu mitte $\frac{g}{cm^3}$-tes, vaid $\frac{kg}{dm^3}$, $\frac{t}{m^3}$, $\frac{mg}{mm^3}$ jne. Kas jäävad tabelis antud arvud selle juures endisteks?

14. Aja mõõtmine. Aja mõõtmise üksuseks 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 seisukohast teise liikumiseks ühe sekundi ja nimet. sellepärast sekundpendliks.

15. Põhiüksused. Nagu nägime, on võimalik pind- ja ruumala üksusi tuletada pikkuse üksuste (cm^2, m^3 jne.), samuti tihedust massi ja ruumala üksuste (g, cm^3) abil jne. Üksused, mille abil kõik füüsikaliste suuruste mõõtüksused endid väljendada lasevad, nimet. põhiüksusteks. Niisugusteks põhiüksusteks füüsikas on võetud pikkuse üksus sentimeeter (C,) massi üksus gramm (G) ja aja üksus sekund (S). Nagu edaspidi näeme, lasevad peaaegu kõik teised füüsikalised üksused endid väljendada nende kolme põhiüksuse abil. Sellepärast nimet. neil kolmel põhiüksusel rajatud füüsikaliste mõõtüksuste süsteemi sentimeeter-grammsekund- (lühidalt CGS) ehk absoluutseks üksuste süsteemiks.

1. Nimeta meetermõõdustiku ja CGS üksuste süsteemi hääd küljed.

2. Näita, et CGS süsteemis resultaadi nimetuse saamiseks tuleb antud arvude nimetustega teha samad tehted kui arvude enestega.

1. ei saa, näiteks [carnot] = [erg/kraad]

Mehaanika põhimõisted

16. Liikumine ja paigalolek. Keha, mis oma seisukohta teise keha suhtes muudab, **liigub** selle teise keha suhtes. Keha, mis mõne teise keha suhtes oma seisukohta mitte ei muuda, **on** selle teise keha suhtes **paigal.** Sama keha võib ühe keha suhtes liikuda, teise keha suhtes paigal olla; nii näiteks reisija võib olla raudteevagunis paigal vaguni suhtes, kuid liikuda maa suhtes jne. Liikumisest ja paigalolekust rääkides peame alati küsima, missuguse keha suhtes antud liikumine või paigalolek sünnib, 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 võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed teeosad ära käib, nimet. **ühtlaseks** liikumiseks. Liikumist aga kus keha, mistahes võrdsetes ajavahemikkudes mittevõrdsed võrratud teeosad ära käib, nimet. **mitteühtlaseks** liikumiseks. Inimesel on võimatu sünnitada 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 mitteühtlase liikumise kohta.

18. Ühtlase liikumise kiirus. Kui jalamees ühtlaselt kõndides igas tunnis 5 km ära käib, siis ütleme, et jalamehe liikumise **kiiruse suurus on 5 km tunnis** (lühidalt kirjutatud: $5 \frac{km}{h}$); kui vesi jões igas sekundis 80 cm edasi voolab, siis on jõe voolu kiiruse suurus 80 cm sekundis (lühidalt: $80 \frac{cm}{sek}$) jne. Üldse võime öelda, et kiiruse suurus näitab tee pikkust, mis keha ühe ajaüksuse jooksul ära käib.

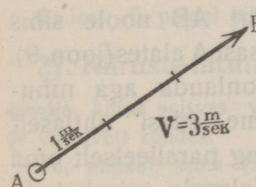
Sellest järgneb, et ühtlaselt liikuva keha

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

Tähistame üldises kujus vastavais üksustes 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. **t**empus — aeg), siis võime eelmise reegli lühidalt järgmiselt üles kirjutada:

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

Ainult kiiruse suuruse põhjal ei saa veel otsustada, kus kohal asub liikuv keha liikumise aja lõpul; selleks on tarvis veel teada missugust teed mööda keha liigub. keha liikumise ~~on tarvis teada **kiiruse sihti**.~~ siht loetakse ühtlasi ka kiiruse sihiks.



Joon. 8. Kiiruse graafiline kujutamine.

Kiiruse sihi ja suuruse näitlikult kujutamiseks tarvitatakse noolt (joon. 8), kus noole siht (AB) näitab kiiruse sihti 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 tema kiirus $\frac{km}{h}$, $\frac{m}{min}$ ja $\frac{cm}{sek}$-tes?

2. Taskukella minutinäitaja pikkus on 2 cm, sekundinäitaja pikkus 1,5 cm. Kui suur on näitajate otsade kiirus $\frac{mm}{sek}$-tes?

3. Valguse kiirus on 300.000 $\frac{km}{sek}$. Mitme minutiga jõuab valgus päikesest maakerani, kui päikese kaugus maakerast on 149.500.000 km? Vasta sama küsimus kuu kohta, kui kuu kaugus maakerast on 384.400 km.

4. Kuidas on võimalik jõe voolu kiirust mõõta?

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

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

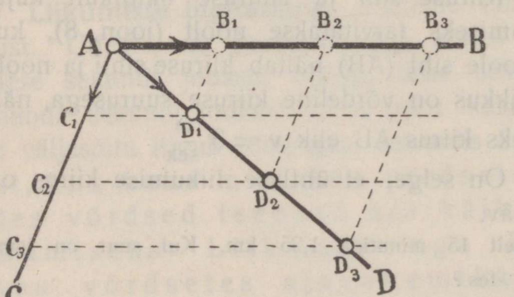
6. Kui suure kiirusega liigub maakera ümber päikese?

7. Kui suur on ekvaatoril asuvate asjade kiirus maakera pöörlemisel ümber telje? Ekvaatori raadiuse pikkus on 6378 km.

19. Mitteühtlane liikumine. Keskmine kiirus. Tallinnast Tartu on raudteed mööda 190 km. Selle tee ärasõitmiseks tarvitab kiirrong 5 tundi. Jagame tee pikkuse tema ärasõitmiseks tarvitatud ajaga, saame nn. **keskmise kiiruse,** mis karakteriseesib seda liikumist. Antud juhusel on kiirrongi keskmine kiirus $38\frac{km}{h}$. On selge, et mitteühtlase liikumise kiirus ei ole jääv, vaid muutub järjest. Liikumist, kus kiirus suureneb, nimet. **kiirenevaks**, liikumist, kus kiirus väheneb — **tasanevaks** liikumiseks.

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

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

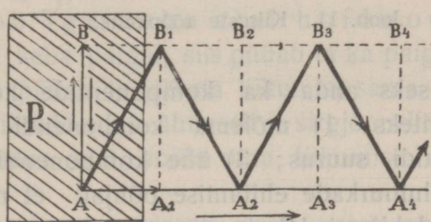


Joon. 9. Liikumise teede liitmine.

Samale tulemusele jõuame ka küsimust geomeetriliselt käsitades. Kui joonlaud paigal seisaks, siis oleks kriiditükk edasiliikudes 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 seisukohtade (D_1, D_2, D_3, jne. geom. kohaks on sirge AD. Tõenda seda kolmnurkade sarnasuse põhjal.

Liikumisteede liitmise näitena vaatame veel järgmise juhuse. Parv P (joon. 10) liigub ühtlaselt noole n sihis. 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 selle tõttu enam mitte B-s, vaid punktis B_1. Sedaviisi edasi arutades näita, et reisija tee jõe suhtes on $AB_1A_2B_3A_4$.



Joon. 10. Liikumise teede liitmine liikuval parvel.

1. Too näiteid liikumise teede liitmise kohta.
2. Joon. 9. põhjal tee mudel liikumiste liitmiseks.

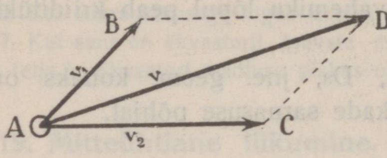
21. Kiiruste liitmine ning lahutamine.

Jõe voolu kiirus on $0{,}6\,\frac{m}{sek}$, sõudja kiirus seisvas vees $1{,}8\,\frac{m}{sek}$. Leida sõudja kiirus kalda suhtes pärija vastuvett sõudes.

Too näiteid sama- ja vastusihiliste liikumiste liitmise kohta ning tuleta reegel nende liitmiseks.

Et kiirus näitab ühe ajaüksuse jooksul liikumisel käidud teed oma sihi ja suuruse poolest, siis on liikumisteede liitmise reegel maksev ka kiiruste liitmisel, s. o. kahest liikumisest koosseisva liit- ehk resultantliikumise kiirus võrdub alati oma suuruse ja sihi poolest liidetavate ehk komponentliikumiste kiiruste kui külgede põhjal joonistatud rööpküliku diagonaaliga.

Ümberpöördult liitmisele on vahel tarvis lahutada antud kiirus (v) kaheks komponendiks, s. o. leida kaks niisugust kiirust (v_1 ja v_2), mille resultant oleks antud kiirus (joon. 11). Nagu liitmise reeglist selgub, tuleb kiiruse lahutamisel, kui liitmisele ümberpöördud tegevusel, ehitada rööpkülik antud diagonaali AD põhjal. Tipust A väljaminevad 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 siht; 2) mõlema komponendi suurus; 3) ühe komponendi siht ja suurus jne. Näita kolmnurkade ehitamise põhjal, et need lisatingimused on piisavad kiiruse lahutamise ülesande ainult ühteviisi lahendamiseks.



Joon. 11. Kiiruste rööpkülik.

1. Mispoolest eraldub kiiruste liitmine ja lahutamine samanimelistest tehetest aritmeetikas?

2. Kuidas tuleks 3, 4 jne. kiirust (liikumist) liita ~~ehk~~ 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. Jôe laius on 72 m, voolu kiirus $1{,}2\ \frac{m}{sek}$, sôudja kiirus seisvas vees $1{,}5\ \frac{m}{sek}$. Palju tarvitab sôudja aega, et kôige lühemat teed pidi kord üle jôe ja tagasi sôita?

6. Kas on vôimalik ujuda üle jôe perpendikulaarselt kaldale, kui voolu kiirus on $5\frac{km}{h}$, ujuja kiirus seisvas vees aga $4\frac{km}{h}$?

22. Inerts. Igapäevaste nähtuste tähelepanemisest teame, et ükski paigalolev keha ei hakka liikuma ilma põhjuseta — iseenesest. 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 iseenesest, ilma põhjuseta, ega

3. Kiirendusest: $f = \frac{dv}{dt} = ma$

muuda oma liikumissihti ega kiirust. Tahame kiire jooksu pääl äkki seisma jääda või kõrvale pöörata, peame tarvitama kaunis tugevat ~~musklite~~ lihaste pingutust; raudteerongi seismajätmiseks tarvitatakse pidurit; maad mööda veerev kivi jääb seisma hõõrumise mõjul jne.

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

Selle seaduse järele püüab iga keha alal hoida oma liikumise olekut: on keha paigal, siis püüab ta ka paigale jääda; liigub aga keha, siis püüab ta jätkata liikumist sama kiirusega ja samas sihis, s. o. liikuda edasi ühtlaselt ja sirgjooneliselt. See üldine kehade omadus alal hoida oma liikumise olekut nimet. **inertsiks.**

Lihtsad tähelepanekud näitavad, et keha inertsi suurus oleneb massist ja kiirusest. Mitmesuguse massiga kehi sama kiirusega liikuma tõugates näeme, et inerts on võrdeline massiga, samuti on inerts seda suurem, mida suurem on kiiruse muutumine ehk kiirendus.

1. Kui sõiduriist äkitselt liikuma hakkab, langevad reisijad tahapoole. Äkitselt seismajäämisel sünnib vastupidine nähtus. Mispärast?
2. Kuidas tuleb liikuvalt sõiduriistalt maha hüpata?
3. Mispärast tolm kloppimisel riiete seest välja tuleb?
4. Mispärast kirvest või luuda varre otsa pannes varre pihta koputatakse?
5. Mispärast on paigalolevat koormat hobusel raske 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 raudteerongi järsku seisma jätta ega liikuma panna?
8. Meie teame, et maakera pöörleb oma telje ümber läänest idasse. Mispärast maapinnalt üles hüpates meie sama koha pääle tagasi langeme, aga mitte üleshüppamise kohast lääne poole?
9. Too veel näiteid inertsi kohta.

23. Tung ja selle mõõtmine. Inertsiseaduse põhjal püüab iga keha oma liikumise olekut alal hoida.

Kui siiski keha liikumise olek muutub, siis peab selleks põhjus olema. Põhjust, mis paigaloleva keha liikuma paneb ehk juba olemasolevat liikumist sihi või kiiruse suuruse poolest muudab, ~~nimet.~~ **tungiks.**

Märkus Tung — jõud

Meile tuntud liikumise muutumise põhjused ehk tungid on: inimese ja loomade ~~musklitetung~~, 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~~, nagu § 10 nägime,~~ sest teatud piirides on vedru pikenemine võrdeline venitava tungi suurusega. ~~Kuidas raskustungi suurust mõõdetakse, seda meie juba nägime (§§ 10, 12).~~ Kõiki teisi tunge aga võime raskustungi üksustes mõõta. Nii näiteks võime ütelda, et antud magnetitungi suurus teatud kaugusel oleva rauatüki külgetõmbamisel on 10 g, hõõrumistungi suurus kelgu liugumisel 5 ~~naela~~, ~~musklitungi~~ suurus kivitõstmisel 10 kg jne. Pääle raskuse üksuste on mehaanikas väga sagedasti tarvitatavaks tungi üksuseks düün, mille suurus on $\sim \frac{1}{980}$ grammraskusest.

Joon. 12. Dünamomeeter.

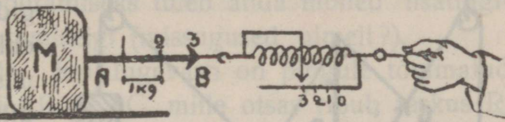
Riistu, mille abil saab tungi suurust mõõta, nimet. d ü n a m o m e e t r i t e k s (joon. 12). Selleks otstarbeks võib ka tarvitada igat kaalu.

Nagu pärast mehaanikast selgub, nimet. düüniks niisugune tung, mis 1 gramm-massilise keha kiirust igas sekundis $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ võrra suurendab. Et aga raskuse mõjul vabalt langedes iga keha kiirus suureneb igas sekundis $\sim 980 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ võrra, siis võrdub järelikult 1 gramm-raskust ~ 980 düüniga ja 1 düün $= \sim \frac{1}{980}$ gramm-raskusest.

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

24. Tungi graafiline kujutamine. Katsed näitavad, et tungi mõju keha pääle 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 i h i s antud tung mõjub keha pääle. Keha punkti, milles tung otsekohe mõjub, püüdes teda liikuma panna ehk olemasolevat liikumist muuta, nimet. **tungi**

rakenduspunktiks; sihti, milles tung rakenduspunkti liikuma püüab panna — **tungi sihiks**. Nii siis, tung on täiesti teada, kui on antud tema **rakenduspunkt, siht** ja **suurus**. Kõiki neid kolme tungi tunnust on võimalik näitlikult kujutada graafiliselt. Selleks valime noole AB (joon. 13), mille algus asub antud tungi rakenduspunktis A, siht näitab antud tungi sihti ja pikkus mahutab eneses nii mitu mõõtu, kui mitu tungiüksust on antud tungi suuruses. Joon. 13. kujutab nool AB tungi, mille suurus on 3 kg ja mis mõjub antud keha M pääle rakenduspunktis A noole AB sihis.



Joon. 13. Tungi graafiline kujutamine.

Füüsikalised suurused, nagu kiirus, tung jne., mille täpseks määramiseks pääle suuruse (kui palju?) peame teadma veel sihti (mis sihis?), nimet. vektoriaalseteks suurusteks ja neid kujutavaid nooli vektoriteks.

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

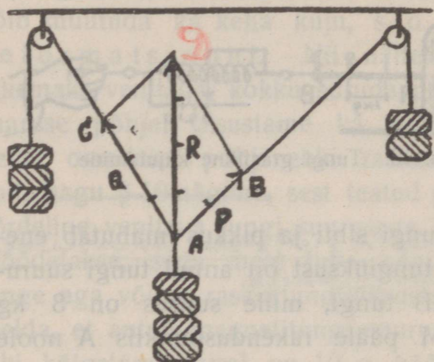
Raudteerong liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Vedur tõmbab järjest ühteviisi, kuid kiirus ei suurene, sest veduri tõmbetung kulub selleks, et hoida tasakaalus kõiki rongi liikumise takistusi, nagu hõõrumist, õhu takistust jne., ja rong liigub inertsi mõjul ühtlaselt ning sirgjooneliselt.

Tungid on tasakaalus, kui nad ei muuda keha liikumise olekut: paigal olev keha jääb tungide mõju pääle vaatamata paigale, ühtlaselt sirgjooneliselt liikuv keha jätkab oma liikumist samal viisil. — Kaks tungi, mis hoiavad tasakaalus ehk tasakaalustavad teineteist vastastikku, peavad olema võrdsed suuruse poolest, sihi poolest aga otse vastupidised ning nimet. sellepärast võrdvastupidisteks.

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

Eelöeldust järgneb, et tung on vektoriaalne suurus, järelikult peab ka tungide liitmine, e lahutamine sündima vektorite liitmise ja lahutamise reeglite põhjal.

26. Tungide liitmine. Kui mitu tungi samas sihis mõjuvad, siis on neid kerge liita, s. o. leida niisugune tung, mis üksinda antud keha pääle samasugust mõju avaldab kui kõik antud tungid ühtekokku. Antud tungid nimet. **liidetavateks** ehk **komponentideks,** liitmise resultaat — **resultandiks**. On selge, et ühes sihis mõjuvate 2 kg ja 3 kg kui komponentide resultant on 2+3, s. o. 5 kg. Järelikult, *samasihiliste komponentide resultant võrdub komponentide summaga.*



Joon. 14. Tungide rööpkülik.

Võtame nüüd kaks tungi: $P = 2$ kg ja $Q = 3$ kg, mis on rakendatud mõlemad samas punktis A (joon. 14) kuid nende sihid moodustavad nurga BAC. Katse näitab, et niisugusel juhusel *on antud tungide P ja Q resultant R oma sihi ja suuruse* poolest P ja Q kui külgede põhjal joonistatud rööpküliku diagonaal.

1. Näita, et joon. 14 kujutatud katse vastab sellele reeglile. juhusele P

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, $A = 90^0$;

b) $P = Q = 5$ kg, $A = 120^0$;

c) $P = 5$ g, $Q = 12$ g, $A = 90^0$;

d) $P = 4$ kg, $Q = 6$ kg, $A = 60^0$.

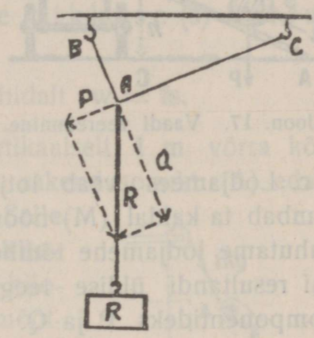
6. Rakenduspunktis A mõjuvad 4 tungi: põhjasihis $P_1 = 17$ kg, idasihis $P_2 = 12$ kg, lõunasihis $P_3 = 13$ kg ja läänesihis $P_4 = 9$ kg. Leia sihi ja suuruse poolest nende resultant P.

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

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

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

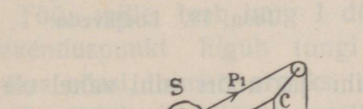
Leia graafiliselt P ja Q suurus, kui R=13 kg.



Joon. 15. Tungi lahutamine.

Nagu nägime, võib tungi väga mitmel viisil lahutada komponentideks; üldise reeglina tuleb juhusel, kui keha tungi mõjul liigub, antud tung lahutada harilikult kaheks komponendiks nõnda, et ühe komponendi sihiks on võetud keha liikumissiht, kuna teise komponendi siht on sellega perpendikulaarne.

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



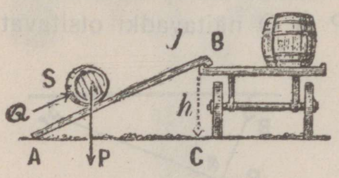
Joon. 16. Kaldpind.

a. **Kaldpind.** Olgu kaldpinnal AC, mis moodustab rõhtpinnaga AB nurga A (joon. 16), raske silinder S. Lahutame silindri raskustungi R kui resultandi kaheks komponendiks: P ja Q. Komponent P on kaldpinnaga paralleelne ja püüab alla veerema panna silindrit mööda kaldpinda, komponent Q on kaldpinnaga perpendikulaarne ja rõhub ainult silindrit vastu kaldpinda. Tahame, et silinder kaldpinnal paigal püsiks, tuleb meil tasakaalustada ainult komponenti P, kuna komponent Q kaldpinna vasturõhumisega isegi tasa-

Sõnas te saadud valemid
Kui näiteks $\alpha = 30^\circ$, siis $P = R \sin 30^\circ = \frac{1}{2}R$.

kaalustatud on. Kolmnurkade sarnasuse põhjal (täisnurksed kolmnurgad, mille üks teravnurk võrdne) võime kirjutada: $P : R = BC : AC$, s. o. **k a l d p i n n a g a p a r a l l e e l n e k o m p o n e n t** on nii mitu korda vähem keha raskusest, kui mitu korda on kaldpinna kõrgus vähem kaldpinna pikkusest.

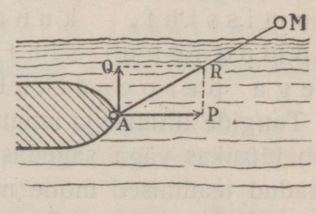
Kui näiteks nurk A on 30°, siis $P : R = \frac{BC}{AC} = \frac{1}{2}$, kust $P = \frac{1}{2} R$. Sedaviisi on võimalik kaldpinnal suurt raskust tasakaalustada võrdlemisi väikese tungiga, mis igapäevases elus palju praktilist tarvitamist leiab.



Joon. 17. Vaadi veeretamine.

b. Mõõda ära joon. 17 kujutatud kaldpinna pikkus ja kõrgus ning arvuta, kui suur peab olema tung Q, mis hoiaks tasakaalus vaadi S, mille raskus P = 10 puuda.

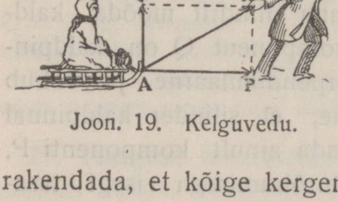
c. Lodjamees veab lotja vastuvett üles (joon. 18). Selleks tõmbab ta kaldal (M) nöörist. Tüür ei lase joosta lotja kaldale. Lahutame lodjamehe tõmbetungi R kui resultandi üldise reegli järele komponentideks P ja Q. Komponent P on see, mis lotja edasi viib, kuna komponent Q liikumise sihile risti mõjub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



Joon. 18. Lodjavedu.

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

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



Joon. 19. Kelguvedu.

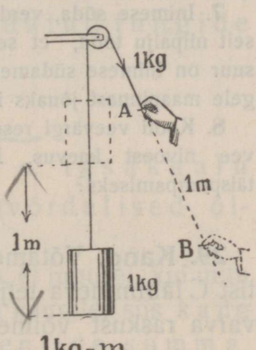
Kuidas tuleb hobune vankrile rakendada, et kõige kergem vedada oleks?

 sõda, kogu liivasel, kõval pìe teel
kõval, pehmel (liivane) pe. teel,

28. Töö ja selle mõõtmine. Meie teeme tööd, kui kivi või mingisugust muud raskust tõstame, kelku veame, vett pumpame jne. Samuti teeb tööd hobune koormat vedades, aurukatel rehepeksu- või mõnda teist masinat ümber ajades, vesi ning tuul veskit käima pannes jne. Nagu neist näidetest selgub, tuleb töötegemisel alati mõnesugust t a k i s t u s t (raskustung, hõõrumine jne.) ü l e t a d a. Ka on töötegemisel oluliseks tunnuseks asjaolu, et keha, mille pääle 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 (**w**) 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.

töö = tung . ~~töö~~ tee, ehk lühidalt **w = fs.**

Kui meie näiteks tõstame 1 kg vertikaalselt 1 m võrra kõrgemale, siis nihkub 1 kg-lise tungi rakenduspunkt (A) edasi tungi sihis 1 m võrra (joon. 20). Selle juures tehtud töö hulka nimetame **kilogramm-meetriks** (**kg-m**), ehk meeter-kilogrammiks (m-kg), mis töö hulga mõõtmise üksusena üldiselt tarvitusele võetud. Eelöeldust selgub, et 3 kg kõrgemale tõstmisel 2 m võrra teeme 3 . 2, s. o. 6 kg-m tööd jne.



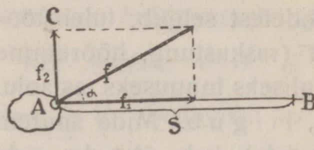
Joon. 20.
Tööüksus-kg-m.

Töö, mille teeb tung 1 düün, kui tema rakenduspunkt liigub tungi sihis 1 cm võrra edasi, nimet. **erg**'iks. Erg on väga väike tööüksus. Kümme miljoni (10^7) ergi moodustab uue tööüksuse, mis iseäranis elektrivoolu töö mõõtmisel laialt tarvitusel ja kannab nime **džoul** (j).

Antud töö mõistest järgneb: kui keha, mille pääle tung mõjub, edasi ei liigu, vaid kogu aeg paigal püsib, siis selle juures tung tööd ei tee. Nii näiteks ei tee tööd maja alusmüür seinu ülal hoides, raskustung maapinnal lasuvat kivi enese poole tõmmates jne.

„Liikumata“ paigal seistes, kätt kõrvale välja sirutatult hoides, vastu lauda rõhudes jne. väsime siiski sellele vaatamata, et füüsika mõttes selle juures tööd ei tee. Mispärast? Too veel sarnaseid näiteid.

Sagedasti moodustab tungi (f) siht rakenduspunkti edasiliikumise sihiga (AB) teatud nurga (joon. 21). Niisugusel juhusel lahutame antud tungi f kaheks komponendiks: rakenduspunkti A edasiliikumise (AB) ja sellele perpendikulaarses (AC) sihis. Keha edasiliikumiseks môjub ainult komponent f_1, kuna komponent f_2 edasiliikumise sihile risti môjub. Sellega siis on tungi f kasulik töö $w = f_1 s = fs \, Cos\alpha$, sest $f_1 = f \, Cos\alpha$.



Joon. 21. Töö môiste üldisel juhusel.

1. Leia, kuidas môôta töö hulka § 27 toodud näidetes (kaldpind, lodja ja kelguvedu).

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

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

4. Kumb on suurem: kas mg-cm või erg?

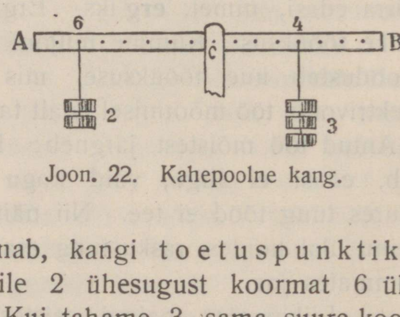
5. Väljenda kg-m ergides ning vôrdle teda džouliga.

6. Mitu kg-m tööd kulub 0,24 tonnilise kivi tôstmiseks 50 cm vôrra?

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

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

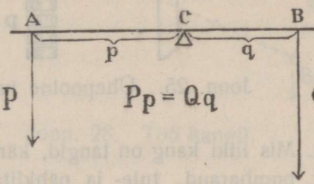
29. Kang. Võtame ühtlase sirge varva AB, mis annab raskuspunktist C läbimineva telje ümber vabalt pöörduda (joon. 22). Et kogu varva raskust võime kujutella rakendatud raskuspunktis, viimasest läbiminev telg aga sambale toetub ning paigal püsib, siis peab ka varb AB jääma igas asendis tasakaalu. Nimetame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



Joon. 22. Kahepoolne kang.

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

Rääkimise lihtsustamise otstarbel nimetame kangi tungi rakenduspunkti kauguse toetuspunktist kangi õlaks (joon. 23). Sellega oleks siis tungi P õlg kaugus AC ehk lühidalt p, tungi Q õlg BC ehk lühidalt q. Nimetame tungi suuruse ja tema õla korrutise tungi momendiks.



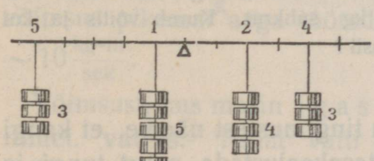
Joon. 23. Kangi tasakaal.

Seda lühendatud väljendusviisi tarvitades võime kangi tasakaalu tingimuse järgmiselt sõnastada: kang on tasakaalus, kui mõlemal kangi poolel rakendatud tungide momendid on võrdsed, s. o.

$$Pp = Qq.$$

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

Joon. 22 kujutatud kangiga on lihtne näidata, et juhusel, kui mitu (kolm ja rohkem) paralleeltungi on rakendatud kangile, siis kang on tasakaalus, kui tungide momentide summa, mis püüab kangi ühes sihis pöörata, võrdub tungide momentide summaga, mis püüab kangi vastassihis pöörata.

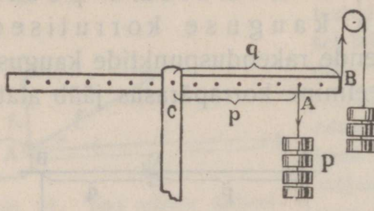


Joon. 24. Mitme tungi moment.

Näiteks, on joon. 24 kujutatud kang tasakaalus, sest

$$3 . 5 + 5 . 1 = 4 . 2 + 3 . 4$$

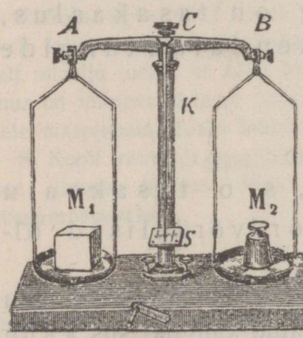
30. Kangide liigitamine. Eelpool käsitatud kang nimet. kahepoolseks, sest tungid on rakendatud kahelpool toetuspunkti. Joon. 25. kujutatud kang nimet. ühepoolseks, sest tungid P ja Q on rakendatud ühel pool toetuspunkti. Katse näitab, et ühepoolse kangi tasakaalu tingimuseks on samuti kui kahepoolselgi kangil tungide P ja Q momentide võrdus, s. o. $Pp = Qq$. Mitme tungi juhusel maksab sama reegel, mis kahepoolse kangi kohta.



Joon. 25. Ühepoolne kang.

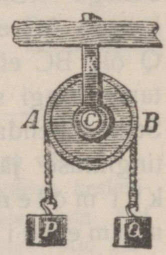
1. Mis liiki kang on tangid, käru, käärid, ukselink, kaevuling, pumbaraud, tule- ja pähklitangid, päsmer ja inimese käsi?

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



Joon. 27. Kaalud.

3. Plokk on keskpunktist läbimineva telje ümber vabalt pöörduv ketas, mille äärele tehtud soonest nöör üle käib (joon. 26). Nööri otsades 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 ($P = Q$).



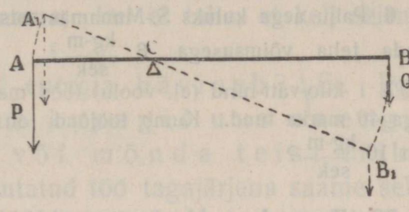
Joon. 26. Plokk.

4. Mis liiki kang on kaalud (joon. 27). Rakenda kangi tasakaalu tingimused kaalude tasakaalu määramiseks.

Mispärast kaalud tehakse võrdõlgsed? Õlg $AC = 15$ cm, õlg $CB = 15,1$ cm. Poodnik kaalus niisuguse kaaluga ostjale 2 kg suhkrut. Kumb võitis ja kui palju, kui suhkur oli lühema õlaga vaekausil?

31. Töö kangil. Kangi tasakaalu tingimustest näeme, et kangi abil on väikese tungiga võimalik tasakaalustada suurt tungi ja ümberpöördult. Selleks on tarvis valida tungi õlgade pikkused pöördvõrdeliselt tungide suurustega.

Nagu joon. 28 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 hulka, siis järgneb 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 olemas-olevat töötagavara ühest kehast teise, selle juures **võrdub alati töötava tungi töö takistuse ületamisele kulutatud tööga.** See on mehaanika põhiprintsiip, mis on maksev iga mehaanilise sisseseade kohta.



Joon. 28. Töö kangil.

32. Võimsus. Masinate kui ka iga teise tööjõu tarvitamisel peame teadma, kui suur on antud masina või tööjõu **võimsus**, s. o. *töö hulk, mis masin või tööjõud teeb 1 sek jooksul.* Kui masin teeb *igas sekundis 75 kg-m tööd, siis ütleme, et selle masina võimsus on* **1 hobusejõud** (HP). Tugeva hobuse võimsus pikemat aega töötades on 1 HP, inimese võimsus aga $\sim 10 \frac{\text{kg-m}}{\text{sek}}$.

Võimsust, kus masin *igas sekundis 1 džouli* tööd teeb, nimet. **vatiks.** Tuhat vatti on **1 kilovatt.**

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

1. Mitu vatti on 1 HP? Mitme inimese tööjõu aset täidab aurukatel, mille võimsus on 6 HP?

2. Narva kose võimsus on ligikaudu 75.000 HP. Mitu töömeest suudavad teha 8-tunnilise tööpäeva juures sama palju tööd kui Narva kosk?

3. Mitu korda on hobuse vôimsus inimese vôimsusest suurem?

4. Mitu kg-m on üks kilovatt-tund?

5. Leia inimese südame vôimsus vattides (v. ülesanne 7, § 27).

6. Palju aega kuluks S.-Munamäe otsa tôusmiseks (relat. kôrgus 75 m), kui seda teha vôimsusega $8 \frac{\text{kg-m}}{\text{sek}}$?

7. 1 kilovatt-tund (el. voolu) tööd maksab (Tartus) 16 mk., inimese tööjôud aga 40 marka tund. Kumb tööjôud on odavam, oletades, et töölise vôimsus on $10 \frac{\text{kg-m}}{\text{sek}}$?

33. Energia. Me teame, et töötegemisel tuleb ära võita, 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 *iga liikuv keha võib seda*, nagu aurukatla hooratas masinaid ümber vedades, liikuv suurtüki kuul kindlustusi lõhkudes jne. *Liikuva keha võime teha tööd on seda suurem, mida suurem on keha mass ja tema liikumise kiirus.* — Kuid see võime pole mitte ainult liikuvail kehadel, vaid ka inimese ja looma keha musklitel, ülestõstetud raskustel (kella pommid), kokkukeeratud vedrul (kella vedru), kuumal aurul katlas, lõhkeainetel (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 olev töö tagavara Kõigis eelpool toodud näidetes nimetatud kehadel on energiat.

Harilikult tehakse vahet kaht liiki energia vahel: **kineetiline** ehk **liikumise energia** ja **potentsiaal-** ehk **seisu energia**. 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 muskli energia.

34. Energia jäävuse seadus. Töötavaid kehasid tähele pannes näeme, et *tööd tehes väheneb keha energia tagavara*, tema võime edaspidi tööd teha läheb 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 seisma jääks jne.

Kas siis töötamisel kulutatud energia h ä v i n e b ? Ei. I g a t ö ö t a g a j ä r j e n a i l m u b k u s a g i l u u s e n e r g i a t a g a v a r a , k a s s a m a v õ i m õ n d a t e i s t l i i k i : keha liikumapanemiseks ärakulutatud töö tagajärjena saame selle keha liikumise energia, keha tõstmiseks kulutatud töö tagajärjena saame ülestõstetud keha potentsiaal-energia, hõõrumise ületamise tagajärjena soojuse energia jne.

Kui võrrelda töötegemisel ~~ära~~tarvitatud energia hulka selle töö hulgaga, mis ilmub töö tagajärjena, siis leiame, et mõlemad energia hulgad on võrdsed ~~ehk ekvivalentsed~~, s. o. mõlemate nende energia ~~hulkade arvel saab~~ sama palju tööd ~~teha~~. Selles seisabki nn. **energia jäävuse seadus**: n i i v õ r d k u i l o o d u s e n ä h t u s i o n j ä r e l e u u r i t u d , p o l e s e n i k u s a g i l t ä h e l e p a n d u d e n e r g i a h ä v i n e m i s t , v a i d a i n u l t t e m a e k v i v a l e n t s e t m o o n d u m i s t ü h e s t l i i g i s t t e i s e .

Täpsed mõõtmised näitavad, et m e h a a n i l i s e e n e r g i a s o o j u s e k s m u u t u m i s e l a n n a b i g a 427 k g - m ü h e k a l o r i s o o j u s t j a ü m b e r p ö ö r d u l t . Selle põhjal võime alati välja arvutada, palju tööd on võimalik antud soojusehulga arvel saada.

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

2. Jälgi energia moondumist päikesekiirte energiast kuni elektrivalguseni.

2. Mis siis sünniks, kui maakera oma liikumisel ümber päikese äkitselt seisma jääks ehk kui kaks taevakeha kokku põrkaksid?

4. Katsed näitavad, et 1 kg kivisütt annab ära põledes umbes 8000 kalorit soojust. Oletades, et meil oleks võimalik veduri abil söe soojuse energiat kõike otsekohe tööks moondada, leia, kui palju süsi läheks niisugusel juhusel tarvis raudteerongi vedamiseks Tartust Tallinna?

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

M ä r k u s : Praegusel ajal muudavad paremad aurumasinad paremal juhusel ainult 17% soojuse energiast tööks.

1. Browni liikumine
2. Kandumine
3. Vedruvas teooria

Vedelikud

Rõhumise nähtused vedelikkudes

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

Kandumine P.

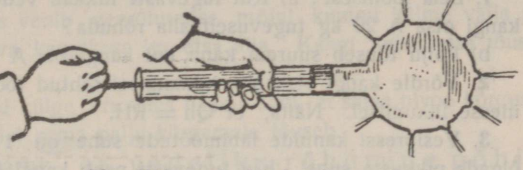
36. Rõhu edasiandumine vedelikus. Pascali seadus. Tool rõhub põrandat toolijala ja põranda kokkupuutumise pinnal, maja sein rõhub oma raskusega maja alusmüüri jne. Üldse võivad kõvad kehad anda edasi rõhumist ainult teatud sihis. 3

Rõhumise suuruse üle otsustamiseks on tarvis teada ühe pinna üksuse 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.**

3 Vedruvas teooria! P.

Kuidas vedelikud rõhumist edasi annavad, seda näitab meile järgmine katse (joon. 29).

Õõnes kera on ühendatud toruga, milles käib tihedalt edasi-tagasi kann. Täidame riista veega ja rõhume kanniga. Kera augukestest purskavad nüüd vee joad igas sihis laiali. Kõik joad on ühetugevused; see näitab, et kanni rõhumine vees andub edasi igas sihis ühte viisi. Sama nähtus kordub ka teiste vedelikkudega. Tähendab, **kõik vedelikud annavad rõhumist edasi igas sihis ja ühte viisi.** Selle vedelikkude põhiomaduse leidis üles prantsuse teadusemees Pascal (1623—1662), mispärast seda ka **Pascali seaduseks** nimetatakse.



Joon. 29 Rõhu edasiandumine vedelikus.

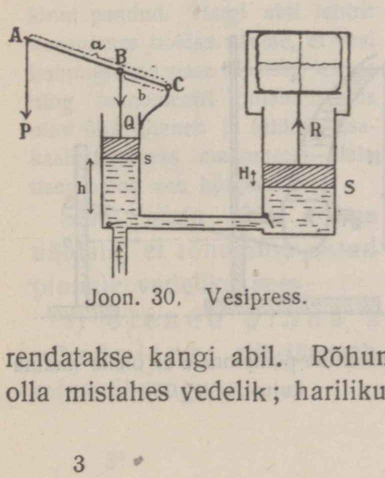
1. Seleta, kuidas sünnib rõhumise edasiandmine kangil.

2. Kuidas annavad rõhumist edasi herned, haavlid, viljaterad salves, linaseemned jne.? Katsu võrdluseks nende nähtustega selgitada rõhu edasiandumist vedelikkudes.

3. Tugeva hoobiga vedelikuga täidetud pudeli korgi pihta võib pudeli puruks lüüa. Mispärast ?

4. Leia $1 \frac{kg}{cm^2}$ ja $1 \frac{nael}{toll^2}$ suurusline vahekord.

37. Vesipress. Pascali seadusel põhjeneb vesipressi ehitus. Selle riistaga on võimalik suuri rõhumisi sünnitada. Vesipressi tegevus selgub joon. 30. Olgu näiteks parempoolse silindri läbilõige S pahempoolse silindri läbilõikest s 10 korda suurem, siis lükkab vedelik parempoolset kanni 10 korda tugevamini alt üles kui kang pahempoolset kanni ülevalt alla, sest rõhumine iga pinnaüksuse pääle on ühesugune. Rõhumist vähemas silindris suurendatakse kangi abil. Rõhumist edasiandvaks vedelikuks võib olla mistahes vedelik; harilikult tarvitatakse selleks õlisid.



Joon. 30. Vesipress.

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

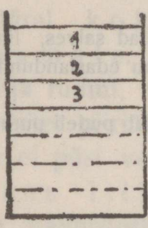
1. Leia joonisest: a) Kui tugevasti lükkab vedelik suuremat kanni üles, kui kangi otsa A 20 kg tugevuselt alla rõhuda?

b) Palju tôuseb suurem kann, kui kangi ots A 30 cm alla poole lükata?

2. Vôrdle kangi otsa alla lükkamisel tehtud tööd selle tööga, mis teeb kann ülesse liikumisel. Näita, et $Qh = RH$.

3. Vesipressi kannide läbimôôtude suhe on 1 : 5, samuti ka pumba kangi ôlgade pikkuste suhe. Kui tugevasti peab kangi ôla pääle rôhuma, et tekitada 3-tonnilist rôhumist? Kui suurt rôhumist vôib tekitada oma raskusega inimene, kes kaalub 60 kg?

38. Vedeliku rõhumine anuma põhja pääle. Võtame püstseintega anuma (joon. 31) ja täidame veega. Lahutame vee anumas mõttes üksikuteks rõhtsateks kihtideks. Kiht 1 rõhub oma raskusega kihti 2; kiht 2 annab kihile 3 edasi 1. kihi rõhumise (Pascali seadus), samuti ka enese raskuse rõhumise jne. Nõnda edasi arutades järeldame, et *anuma põhja pääle mõjub rõhumine vee kogu raskuse suuruses.* Sama mõttekäik maksab iga püstseintega anuma ja iga teise vedeliku kohta.

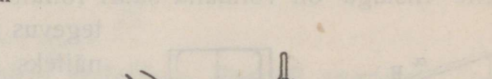


Joon. 31. Rõhumine põhja pääle.

Olgu anuma põhipinna suurus S cm², tema sügavus (kaugus nivoost) H cm ja vedeliku erikaal e $\frac{g}{cm^3}$, siis on rõhumise suurus grammides kogu põhipinnale

$P = eSH$. Valemist järgneb, et *rõhumine põhjale on võrdeline vedeliku erikaaluga ja põhipinna suuruse ning sügavusega.*

Katse (joon. 32) näitab, et leitud kor-



Joon. 32. Rôhumine pôhipinnale ei olene anuma kujust.

rapärasus on õige mistaheskujulise (ka mitte püstseintega) anuma kohta.

Lahtise silindri k pôhja külge on kleebitud õhuke kummikelme, päält poolt vôib silindri külge kruvida mitmekujulisi klaasanumaid (a, b jne). Vett nivooni n anumasse valades venib veerôhumise mõjul kummi kelme välja ja lükkab temaga kokkupuutuva kangikese lm otsa alla. Kangi teise otsa tôusu loeme skaalal.

Mistahes kujulisi anumaid külge kruvides näeme alati, et sama nivoo kôrguse H juures kangi ots m skaalal sama palju kõrgemale tôuseb.

Sellest katsest järeldame, et vedeliku rõhumine põhja pääle ei olene mitte anuma kujust, vaid ainult põhipinna suurusest ja sügavusest ning võrdub alati selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on anuma põhi ja kõrguseks põhja (keskmine) sügavus.

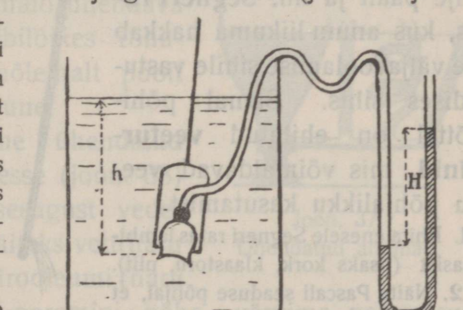
1. Pudel, mille pôhja läbimõõt 5 cm, on täidetud 18 cm kôrguseni elavhôbedaga. Leia elavhôbeda rôhumine pôhipinnale. Kui suur oleks piirituse rõhumine samadel tingimustel?

2. Mensuur on täidetud 20 cm kôrguseni väävelhappega. Leia rõhumine pôhjale $\frac{g}{cm^2}$-tes.

3. Kuidas on vôimalik väikese vedeliku hulgaga anuma pôhjale suurt rôhumist sünnitada?

39. Rõhumine vedeliku sees. Vaatame nüüd, millest oleneb rõhumine vedeliku sees. Selleks teeme järgmised katsed (joon. 33 ja 34).

Kummitoru abil vesimanomeetriga (vaata § 67) ühendatud lehtri ots on ôhukese 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.



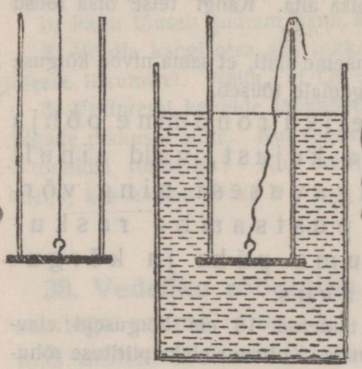
Joon. 33. Rôhumine vedeliku sees.

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

a) oleneb pinna sügavusest ja on sellega võrdeline; siit järgneb, et samas rõhtses 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 (joon. 34).

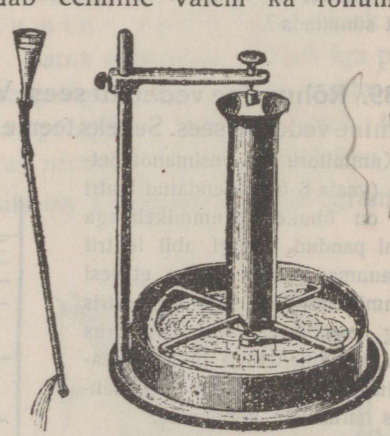


Joon. 34. Rôhumine vedeliku sees.

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 üleval vee rôhumine alt üles. Vett silindrisse valates langeb plaat alles siis ära, 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.**

Et vedelik Pascali seaduse põhjal rõhumist igas sihis ja ühteviisi edasi annab, siis väljendab eelmine valem ka rõhumist anuma küljele. Seda tõendavad joon. 35 kujutatud katsed: vedeliku väljavoolamine toru külje päält ja nn. **Segneri ratas,** kus anum liikuma hakkab vee väljavoolamise sihile vastupidises sihis. Samal põhimõttel on ehitatud **veeturbiinid,** mis võimaldavad veejõu põhjalikku kasutamist.



Joon. 35. Segneri ratas.

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

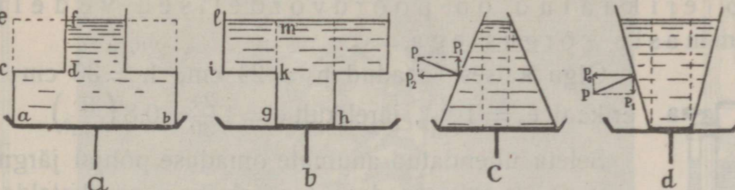
2. Näita Pascali seaduse põhjal, et samas sügavuses vedeliku rôhumine peab olema igas sihis ühesugune.

3. Leia vee rôhumine atmosfäärides kôige sügavamas mere põhjas.

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

5. Kui suure rôhumise all on inimese keha (välispind $\sim$ 2 m^2) vees 1,5 m sügavusel?

40. Hüdrostaatilised paradoksid. Meie nägime, et vedeliku rôhumine anuma pôhja pääle vôrdub vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on pôhipinna suurus ja kõrguseks põhipinna sügavus, s. o. ei olene anuma kujust. Nüüd tôuseb küsimus, kas on vôimalik kaalumise abil mistaheskujulises anumas oleva vedeliku kaalu kätte saada, sest anum lasub oma pôhjaga kaaludel ja rôhumine põhipinna pääle vôib olla suurem vôi vähem anumas oleva vedeliku raskusest, nagu joon. 36 näha.

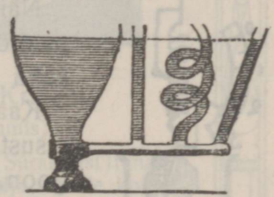


Joon. 36. Hüdrostaatilised paradoksid.

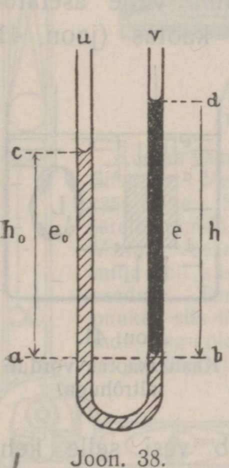
Môtle selle küsimuse üle lähemalt järele ja tõenda (joonis 36, a, b, c ja d), et kaalud tõepoolest näitavad anuma ja temas oleva vedeliku kaalu. Niisugused pääliskaudsel järelemõtlemisel pôhjenevad otsused, mis meie harilikkudele teadmistele risti vastu käivad, nimet. p a r a d o k s i d e k s.

Nimeta mône paradoksid?

41. Ühendatud anumad sama ja kahe isesuguse vedelikuga. Katse näitab, et ü h e n d a t u d a n u m a t e s, m i s s a m a v e d e l i k u g a t ä i d e t u d, o n v e d e l i k u v a b a p i n d (n i v o o) a l a t i r õ h t n e (joon. 37), sest muidu poleks ka anumaid ühendava toru läbilõikes rõhumine mõlemalt poolt ühesuurune.



Joon. 37. Ühendatud anumad.



Joon. 38. Ühendatud anumad.

Valame ühendatud anumatesse (joon. 38) kaht isesugust vedelikku, näiteks vett (haru u) ja petrooleumi (haru v). Et paremini näha, värvime petrooleumi radix alcannae abil punaseks. Nüüd näeme, et petrooleumi samba nivoo (d) seisab vee omast (c) kõrgemal. Tasakaalu korral peab samas rõhtses läbilõikes ab mõlema vedeliku samba rõhumine igale pinna üksusele, näit. 1 cm^2, olema ühesugune, s. o. $\mathbf{e_0 h_0 = eh}$, kus e_0 ja e on vastavad erikaalud. Allpool nivood ab on torus sama vedelik (vesi) ja sellepärast tasakaalus. Siit saame lihtsa abinõu vedelikkude erikaalude võrdlemiseks, nimelt:

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

s. o. e r i k a a l u d o n p ö ö r d v õ r d e l i s e d v e d e l i k u s a m m a s t e k õ r g u s t e g a.

Joon. 39.
Aurukatla
veeklaas.

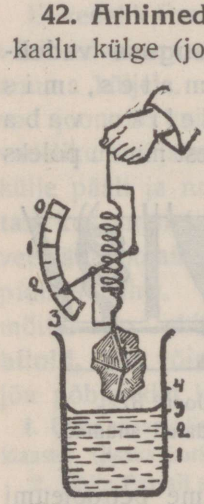
Olgu katsest saadud $h_0 = 24$ cm, $h = 30$ cm; vee erikaal $e_0 = 1\frac{g}{cm^3}$, järelikult $e = 1.\frac{24}{30} = 0{,}8\left(\frac{g}{cm^3}\right)$.

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

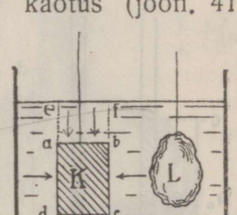
Vee rõhumine veevärgi kraani otsas on $1{,}5\frac{kg}{cm^2}$. Leia vee niivoo kõrgus reservuaaris kraani suhtes.

42. Arhimedese seadus.

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


Joon. 40.
Kivi kaalub vees vähem kui õhus.

Näita, millega peab võrduma vette asetatud püströöptahuka abcd kaalu kaotus (joon. 41, keha K).



Joon. 41.
Kaalu kaotus võrdub altrõhuga.

Kaalu kaotuse suuruse üle otsustamiseks üldisel juhusel (joon. 41, keha L) arutame järgmiselt. Kui keha L veeks moonduks, 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?

Arhimedes (287—212 e. Kr.)

(Vanalt puulõikelt Briti Muuseumis)

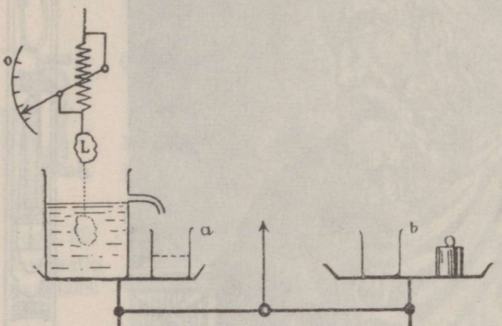
Kuulus vanaaja füüsik ja matemaatik, elas Sürakuusi linnas, Sitsiilias. Vedeliku altrõhu seaduse ülesleidja. Selle kohta räägitakse: Sürakuusi kuningas Hiero tegi A-le ülesandeks järele uurida, kas tellitud kuld kroon on puhtast kullast. Vannis, vee altrõhku tähele pannes, tuli A. meetodi juure, mille abil küsimuse lahendas. Leidis üles kangi tasakaalu seaduse. Tuntud on tema ütelus: „Andke mulle toetuspunkt, siis tõstan paigast kogu maa“. Mitmesuguste riistade, nagu plokk, lõpmatu kruvi, areomeeter, nõgusad peeglid jne. ülesleidja. Esimesena määras π ja arvutas ringi pindala.

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 leidis kreeklane **Arhimedes,** mispärast teda ka **Arhimedese seaduseks** nimetatakse.

Kaalu kaotuse põhjuseks on vedeliku rõhumine alt üles — altrõhk, mis võrdub kaalu kaotuse suurusega.

Sõnasta Arhimedese seadus altrõhu abil.



Joon. 42. Vedeliku kaal suureneb altrôhu vôrra.

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. Joon. 42 kujutatud katse abil on seda kerge näidata. Kuidas?

1. Vees on tasakaalustatud raud- ja tinapomm. Kuidas muutub tasakaal, kui kaalud veest välja võtta, glütseriini, petrooleumi jne. asetada?

2. Palju kaotad sina oma kaalust vees? Mitu liitrit on sinu keha ruumala?

3. Palju kaalub 10-grammiline kullatükk elavhôbedas?

4. Vaalaskala kaalub 30 tonni. Leia tema keha ruumala.

5. Seest ôônes raudpomm kaalub 3 kg ja püsib vee sees tasakaalus. Leia ôônsuse 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 juhused võivad ette tulla, kui keha vabalt vedelikku lasta:

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

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

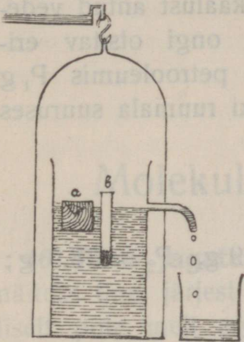
c) $P < Q$, „ „ ujub pinnal.

Värske kanamuna abil on kerge vees näidata kõike kolme tasakaalu juhust. Kuidas?

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

2. Nimeta kehi, mis vees kas ujuvad, tasakaalus on vôi pôhja vajuvad.

3. Missugused kehad ujuvad elavhôbeda pinnal ja missugused vajuvad temas pôhja?

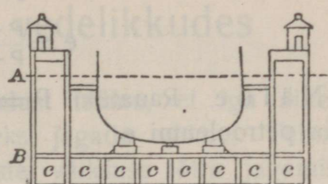


Joon. 43. Tasakaal ujumisel.

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

5. Kus seisab laeva kere sügavamal vee sees: kas jôes vôi meres?

6. Joon. 44 kujutab ujuva doki läbilôiget. Kui kambrid c vett täis lasta, vajub dokk vette joone A sügavuseni. Siis tuuakse laev dokki, asetatakse paika ja pumbatakse kambritest



Joon. 44. Ujuv dokk.

c vett nii palju välja, et dokk ühes laevaga kerkiks nivooni B. Nüüd on töölistel vôimalik igale poole laeva kerele juure pääseda. Oletame, et iga kambri kôrgus ja laius on 3 m. Kui pikk peaks olema siis dokk, et ülal hoiaks ookeanilaeva „Imperaator", mille raskus on 50 000 tonni?

7. ~~Kui suur osa meres ujuvatest jäämägedest on merepinna kohal?~~

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 Pg, 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 $P—P_1 + Q_1 cm^3$ (tõenda seda!) ja erikaal:

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

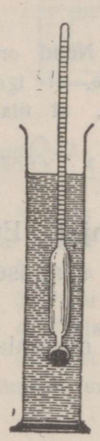
N ä i d e. Korgitüki $P = 8{,}9$ g, $P_1 = 64{,}5$ g, $Q_1 = 105{,}8$ g; leia e.

c) Vedeliku, näiteks petrooleumi, erikaalu leidmiseks võtame niisuguse keha, mis vees ja antud vedelikus põhja vajub ning ei lahustu, ja vaatame 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 $P-P_2$ cm^3 ning erikaal

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

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

45. Areomeetrid. Vedeliku erikaalu kiireks leidmiseks tarvitatakse nn. a r e o m e e t r e i d. Lihtsamad neist on kaalareomeetrid (joon. 45). 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. Kaalareomeeter polegi muud, kui sellekohaselt valmistatud ja vastava numbrilauaga varustatud keha, mille suurem ehk vähem sissevajumine vedelikus näitab meile erikaalu.


Joon. 45. Areomeeter.

1. Mispärast kaalareomeeter vedelikus püsti seisab ja mitte küljele ei vaju?
2. Kui areomeetri toru on ühtlane, kas vastavad siis võrdsetele erikaalu muutustele võrdsed kriipsuvahed skaalal?
3. Kuidas on võimalik katseklaasist areomeetrit teha.

Molekulaarnähtused vedelikkudes

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

47. Hüpotees ja teooria. Et meil otsekohese jagamise teel võimalik pole aine kõige väikesemat osakest leida, 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 olla võiks. Arusaadav, et hüpotees ainult niikaua püsida võib, kuni ta kõik nähtused, mille seletamiseks see hüpotees loodud, rahuldavalt suudab ~~ära~~ seletada. Hüpotees tuleb muuta ~~ehk~~ 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. Teaduste arenemise sihiks on võimalikult väikese arvu hüpoteeside abil kõiki meile tuntud nähtusi ära seletada. Ideaal-seisukord oleks saavutatud, kui meie ainult ühe hüpoteesiga läbi saaksime.

48. Kehade ehitus molekulaarhüpoteesi põhjal. Keemiast tuntud molekulaarhüpoteesi põhjal koosnevad kõik kehad väikestest k e e m i l i s e l t j a g a m a t u osakestest — **aatomitest.** Iga lihtaine ehk element (hapnik, vesinik, tina, raud jne.) koosneb iseliiki aatomitest. Sama lihtaine aatomid on kõik ühesugused. Liitaine (vesi, süsihapugaas jne.) kõige vähem osa — **molekul** — koosneb aatomitest. Ka lihtaine aatomid ei esine sagedasti üksikult, vaid seotult kahe-, kolme jne. kaupa moleku-

aatomite P.
vn Coulombi tung P

lideks; näiteks koosnevad vesiniku ja hapniku molekulid kahest aatomist, ozoon 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 moodustused, massilt teineteisest erinevad. Pääle massi võivad molekulid erineda teineteisest veel oma sisemise ehituse ja liikumise kiiruse poolest.

49. Kohäsioontung. Selle põhjal kui võrd tugevasti on keha molekulid teineteisega seotud, jagame kõik kehad kolme liiki: kõvad, vedelad ja gaasilised kehad. Kõva keha molekulide vahel on side võrdlemisi väga tugev, sest neid on raske teineteisest lahutada. Nähtuse seletuseks tuleb oletada, et kõva keha molekulide vahel mõjub mingisugune tung, mis neid koos hoiab. Nimetame selle tungi **kohäsioontungiks**. Mis kohäsioontung oma loomu poolest õieti on, seda meie ei tea, samuti ei tea meie ka raskustungi loomu kohta midagi ligemat ütelda. Väga võimalik, et kohäsioontung on oma loomult üldise tõmbe- ehk gravitatsioonitungiga ühesugune.

Ka vedeliku molekulide vahel mõjuvad kohäsioontungid ehk küll nõrgemalt kui kõva keha molekulide vahel; selle tõenduseks on vedeliku osakeste suur liikuvus teineteise suhtes, tilga kuju, mis alati enam-vähem ümmargune (õli-, veetilk) jne.

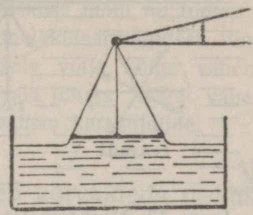
Gaasi osakeste vahel nende hõreduse ja suure kiiruse tõttu ei ole kohäsioontungide mõju märgata.

50. Adhäsioontung. Mitte ainult sama kõva ehk vedela keha molekulid ei ole teineteisega nn. kohäsioontungide abil seotud, vaid ka isesuguste kehade (näiteks klaas ja vesi) molekulid võivad endid lähemal kokkupuutumisel teineteisega siduda. Klaasi vette kastes jäävad vee molekulid klaasi molekulidele külge, tolmu kübemed jäävad peegli, riiete külge jne. Nimetame tungid, mis isesuguste kehade molekulid teineteisega koos hoiavad, **adhäsioontungideks**. Kõva keha (klaas) vedelikku kastes näeme, et üks vedelik (vesi) hakkab kõvale kehale külge, teeb ta märjaks, teine vedelik (elavhõbe) aga mitte. Esimesel juhusel ütleme, et vedelik **märgab** seda kõva keha, teisel juhusel **ei märga** ta mitte. Nii näiteks märgab vesi klaasi, rauda,

4. vaevalt näyatav P.

puud jne., ei märga vesi rasva, steariini, parafiini jne. Nende nähtuste seletamiseks tuleb oletada, et märgamise korral on adhäsioontungid kohäsioontungidest suuremad, mittemärgamise korral aga ümberpöördult.

Kohäsioon- ja adhäsioontungide selgituseks teeme veel järgmise katse (joon. 46). Kaalu kangi külge riputatud klaasplaadikest vette lastes ja pärast välja võttes näeme, et vesi plaadi veepinnast kõrgemale kerkimisel ei katke, vaid plaadikesele vähe ~~järgi~~ üle tuleb. Katsest järeldame, et klaasi ja vee molekulide vahel mõjuv adhäsioontung on suurem vee molekulide vahel mõjuvast kohäsioontungist (muidu ei tõstaks klaas vett üles). Teisele vaekausile vihte asetades kuni plaadi veest lahti tulemiseni, võime vedeliku molekulide vahel mõjuvate kohäsioontungide suuruse üle otsustada.



Joon. 46. Vee ko- ja adhäsioon.

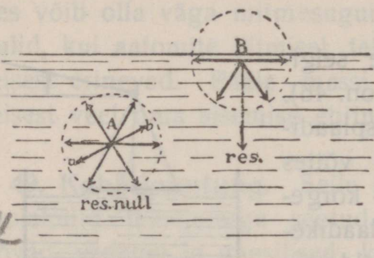
Sama katse elavhõbedaga näitab, et kohäsioontung elavhõbeda molekulide vahel on suurem kui adhäsioontung elavhõbeda ja klaasi molekulide vahel.

Ka kõva keha ja gaasi vahel mõjuvad adhäsioontungid, mille tõenduseks on lõhnade külgejäämine kehadele (valgustusgaas kummivoolikutele, suitsu ja teised lõhnad riietele jne.).

1. Seleta kohäsioon- ja adhäsioontungide abil järgmised nähtused: metallide (raud jne.) kokkujootmine kõrge temperatuuri juures, pliiatsi südame valmistamine grafiidi pulbrist 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. Katki murtud ja uuesti tugevasti kokku surutud keha osad ei jää mitte kokku. Ainult üksikutel juhustel (lihvitud klaaspinnad, tina jne) on lahutatud osade nõrka kokkujäämist märgata. Sellest näeme, et kohäsioontungid mõjuvad aine molekulide vahel ainult siis, kui molekulid on teineteisele hästi lähedal. Molekulide vahelise kauguse suurenedes väheneb kiiresti ka kohäsioontung. Piirkonda, milles antud molekul tema ümberolevate molekulide (naabermolekulide) pääle veel tuntavalt mõju avaldab, nimet. m o l e k u l a a r t u n g i d e m õ j u p i i r k o n n a k s; teda võime kujutella sfäärina, mille tsentris on antud molekul (joon. 47).

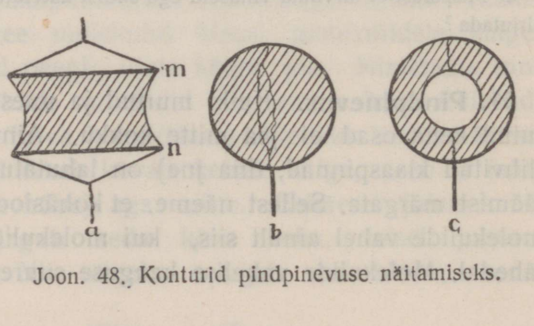


Joon. 47. Naabermolekulide mõju.

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

Molekulide vahel mõjuvate tungide mõjuga on seletatavad vedeliku nivoo pindkile isesugused omadused. Nagu joon. 47 näha, on iga molekuli pääle mõjuvate naabermolekulide mõju tasakaalustatud ainult siis, kui molekul asub pindkilest küllalt kaugel (molekul A), sest niisugusel juhusel on võimalik leida igale molekulile (a) samast mõjupiirkonnast antud molekuli suhtes sümmeetriliselt asetatud teist molekuli (b), mis esimese mõju tasakaalustab (resultant on null). Pindkile läheduses asuvate molekulide (B) suhtes aga on ülekaalus nende naabermolekulide mõju, mis asuvad vaba pinnale vastasküljes. Siit järgneb, et kohäsioontungide mõjul vedeliku vaba pindkile püüab ennast koomale tõmmata, et võimalikult vähendada vedeliku vaba pinda. Seda vedeliku vaba pindkile omadust koomale tõmbuda sarnaselt pinevile tõmmatud kummi kelmega nimetame p i n d p i n e v u s e k s. Tema põhjal on võimalik seletada terve rida nähtusi.

Võtame joon. 48 kujutatud traatide m ja n vahele seebivee kelme. Võimalikult kokku tõmbuda püüdes lähevad küljeniidid sisse poole kõveraks ja tõstavad alumise traadi n ülesse. Traate teineteisest eemale tõmmates ja alumist traati vabaks lastes kordub sama nähtus.



Joon. 48. Konturid pindpinevuse näitamiseks.

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

Seebimullid tômbuvad kokku seistes.—Väikeses hulgas võetud vedeliku (tilgad) kuju on enam-vähem ümmargune, sest siin ei ole raskuse môju nii tuntav ja vedelik vôtab enesele kuju, mis on tingitud tema molekulaartungidest. Pindpinevuse tôttu püüab keha niisugusel juhusel enesele võtta kôige vähema pinna. Nagu geomeetriast teame, on keral antud ruumala juures kôige vähem pindala, sellepärast on siis ka vedelik tilkades enam-vähem kerakujuline.

52. Plateau katse. Kui meil korda läheb kõrvaldada raskuse mõju ja teha vedeliku pinnakuju olenevaks ainult tema molekulaartungidest, siis peab iga vaba vedelik pindpinevuse mõjul võtma kera kuju. Et see tõesti nõnda, näitab meile Plateau katse (joon. 49). Oliiviõli on piiritusest raskem ja veest kergem, sellepärast 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 kokku tõmbavuse tõttu kera kuju.

1. Seleta pindpinevuse pôhjal nôela, samuti Gilette habemenoatera ujumine ja putukate kôndimine veepinnal.

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

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

Joon. 49. Õlitilk piirituse ja vee segus.

4. Elavhõbeda tilgad on veetilkadest tublisti ümmargusemad. Mispärast?

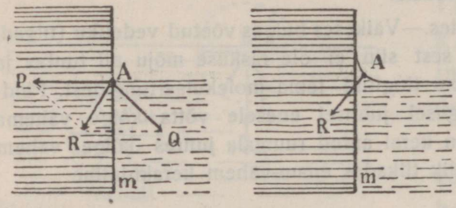
5. Mispärast peenike veejuga ei püsi pidevana, vaid jaguneb üksikuteks tilkadeks?

6. Tinahaavlite valmistamisel lastakse sula tina läbi sellekohase sôela kôrgelt vette langeda. Mispärast saavad haavlid selle juures ümmargused?

7. Pane veepinnale ujuma 2 tikku 2—3 cm kaugusele teineteisest. Puuduta nende vahel olevat veepinda kuuma traadi otsaga. Pane tähele, mis sünnib ja mispärast?

53. Vedeliku vaba pind anuma seina läheduses. Varem (§ 41) nägime, et vedeliku vaba pind (nivoo) on alati rõhtne.

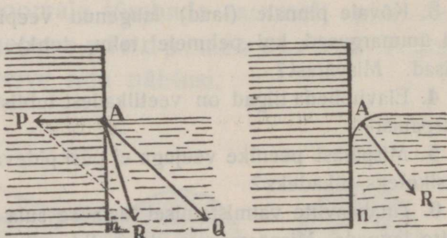
Kuid see on õige ainult siis, kui jätta hoopis arvest välja molekulaartungide mõju pinna kujundamisel. Tõepoolest aga annab anuma seina läheduses molekulaartungide mõju ennast sedavõrd tunda, et vedeliku pind muutub ühes ehk teises sihis kõveraks.



Joon. 50. Vedeliku pinna tôus anuma seina ääres.

Võtame näiteks vee ja klaasi kokkupuutumise kohal (joon. 50) väikese vee osakese (A) ja paneme tähele molekulaartungide mõju temasse. Olgu vee ja klaasi adhäsioontungide resultant P, kohäsioontungide resultant vee osakeste vahel Q. Kui antud vee osakene küllalt väikene, võime raskuse arvestamata jätta. Et vesi märgab klaasi, siis on adhäsioontungid kohäsioontungidest suuremad ja P ning Q resultant R sihitud anuma seina (klaasi) sisse. Vedeleliku põhiomadustest (§ 35) teame, et tasakaalu korral peab vedeliku nivoo olema perpendikulaarne vedeliku osakeste pääle mõjuva resultant-tungiga. Selleks siis peab veepind klaasseina ääres muutuma üles poole nõgusaks, nagu katse seda ka tõepoolest näitab.

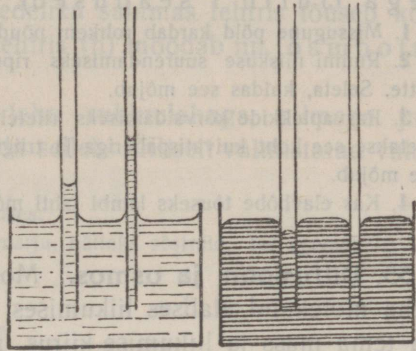
Kui vedelik seina ei märga (elavhõbe, klaas), siis on kohäsioontung vedeliku osakeste vahel adhäsioontungist suurem, ning molekulaartungide ühine resultant R sihitud vedeliku sisse (joon. 51). Resultandi R tasakaalustamiseks muutub niisugusel korral vedeliku vaba pind seina ääres ülespoole kumeraks.



Joon. 51. Vedeliku pinna langemine anuma seina ääres.

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

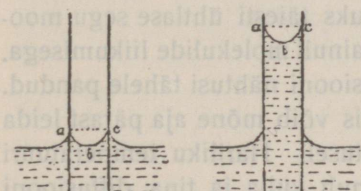
54. Kapillaarsus. Ühendatud anumates seisab vedeliku vaba pind samas rõhtsas tasapinnas. Kuid see on õige, kui molekulaartungide mõju raskusega võrreldes on tühine (küllalt suure läbilõikega anumad). Peenikeste, jõhv- ehk kapillaartorude juures ei või jätta molekulaartungide mõju tähele panemata. Nii näitab katse, et peenikeses torus seisab märgav vedelik (vesi, klaas) kõrgemal, mittemärgav aga madalamal kui nivoo lahtises anumas (joon. 52). Niisugune nähtus nimet. k a p i l l a a r s u s e k s e h k j õ h v s u s e k s.



Joon. 52. 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 ära seletada pindpinevuse abil. Kui vedelik märgab toru seina, siis on vedeliku pind torus (menisk) nõgus (joon. 53, esimene). Pindkile abc püüab ennast võimalikult sirgeks tõmmata ja tõstab kohäsioontungide mõjul osa vedelikku enesele järele. Vedeliku pinna sirgenedes tõusevad adhäsioontungide mõjul pindkile ääred kõrgemale, uuesti tõmbab pindkile enesele vedelikku järele jne. niikaua kui vedeliku samba raskus tasakaalustab pindpinevuse mõju.



Joon. 53. Pindkile hoiab üleval vedeliku samba.

Seleta analoogiliselt mittemärgava vedeliku langemine kapillaartorus.

Katse kui ka matemaatika rakendamine näitab, et v e d e l i k u t õ u s u (vastavalt langemise) s u u r u s k a p i l l a a r t o r u d e s on pöördvõrdeline toru raadiusega ja vedeliku erikaaluga ning võrdeline pindpinevusega (Jurin'i seadused).

1. Missugune põld kardab rohkem põuda: kas hästi haritud või harimata?

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

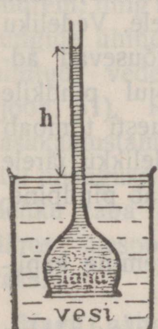
3. Rasvaplekkide kôrvaldamiseks riietelt tarvitatakse sagedasti järgmist vôtet: kaetakse see koht kuivatispaberiga ja triigitakse kuuma rauaga. Seleta, kuidas see môjub.

4. Kas elavhôbe tôuseks lambi tahti mööda üles?

55. Diffusioon ja osmos. Molekulaar hüpoteesi põhjal on keha molekulid alalises liikumises. Molekuli oluliseks omaduseks on tema mass ja liikumise kiirus, mis oleneb keha temperatuurist. Vedelikkude molekulide liikumisvõimet pääle auramisnähtuste, millest räägime ligemalt soojusenähtuste tundmaõppimisel, näitab vedelikkude diffusiooni ja osmose nähtused.

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

Ka kõvade kehade juures on diffusiooni nähtusi tähele pandud. Kui kulla kihile asetada tina kiht, siis võib mõne aja pärast leida kulla molekulisid kogu tina kihi ulatusel. Hariliku temperatuuri juures on senini ainult kulla ja tina diffusiooni tähele pandud, kuna kõrgemate temperatuuride juures sama nähtust võib leida kõikide metallide juures.



Joon. 54. Osmos.

Vedelikkude segunemine ei sünni mitte ainult nende otsekohesel kokkupuutumisel, vaid ka siis, kui vedelikud on lahutatud teineteisest poorse vaheseinaga, nagu põie kelme, pergamentpaber jne. Niisugune vedelikkude segunemisnähtus nimet. osmoseks. Sagedasti ei ole molekulide vaheseinast läbitungimise kiirus igas sihis ühesugune. Näiteks, kui anumas (jooņ. 54) on puhas vesi ja põiekelmega kaetud lehtris $CuSO_4$ lahu, siis tungib sama aja jooksul rohkem vee molekulisid anumast lehtri alla kui $CuSO_4$ lahu omi säält anumasse ja veđeliku sammas lehtris tõuseb kõrgemale; lahu samba kõrgus lehtris (h) mõõdab nn. osmootse rõhumise suurust.

Samalaadilist katset võib teha suhkrulahuga, piimaga jne. Suhkrulahu juures tuleb tarvitada selleks eriliselt valmistatud vaheseina.

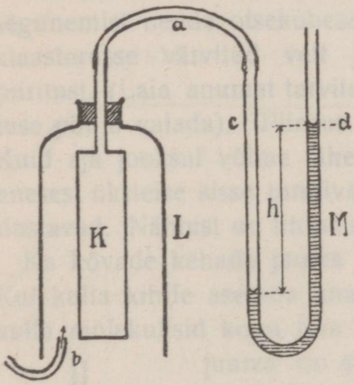
1. Too näiteid osmose kohta looduses.
2. Kuidas tarvitatakse kuivatatud marju, näiteks sôstraid, tee asemel?

Gaasid

Rõhumise nähtused gaasides

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

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



Joon. 55. Gaaside diffusioon.

Gaaside segunemine ehk **diffusioon** ei sünni mitte ainult nende otsekohesel kokkupuutumisel, vaid ka läbi poorse vaheseina, mis selgub joon. 55 kujut. katsest.

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 rõhumise manomeetri vabale otsale. Kui aga juhtida anuma L alla toru b kaudu mõnda kergemat gaasi, näiteks valgustusgaasi, tõuseb manomeetri harus d vesi otsekohe kõrgemale. Sellest järeldame, et valgustusgaasi molekulid tungivad kiiresti anumasse K, suurendades selles rõhumist. Võtame anuma K anumast L välja, siis sünnib vastupidine nähtus: vesi manomeetris tõuseb torus c kõrgemale kui torus d, millest järeldame, et gaasi rõhumine anumas K on vähem rõhumisest vabas õhus. Rõhumise vähenemine võis tekkida selle tõttu, et valgustusgaasi molekulid liiguvad kiiremini kui õhu molekulid ja sellepärast tuleb välja anumast K valgustusgaasi molekulisid rohkem kui õhu omasid sisse.

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

Gaasi molekulide liikumise kiirus on võrdlemisi suur: nii näiteks on 0^0 C juures vesiniku molekuli kiirus $1700 \frac{m}{sek}$, hapniku molekulil $\sim 450 \frac{m}{sek}$ jne. Võrdluseks peame meeles, et kahuri kuuli kiirus on umbes $800 \frac{m}{sek}$. Sirgjooneliselt suure kiirusega liikudes põrkavad molekulid vastu seina, teda rõhudes või vastu teisi molekulisid, muutes selle juures oma sihti. Molekulide liikumine on korraldamatu liikumine oma sihi kui ka kiiruse suuruse poolest, s. o. igas sihis liigub umbes sama palju molekulisid teatud keskmise kiirusega.

Gaasi molekulide suurest liikuvusest järgneb, et gaasidel ei ole kindlat kuju.

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

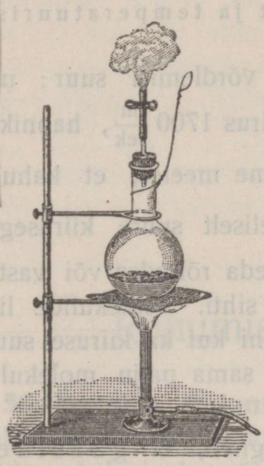
Samuti kui vedelik võib gaas tasakaalustada ainult tema pinnaga risti (normaalselt) rakendatud tunge, mitte aga puuteliselt (tangentsiaalselt); ka rõhumist annavad gaasid edasi igas sihis ja ühteviisi (Pascali seadus), mis kerge näidata joonisel 29 kujutatud riistaga vee asemel suitsu tarvitades.

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

57. Õhu kaal. Aineosakesed, millest gaasid koosnevad, tungivad samuti maa poole kui kõvade ja vedelate kehade aineosakesed. Tähendab, ka gaasidel on raskus, neid võib kaaluda, ehk küll kõvade ja vedelate kehadega võrreldes on gaasid väga kerged.

5 katse

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



Joon. 56. Õhu kaaluvus.

Võtame keedupudeli, mis umbes 1 liiter suur, valame temasse vähe vett ja paneme kõvasti kinni kummikorgigr, millest läbi läheb peenike klaastoru (joon. 56). Korgist läbituleva klaastoru otsas on kummitoru, mida näpitsaga saab kõvasti kokku pigistada. Soendame keedupudelis olevat vett, kuni ta keema hakkab. On auru juba tublisti keedupudelist välja ajanud, pigistame kummitoru näpitsaga kinni ja võtame keedupudeli kohe tulelt. Ärajahtunud keedupudeli tasakaalustamine kaalu del. Nüüd avame näpitsa. Õhk tungib vihisedes keedupudelisse, sest ärajahtunud aur on veeks tihenenud ja selle tõttu rõhumine keedupudelis vähenenud. Vaekauss, millel keedupudel rippus, langeb alla, tähendab, õhk, mis keedupudelisse tungis, suurendas viimase kaalu oma kaalu võrra. Tasakaalustamiseks peame teisele vaekausile keedupudelisse tunginud õhu raskuse võrra vihtisid juure panema.

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

1. Leia õhu erikaal läbipõlenud elektripirni abil. Kuidas?
2. Mitu kg (puuda) kaalub klassi täis õhku normaaltingimustel?
3. Mitu korda on õhk normaaltingimustel veest kergem?
4. Nimeta mõned gaasid, mis õhust kergemad, vst. raskemad.
5. Palju kaalub õhk sinu ruumala suuruses?

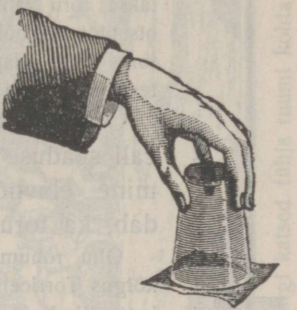
58. Õhu rõhumine. Maad paksu kihina (200—300 km) ümbritsevat õhku nimetame maa õ h k k o n n a k s ehk a t m o s f ä ä r i k s. Meie elame atmosfääri, õhu mere, põhjas. katse Õhkkonna ülemised kihid rõhuvad oma raskusega alumisi ja nõnda järjest edasi kuni maapinnani.

Et Pascali seadus, nagu nägime, maksab ka gaaside kohta ja gaasidel on raskust, siis maksavad kõik korrapärasused, mis leidsime varem rõhumise kohta vedeliku sees, täies ulatuses ka gaaside kohta. Sõnasta neid. Sellepärast võime järeldada õhu kohta: ü l e m i s t e k i h t i d e r a s k u s e m õ j u l k o k k u s u r u t u d õ h k r õ h u b i g a k e h a, m i l l e g a t a k o k k u p u u t u b, j a m i t t e a i n u l t ü l e v a l t a l l a, v a i d i g a s s i h i s. S a r n a s e l t v e d e l i k k u d e l e, o l e n e b õ h u r õ h u m i s e s u u r u s k õ r g e m a l o l e v a õ h u s a m b a r a s k u s e s t.

Õhu rõhumist tõendavad järgmised katsed.

1. Täidame klaasi ääreni veega, katame papitükiga ja pöörame ümber. Vesi ei voola mitte vä ja, ka siis mitte, kui tugevasti raputada ja klaas külje pääle pöörata.

2. Joon. 58 kujutab katset, mis tegi ôhupumba ülesleidja Magdeburgi linnapää Otto von Guericke a. 1654, kus tihedalt kokkupandud ja ôhust vôimalikult tühjakspumbatud poolkerasid (sisemine läbimôôt 22 tolli) hobustega lahti kistakse.



Joon. 57. Ôhu rôhumine ei lase veel klaasist välja voolata.

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

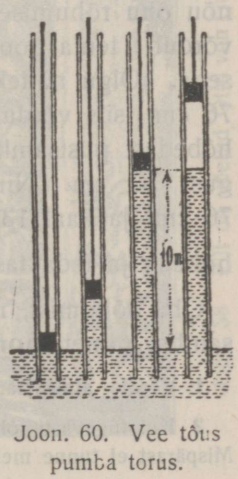
4. Ôlekôrre abil vôib vett, limonaadi jne. imeda. Seleta, kuidas see sünnib?

Joon. 59. Kanade jooginôu.

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

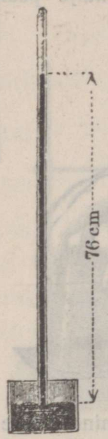
6. Seleta kuidas töötab joon. 59 kujutatud kanade jooginôu.

59. Torricelli katse. Nähtuste hulka, mis ôhu rôhumise abil seletuvad, kuulub ka vee tôusmine pumba torus, kus tôusva kanni taha tühi ruum jääb, mis veega täitub. Vanad greeklased ja roomlased oletasid selle nähtuse seletuseks, et „loodus kardab tühja ruumi," missugune seletus kuni Galilei päevini püsis. a. 1640 leidis Toscana hertsog, kes Florentsia lähedal enesele sügavat kaevu ehitas, et vesi ei tôuse pumba torus kôrgemale kui umbes 10 m veepinnast (joon. 60). Imelikule nähtusele seletuse saamiseks pöörati elatanud Galilei poole, kes arvas, et vee tôusmise pôhjuseks pumba torus on ôhu rôhumine. Galilei suri (a. 1642) enne, kui ta suutis oma arvamisi katseliselt tôendada. Selle töö viis lôpule Galilei ôpilane Torricelli.



Joon. 60. Vee tôus pumba torus.

Torricelli mõttekäik oli järgmine: kui õhu rõhumine suudab hoida üleval veesamba, mille kõrgus 10,3 m, siis peab elavhõbeda samba kõrgus olema 13,6 korda vähem, s. o. 10,3 m : 13,6 = $\sim$76 cm, sest elavhõbeda erikaal on vee omast 13,6 korda suurem. Selle tõenduseks tegi Torricelli a. 1643 katse, mis praegugi tema nime kannab (joon. 61).



Joon. 61. Torricelli katse.

Umbes 80 cm pikkune klaastoru täidetakse elavhôbedaga, kaetakse toru lahtine ots sôrmega, pööratakse ümber ja pistetakse otsapidi elavhôbeda anumasse. Sôrme ära vôttes langeb elavhôbe torus vähe allapoole ja jääb seisma umbes 76 cm kõrgusele, arvates elavhôbeda pinnast anumas.

Ôhk rõhub elavhõbeda pinna pääle anumas. Pascali seaduse järele anđub pinna pääle mõjuv rõhumine elavhõbedas igas sihis ühte viisi edasi, tähenđab, ka toru sisse, ja hoiab ülal elavhõbeda samba.

Õhu rôhumise muutumisega muutub ka elavhôbeda samba kôrgus Torricelli katses. Maapinnast kôrgemale tôustes väheneb loomulikult ôhu rôhumine, järelikult ka elavhõbeda samba kõrgus. Selle tähelepaneku tegid esimestena Pascal ja tema sugulane Perrier a. 1648.

1. Tarvita kahe isesuguse vedelikuga (elavhôbe ja ôhk) täidetud ühendatud anumate omadust Torricelli katse seletamiseks. Arvuta sellest ühtlase atmosfääri kôrgus.

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

3. Kuidas oleneb elavhôbeda samba kôrgus Torricelli katses toru kujust ja sihist?

60. Õhu rõhumise suurus. Torricelli katse annab lihtsa abinõu õhu rõhumise suuruse määramiseks, nimelt: õhu rõhumine 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. 1033 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. **normaalrôhumiseks.**

1. Vôrdle atmosfääri normaalrôhumist tehnilise atmosfääriga $\left(1\ \frac{kg}{cm^2}\right)$.

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

Joon. 58 Pilt on võetud Otto von Guericke raamatust „Uued Magdeburgi katsed tühja ruumi kohta“ ja kujutab õhu rõhumise demonstreerimist Saksa riigipäeva liikmetele Regensburgis pidulikult a. 1654.

3. Ôhu rôhumise 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

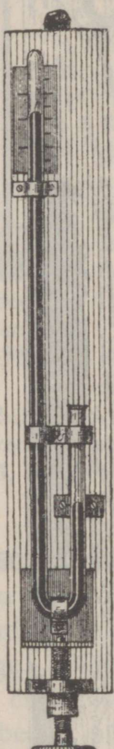
Joonista nende andmete pôhjal graafik, mis näitab õhu rõhumise olenevust kôrgusest.

Leia saadud graafiku pôhjal ôhu rõhumine 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 kõrgus 1 mm vôrra, oletades, et ôhk on igalpool ühtlase tihedusega?

6. Leia ôhu rôhumine joon. 58 kujutatud Magdeburgi poolkeradele.

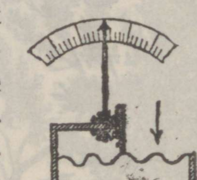


Joon. 62. Sifoonbarometer.

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

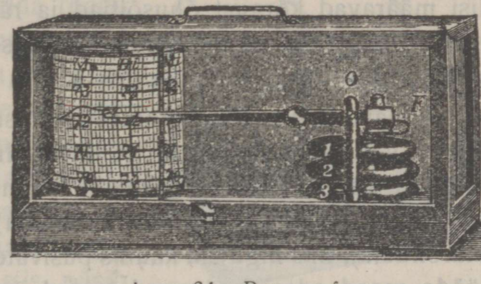
Sifoonbaromeeter (joon. 62) on lahtise otsa lähedusest kõveraks painutatud klaastoru, kus õhu rõhumist mõõdab elavhõbeda nivoode vahe mõlemais torudes.

Igapäevases elus on väga laialt tarvitusel nn. **aneroid-** ehk **metallbaromeetrid** (joon. 63). Nende oluliseks osaks on õhukindel metallkarbikene, mille kaas on tehtud hästi vetruvast plekist. Ôhu rõhumise suurenedes paindub kaas vähe sissepoole, rõhumise vähenedes aga ümberpöördult. Karbi kaane võrdlemisi väikesed edasi-tagasi nihkumised suurendatakse kangide ja hammasrataste süsteemi abil meile kergesti tähelepandavateks rao liikumisteks astmikul. Aneroidi astmik varustatakse jaotustega, mis vastavad elavhõbeda baromeetri omadele.



Joon. 63. Aneroid.

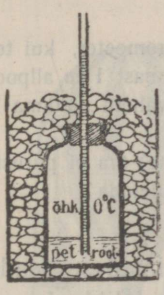
Riista, mis järjest üles kirjutab õhu rõhumise iga momendi kohta, nimet. **barograafiks** (joon. 64). See pole muud midagi, kui üleskirjutamise abinõudega varustatud metallbaromeeter.



Joon. 64. Barograaf.

Metallbaromeetri näitamist tuleb vahete vahel reguleerida, sest pleki elastsus muutub aja jooksul. **Normaalbaromeetriks** selle juures on elavhõbedabaromeeter.

Valmista joonisel 65 kujutatud petrooleumibaromeeter, mille töötamine seletub järgmiselt. Pudelis olev õhk hoitakse jääva temperatuuri juures (0^0 C), sellega on jääv ka tema rõhumine petrooleumi pinnale. Välisõhu rõhumise muutudes muutub petrooleumi samba kõrgus torus. Petrooleumi tõusmine ja vajumine torus ei muuda tuntavalt õhu ruumala pudelis.



Joon. 65. Petrooleumibaromeeter.

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

1. Metallbaromeetri karbikene on õhust tühjaks pumbatud. Mispärast?

2. Nimeta aneroidbaromeetri hääd ja halvad küljed.

3. Mitu korda on petrooleumibaromeeter tundlikum elavhõbedabaromeetrist?

4. Mitme mm võrra muutub petrooleumibaromeetri kõrgus baromeetrit 1 m kõrgemale või madalamale asetades?

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

62. Baromeetri kasutamine. Varem (§ 60) nägime, et maapinnast kõrgemale tõustes õhu rõhumine väheneb. Nende kahe suuruse — õhu rõhumine ja kõrgus merepinnast — vahel on kindel side, ehk küll meie ei saa teda päris täpselt väljendada, sest siin on mõjumas väga mitmesugused tegurid (niiskus, temperatuur jne.); ka on üldse atmosfääri olek väga muutlik. Kuid siiski on võimalik merepinnast kõrgemale tõustes õhu rõhumise suuruse põhjal kaunis õieti otsustada tõusu kõrguse üle. Seda viisi määravad kõrgust õhusõitjad ja rändajad mägedes. Praktiliselt võib ütelda, 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 õhu rõhumine harilikult kõrge, vihmase ilmaga — madal. Siin on põhjuseks nn. a n t i t s ü k l o n i d (kõrgerõhuala) ja t s ü k l o n i d (madalarõhuala), mis liiguvad kaunis püsivate õhkkonna moodustustena mööda maad edasi ja toovad teatud ilma enesega kaasa. Õhu rõhumise muutumise põhjal, ühtlasi arvesse võttes kõiki teisi andmeid, nagu pilvitust, tuule sihti 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. Palju näitab sama baromeeter, kui teda vette asetada nõnda, et elavhõbeda alumine nivoo on veepinnast 1 m allpool?

2. Palju peaks baromeeter S.-Munamäe otsas (324 m) vähem näitama kui merepinnal (Pärnus)?

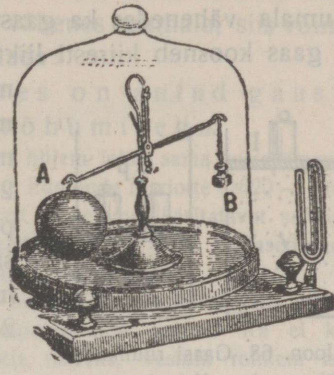
3. Mispärast õhu rõhumine õõnsaid asju (pudelid, klaasid jne) ära ei purusta? Kuidas suudab inimene tema kehale mõjuvat õhu rõhumist ületada?

63. Arhimedese seadus gaaside kohta. Arhimedese seadus vedelikkude kohta järgneb Pascali seadusest ja vedelikkude raskusest. Et samad tingimused ka gaaside suhtes täidetud, siis peab Arhimedese seadus ka gaaside kohta maksev olema, s. o: i g a g a a s i a s e t a t u d k e h a k a o t a b o m a k a a l u s t n i i p a l j u, k u i p a l j u k a a l u b g a a s s e l l e k e h a r u u m a l a s u u r u s e s.

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

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

Järeldusena Arhimedese seadusest gaaside kohta võime ütelda (nagu ujumise juures vedelikkudes): 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 juures võrdsed, siis püsib keha selles gaasis tasakaalus. Sellel gaaside omadusel põhjeneb õhupallide (aerostaat) ja õhulaevade (zeppelin) ehitus. Kergest tugevast materjalist (alumiinium, siid jne.) tehtud suured õõnsad kehad (joon. 67) täidetakse gaasiga, mis õhust kergem ja sellepärast õhus üles tõuseb, nagu vesinik (erikaal $0{,}09\frac{kg}{m^3}$), valgustusgaas (erikaal $0{,}75\frac{kg}{m^3}$) jne. Õhupallide ülesleidjad vennaksed Montgolfier (a. 1783) tarvitasid selleks kuuma õhku.



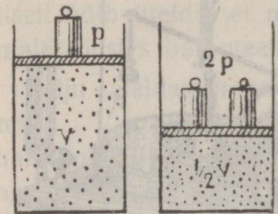
Joon. 66. Baroskoop.


Joon. 67. Aerostaat.

1. Mispärast seebimullid õhus vahest üles tõusevad, vahest aga alla langevad?
2. Kõige harilikumaks õhupallide täiteaineks on tema kättesaadavuse tõttu valgustusgaas. Mitu m³ valgustusgaasi kulub vähemalt õhupalli täiteks, mis 3 inimest (à 75 kg) üles tõstaks, kui õhupall ise kaalub 100 kg?
3. Palju kaalub sinu keha õhus vähem kui tühjas ruumis?
4. Kas on rahva naljal „kumb raskem: kas nael tina või nael villu" mingisugust füüsikalist alust?

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

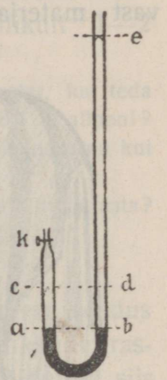
Et gaasi rõhumine tasakaalustab välisrõhumise, siis suureneb ruumala vähenedes ka gaasi enese rõhumine. Kujutluse põhjal, et gaas koosneb kiiresti liikuvatest molekulidest, on gaasi rõhumine molekulide alalise „pommitamise“ (põrgete) tagajärg. Sellest järgneb, et ruumala vähenedes näiteks 2 korda, molekulide anuma seina pommitamine (põrgete arv) 2 korda sagedamaks läheb (seleta ligemalt, mispärast), s. o. rõhumine suureneb 2 korda (joon. 68).



Joon. 68. Gaasi ruumala vähenemine rõhumise suurenedes.

Täpsema olenevuse antud gaasi hulga ruumala ja temale vastava rõhumise vahel leidis kõige esiti iirlane Robert Boyle (1626—1691).

Kõverasse torusse, kui kraan K lahti, valame elavhõbedat kuni nivooni a b (joon. 69). Keerame kraani kinni, sellega eraldame torus ac teatud hulga õhku, mille rõhumine võrdub välisõhu rõhumisega. Lahtises torus elavhõbedat juure valades suurendame eraldatud õhu rõhumist nii kaua, kui tema ruumala endisega võrreldes 2 korda vähemaks läheb. 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 (õhu rõhumine + elavhõbeda samba oma).



Joon. 69. Boyle'i katse.

Et gaasi ruumala ka temperatuurist oleneb, tuleb kogu katse jooksul temperatuur jätta muutmatuks.

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

J ä ä v a t e m p e r a t u u r i j u u r e s o n a n t u d g a a s i h u l g a r õ h u m i n e (**p**) p ö ö r d v õ r d e l i n e r u u m a l a g a (**v**), s. o.

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

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

J ä ä v a t e m p e r a t u u r i j u u r e s o n a n t u d g a a s i h u l g a t i h e d u s v õ r d e l i n e r õ h u m i s e g a.

Boyle'ist täiesti lahus, kuid vähe (17 aastat) hiljem leidis sama korrapärasuse gaaside ruumala ja rôhumise vahel ka prantslane Edmonde Mariotte (1620—1684), kes oli ameti poolest kloostri ülem. Sellepärast nimetame käsitatavat seadust môlema teadusemehe auks Boyle-Mariotte'i seaduseks, ehk küll inglased seda nimetavad ainult Boyle'i ja prantslased Mariotte'i seaduseks.

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

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

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

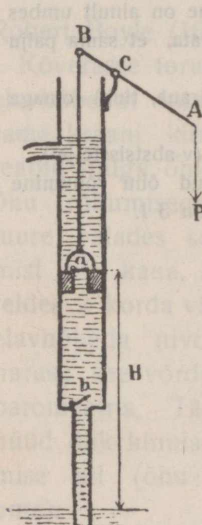
3. Missuguse rõhumise juures oleks ôhu tihedus vee (raua, tina) omaga ühesugune?

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

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

Mõned gaaside omadustel põhjenevad riistad

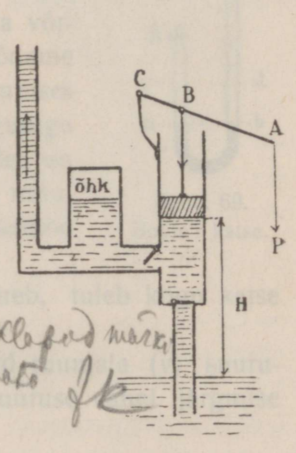
65. Veepumbad. a) I m e j a p u m b a ehitus ja töötamine selgub joonisest 70. Sarnasena on teda inimsugu juba üle 2000 aasta tarvitanud. Tuleb tähele panna, et klapid võivad lahti käia ainult vee liikumise sihis.



Joon. 70. Imejapump.

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

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



Joon. 71. Surujapump.

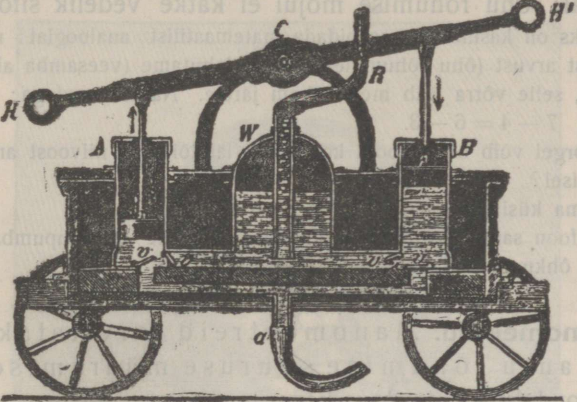
1. Kui kõrgele veepinnast võiks panna teoreetiliselt veepumba ülemine ~~kann~~? Klapp

Vasta sama küsimus elavhõbeda ja petrooleumi kohta?

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

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

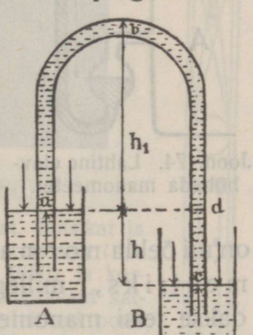
4. Millest see tuleb, et üks pump on teisest palju raskem?



Joon. 72. Tuletôrje prits.

5. Seleta, mis tähtsus on pumba raual ja kuidas môôta pumpamisel tehtud töö hulka. Mitu korda võidame tungi suuruse ja kaotame tee pikkuse poolest joon. 70 ja 71 kujutatud pumbaga töötamisel?

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



Joon. 73. Sifoon.

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

Vedeliku voolu sifooni torus võib võrrelda nööri liikumisega ploki rattal; õhu rõhumise mõjul ei katke vedelik sifooni torus.

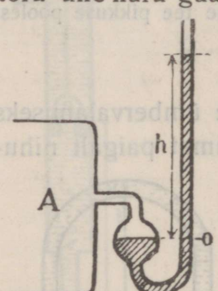
Selgituseks on kasulik silmas pidada matemaatilist analoogiat: nii palju kui meie samast arvust (õhu rõhumine) rohkem lahutame (veesamba ab ja bc kõrguste vahe), selle võrra jääb meil vähem järele. Näide arvudega: $10 - 4 = 6$; $10 - 7 = 3$; $7 - 4 = 6 - 3$.

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

Vasta sama küsimus elavhõbeda ja piirituse suhtes.

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

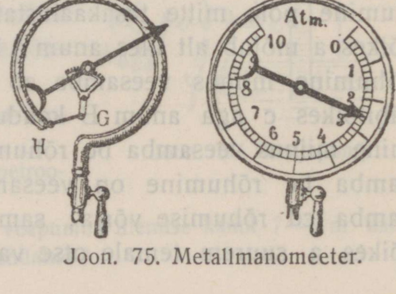
67. Manomeetrid. M a n o m e e t r e i d t a r v i t a t a k s e g a a s i d e j a a u r u r õ h u m i s e s u u r u s e m ä ä r a m i s e k s. Lihtsam neist on lahtiste otsadega kõver toru veega, ehk nn. v e s i m a n o m e e t e r, nagu §§ 39 ja 56 nägime. Tahame tema abil määrata näiteks valgustusgaasi 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.



Joon. 74. Lahtine elavhõbeda manomeeter.

Suuremate rõhumiste mõõtmisel on kasulik tarvitada lahtises manomeetris vee, petrooleumi jne. asemel raskemat vedelikku, nimelt elavhõbedat. Ka tehakse siis harilikult toru ühe haru asemel jämedam reservuaar, et 0-punkt jääks ligikaudu muutmatuks (joon. 74). Elavhõbedamanomeeter on nii õelda n o r m a a l m a n o m e e t r i k s, millega võrreldakse teisi manomeetreid.

Tööstuses tarvitatakse harilikult metallmanomeetreid (joon. 75). Nende ehitamine põhjeneb õhukeste seintega kõveraks käänatud metalltorukeste



Joon. 75. Metallmanomeeter.

Skeeti ei ole skaalaga kaaskõlas VS.

Otto von Guericke (1602—1686).

Noorena õppis mitmes ülikoolis õigusteadust, füüsikat ja matemaatikat. Pärast Magdeburgi linna bürgermeister (linnapää). Leidis üles õhu hõrenduspumba (a. 1650) ja korraldas õhu rõhumise demonstreerimiseks rea huvitavaid katseid, millest väga tuntud on katse nn. Magdeburgi poolkeradega (vaata joon. 58). Ehitas elektri hõõrumismasina (pöörlev väävli kera) ja näitas esimesena, et samanimelised elektri laengud tungivad teineteisest eemale.

omadusel korrapäraselt oma kuju muuta (deformeeruda), kui muutub rõhumine nende sees. Rõhumise suurenedes läheb toru vähe õigemaks, sest välispind on suurem ja selle tõttu rõhumine välispinnale tugevam; rõhumise vähenedes sünnib vastupidine nähtus. Kangikeste abil tehakse toru otsa nihkumised nähtavaks rao liikumiseks astmikul. Muidugi sünnib metallmanomeetri kaliibrimine mõne teise nn. normaalmanomeetri abil.

1. Leia gaasi rôhumine $\left(\frac{g}{cm^2}\right)$ linna vôrgus, kui 754 mm-lise ôhu rõhumise juures vesimanomeetri nivoode vahe oli 4,5 cm.

2. Nimeta petrooleumimanomeetri hääd küljed vôrreldes vesimanomeetriga (soovitav tarvitada radix alcannae abil punaseks värvitud petrooleumi).

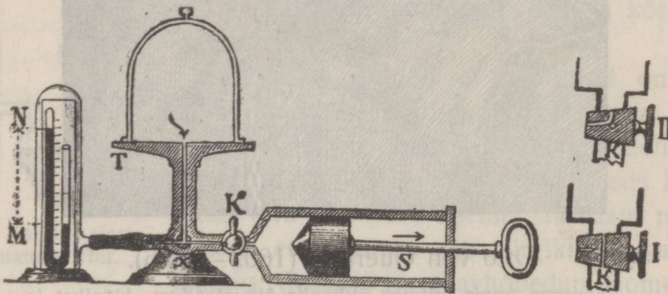
3. Mitu korda on elavhôbedamanomeeter petrooleumimanomeetrist tundlikum?

4. Kui kôrge elavhôbeda sammas annab rôhumise 10 tehn. atmosfääri?

5. Varem môôdeti rôhumist harilikult $\frac{nael}{toll^2}$-des. Mitu tehn. atmosfääri on 120 $\frac{nael}{toll^2}$-i?

68. Õhu hõrenduspump.

Hôrenduspumba abil hôrendame õhku antud ruumis. Tema tegevus selgub joon. 76 kujutatud skeemist. Kuppel, millest ôhku hôrendame, lasub lihvitud taldrikul T ja on ühendatud toruga kraani K kaudu silindriga S. Silindris liigub edasi-tagasi umbne kann. Kraanis K on tehtud kaks auku: esimene ühendab kuplit silindriga (seis I), teine, tarvi-

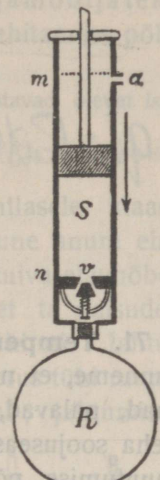


Joon. 76. Ôhu hôrenduspump.

liselt pöörates, silindrit välisôhuga. Pumpamine (hõrendamine) sünnib järgmiselt: avame kraani (seis I) ja tômbame kanni väljapoole niipalju kui vôimalik. Nüüd tungib õhk paisudes kupli kanni taga olevasse ruumi, kuplis hôredamaks jäädes. Kääname kraani kinni (seis II) ja lükkame kanni teise otsa tagasi. Sellega surume kôik ôhu silindrist välja. Pöörame uuesti kraani seisu I ja tômbame kanni välja, sellega uuesti ôhku kuplis hôrendades jne. Iga väljatômbega muutub ôhk kuplis hôredamaks. Sedaviisi kanni edasi-tagasi liigutades vôime viia õhu kuplis tarvilise hôreduseni, kuid õhust täitsa tühjaks teha kuplit meie ei saa.

Et hôrenduse määra üle otsustada, ühendatakse kuppel sifoonbaromeetriga. Elavhôbeda nivoode vahe näitab ôhu hôrenduse määra kuplis.

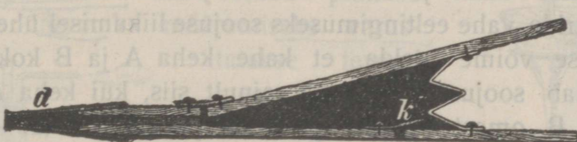
Ôhu hôrenduspumba ülesleidja oli Magdeburgi bürgermeister Otto von Guericke umbes a. 1650. Praegusel ajal on tarvitusel mitmel teisel viisil ehitatud ôhupumbad, mis annavad sagedasti palju kiiremini tarvilise hôrenduse.



Joon. 77. Ôhu surujapump.

69. Õhu surujapump. Tahame õhku mônda kinnisesse anumasse rohkem koguda, kui see hariliku rôhumise juures iseenesest sünnib, näit. jalgratta kummide täitmine, ôhupost jne., siis tarvitame selleks ôhu surujatpumpa. Tema ehitus selgub joon. 77. Silindris S liigub tihedalt umbne kann. Silindri alumises osas on allapoole lahti käib klapp (ventiil) v. Kanni varre abil alla lükates surume silindris oleva ôhu klapi vahelt läbi anumasse R. Klapp käib vedru abil kinni. Tõmbame kanni ülemisse otsa, siis tungib õhk läbi augu a uuesti silindrisse.

70. Lõõts. Lôôts pole muud midagi kui ôhu surujapump. Teda tarvitatakse tugeva õhuvoolu saamiseks sepapajas, mesilas jne. Lôôts (joon. 78) seisab koos kahest



Joon. 78. Lôôts.

liikuvast lauast, mis külje päält nahaga ühendatud. Torust d voolab ôhk välja; klapi k kaudu, mis sissepoole avatud, tungib ôhk lôôtsa sisse. Laudu laiali tômmates avaneb klapp ja lõõts läheb ôhku täis; laudade kokkulükkamisel läheb klapp kinni ja ôhk surutakse torust välja.

Soojus

Temperatuuri mõõtmine

71. Temperatuur ja soojus. Ümberolevaid asju katsudes tunneme, et nad on oma s o o j u s e a s t m e poolest kas kuumad, palavad, soojad, leiged, jahedad või külmad. Nimetame keha soojuseastme tema t e m p e r a t u u r i k s ja temperatuuri muutumise põhjuse s o o j u s e k s. Kuuma ahju ääres seistes tunneme, et ahjust soojust meie kehasse juure tuleb ja meil hakkab soe; jahedas toas olles kaotame oma kehast soojust ümberolevasse õhku ja meil hakkab jahe. Nii on siis kehade temperatuuride vahe eeltingimuseks soojuse liikumisel ühest kehast teise. Üldse võime ütelda, 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 piirides võime ligikaudu kehade temperatuuri üle otsustada otsekohese kokkupuutumise, kompamise abil, näiteks käega katsudes.

Sagedasti võime aga temperatuuri määramisel keha otsekohese 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 temperatuuri meele pääle ühte-

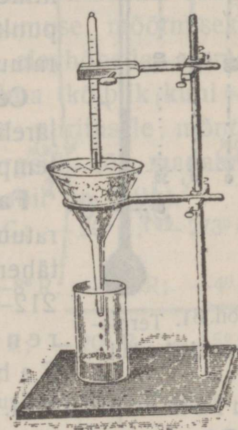
2. fundamentaalne, põhi-

viisi „põletavalt“, tekitades valu. Täpsemaks temperatuuri määramiseks tarvitatakse sellekohaseid riistu, mida soojamõõtjateks ehk termomeetriteks nimetatakse. Nende ehitamine põhjeneb kehade omadusel paisuda soendamise mõjul.

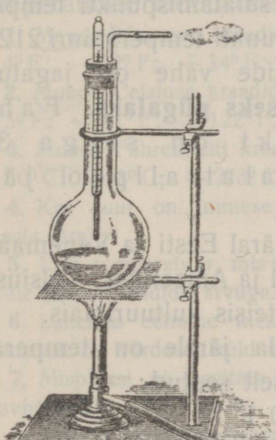
Too näiteid, kus sama temperatuuriga kehad katsudes paistavad olevat isesuguse temperatuuriga.

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 nõnda, et ta paisudes toru kuni lõpuni täidaks, ja sulatatakse toru ots kinni. Jahtumisel kokku tõmbudes, jääb elavhõbeda asemele torus tühi ruum. Soendamisel paisub elavhõbe ja ta sammas pikeneb; jahtumisel sünnib vastupidine nähtus. Tähendab, elavhõbeda samba pikkus termomeetri torus on temperatuuriga seotud ja suureneb temperatuuri suurenemisega. Temperatuuri suuruse ja elavhõbeda samba pikkuse olenevuse ligemaks määramiseks varustatakse termomeeterskaala ehk astmikuga, mis järgmiselt sünnib.

Võtame termomeetri ja asetame ta sulavasse jäässe (joon. 79). Niikaua kui jää sulab, seisab elavhõbe termomeetri torus samal kõrgusel. Sellest järeldame, et jää sulamise temperatuur on jääv. Märgime elavhõbeda samba otsa seisukoha kriipsuga. See on termomeetri üks **jääv punkt** ja nimetatakse **jää sulamispunktiks.** Nüüd võtame termomeetri ja asetame tema keevavee aurusse (joon. 80). Elavhõbe tõuseb kõrgemale ja



Joon. 79. Termomeetri nullpunkti määramine.

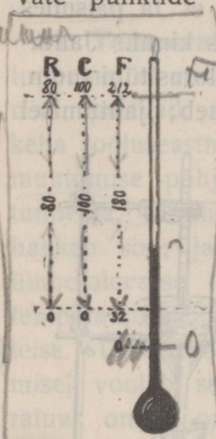


Joon. 80. Termomeetri keemispunkti määramine.

jääb viimaks seisma seni kauaks kui vesi keeb, tähendab, ka vee keemistemperatuur on jääv. See on termomeetri **teine jääv punkt** ja nimetatakse **vee keemispunktiks**. Jäävate punktide vahe jagatakse võrdseteks osadeks. Selle järele, mitmeks võrdseks osaks meie jagame keemis- ja sulamispunktide vahe, saame mitmesugused termomeetri skaalad ehk astmikud.

Kuidas muutuks temperatuuri muutudes vedeliku samba kôrgus termomeetri torus sel juhusel, kui toru aine paisuks vedelikust rohkem?

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



Joon. 81. Termomeetri skaalad.

Réaumur jagas jäävate punktide vahe **80 võrdseks osaks**, mida **kraadideks** ehk **pügalateks** (°) nimetatakse. Réaumuri järele on jää sulamispunkti temperatuur 0°, vee keemispunkti temperatuur 80° (joon. 81).

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

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

Réaumuri skaalat tarvitatakse suurel määral Eesti ja Venemaal, Fahrenheit'i oma Inglismaal, tema asumail ja Ameerikas, Celsiuse skaalat teaduslikes töis ja suuremas osas teisis kultuurimais.

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

$$80\ R = 100\ C = 180\ F$$

tähendab

$$4\ R = 5\ C = 9\ F$$

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

Näiteks: $20^0\,R = \left(\frac{20 \cdot 5}{4}\right)^0 C = 25^0\,C$; $15^0\,C = \left(\frac{15 \cdot 4}{5}\right)^0 R = 12^0\,R$;

2-kõrge-gaastermomeetri
kõrgemad-taki) tästermomeetri
kõrgemad - õpt. bst. termom.

4 Mis nii - ja maks. ...

$$16^0 R = \left(\frac{16 \cdot 9}{4} + 32\right)^0 F = 68^0 F; -13^0 F = -\left(\frac{(13+32) \cdot 5}{9}\right)^0 C = -25^0 C;$$

$$95^0 F = \left(\frac{(95-32) \cdot 4}{9}\right)^0 R = 28^0 R \text{ jne.}$$

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

Teaduslikkudes töödes võetakse sagedasti temperatuuri mõõtmisel nullpunktiks nn. **absoluutne null**, mis on 273° C pügalat allpool jää sulamistemperatuuri. Absoluutsest nullist temperatuuri mõõtes väljenduvad kõik temperatuurid absoluutsete arvudega, sest temperatuuri, mis oleks abs. nullist madalamal, ~~meie ei tunne~~ Madal 1 (vaata § 90).

Elavhõbe külmab kõvaks — 39° C juures ja keeb + 357° C juures, sellepärast ei saa tarvitada elavhõbedatermomeetrit kange külma (näiteks Põhja-Siberis) ega kõrge kuumuse mõõtmiseks. Madala temperatuuri mõõtmisel tarvitatakse elavhõbeda asemel piiritust, mis mitte nii kergesti kõvaks ei külma (kõlblik kuni — 60° C). Et kergemini näha oleks, lisatakse piiritusele mõnda sinist või punast värvainet juure. Väga Väga kõrgeid meid või madalaid mad temperatuure mõõdetakse **gaastermomeetri** abil 2 (v. § 91). 4 Väg

3 **1.** Muuda Réaumuri kraadideks: + 30° C; + 22,5° C; — 20° C; — 273° C; — 4° F; — 22° F; + 14° F; + 50° F; + 221° F.

3 **2.** Muuda Celsiuse kraadideks: +24° R; +30° R; —8° R; — 75° R; —4° F; + 5° F; + 41° F; + 122° F.

3 **3.** Muuda Fahrenheiti kraadideks: + 32° R; — 6° R; — 20° R; — 15° C; + 50° C; — 8° C; — 273° C.

3 **4.** Kui suur on inimese keha normaaltemperatuur (+ 98,4° F) R ja C skaala järele?

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

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

7. Mispärast ei tarvitata termomeetri vedelikuna vett, vaid enamalt jaolt elavhõbedat?

3 **8.** Vedela õhu temperatuur on — 180° C. Palju see on R ja F järele?

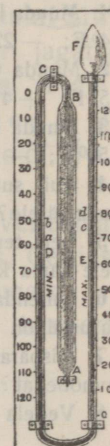
75. Termomeetri ajalugu. Esimese termomeetri (termoskoobi) ehitas kuulus Galilei, Padua ülikooli professor Itaalias a. 1492. Galilei termomeetri ehitus on väga lihtne, nagu joon. 82 selgub. Reservuaariga varustatud pikk toru on otsapidi vette pistetud. Temperatuuri langedes tõmbab õhk ennast kokku ja vesi torus tôuseb kôrgemale, temperatuuri tôustes ümberpöördult. Kuid selle riistaga on vôimalik näidata temperatuuri muutumist ainult väikestes piirides ja vähese täpsusega. Päälegi näitab ta ühtlasi ka ôhu rôhumise muutumist.

Joon. 82. Galilei termomeeter.

Jäävateks punktideks olid esialgu Toskana kôige madalam talve ja kõige kõrgem suve temperatuur (päikese paistel). XVII aastasaja lõpul leiti üles, et jää sulamis- ja vee keemistemperatuur on jääv (Rinaldini, Hooke, Boyle). Newton (1643—1727) tarvitas termomeetri toru täitmiseks linaôli ja vôttis jäävateks punktideks jää sulamis- ning inimese keha temperatuuri. Esimese elavhôbedatermomeetri ehitas Daniel Fahrenheit (1686—1736), klaasipuhuja Amsterdamis. Fahrenheit võttis skaala pügalateks jagamise aluseks 3 jäävat punkti: kôige madalam tolleaja kunstlik temperatuur (0° F), jää sulamistemperatuur (32° F) ja inimese keha soojus (96° F). Aastal 1730 soovitas Réaumur, zooloogia professor Pariisis, võtta jäävateks punktideks 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 vôrdseks osaks. Kümnendsüsteemile vastavuse tôttu on see jaotus leidnud kõige laialdasemat tarvitamist. Gaastermomeeter võeti tarvitusele 19. aastasaja keskpaigas.

76. Maksimum- ja miinimumtermomeeter.

Kôige kôrgema ja madalama temperatuuri märkimiseks teatud aja, näiteks ööpäeva, jooksul tarvitatakse nn. maksimum- ja miinimumtermomeetreid. Joon. 83 on kujutatud Six'i maksimum- ja miinimumtermomeeter. Reservuaar AB ja toru osad BCD ning EF on täidetud alkoholiga, toru osa DE aga elavhôbedaga. Mõlemal pool torus elavhôbedasamba otsas on väikesed rauast näitajad ab ja cd, mis vähese hôôrumisega torus edasi-tagasi liiguvad. Elavhôbeda rôhumine lükkab näitaja torus edasi, hôôrumine aga takistab näitajal omalt kohalt ära nihkuda kas raskuse vôi mônel teisel pôhjusel.


Joon. 83. Six'i maksimumtermomeeter.

Magnetiga seatakse vaatluse algul näitajad elavhõbeda samba otsa. Oletame, et temperatuur tôuseb, siis paisub alkohol anumas AB ja lükkab elavhôbedasamba DE ühes näitajaga cd paremas torus kôrgemale. Elavhôbedasamba otsas olev alkohol kogub reservuaari F. Kui temperatuur langema hakkab, langeb paremas torus ka elavhôbeda sammas, jättes näitaja cd sinna, kus ta oli kôige kôrgema temperatuuri juures (joonisel ~ 75°). Skaala on tehtud nônda, et näitaja alumine ots (c) näitab otsitavat kôige kôrgemat temperatuuri. — Kôige madalama temperatuuri juures on pahempoolses torus elavhôbeda sammas kôige kôrgemal ja näitaja ab ots a näitab kôige madalamat temperatuuri.

Inimese kehasoojuse môôtmiseks tarvitatava maksimumter-

3. Tuigerdamises
4. kinet. ene – tajutav soojus
pot. – varjatud

momeetri toruke on reservuaari juures ôige peenike ja kôveraks käänatud, nii et elavhôbe paisudes küll tôuseb, jahtudes aga iseenesest mitte alla ei lange, vaid katkeb ja endises kôrguses torukeses peatuma jääb. Ainult tugevasti raputades langeb elavhôbe uuesti alla. — Inimese keha normaaltemperatuur on umbes $+ 37^{0}$ C.

77. Soojus molekulaarhüpoteesi põhjal. Molekulaarhüpoteesi põhjal on iga keha aine molekulid alalises liikumises, mille kiirusest oleneb keha temperatuur. Gaasi molekulid vôrreldes vedelikkude ja kõvade kehadega on väga hôredalt ruumis, sellepärast kohäsioontungid ei avalda peaaegu mingisugust môju ja kogu soojuse juurevool gaasis muutub molekulide kineetiliseks (liikumise) energiaks.

Kôva ja vedela keha molekulid on tugevasti seotud kohäsioontungidega, ei saa sellepärast vabalt liikuda nagu gaasi molekulid. Kuid ka nemadki on alalises vônkliikumises oma keskmise seisukoha ümber. Temperatuuri tôustes läheb kôva ja vedela keha molekulide vônkliikumine tugevamaks (amplituud suureneb), s. o. molekulide liikumise energia suureneb. Pääle liikumise energia on kôva ja vedela keha molekulidel nende suure läheduse tôttu ka potensiaal energiat (kohäsioontungide môju). Nähtavasti suureneb temperatuuri tôustes ka molekulide potentsiaalenergia. Missugune osa soojusest kôva ja vedela keha molekulide kineetilise, missugune osa potensiaalse energia kuju omandab ei ole teada.

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

Molekulide liikumisest rääkides peab silmas pidama, et see on täiesti korraldamatu (kaootiline) liikumine oma sihi kui ka suuruse poolest: üks molekul liigub ühes, teine teises sihis, ka sama molekul võib igal momendil ise sihis liikuda; kiiruse suurused lähevad teineteisest lahku ja võib rääkida ainult antud temperatuurile vastavast molekulide keskmisest kiirusest.

Kehade paisumine soendamisel

Kõvade kehade paisumine

78. Paisumisest üldse. Igapäevase elu tähelepanekutest teame, et kõigil kehadel, olgu nad kõvad, vedelad või gaasid, on ühine omadus soendamisel paisuda, jahtumisel aga kokku tõmbuda. Näited: raudteerööpad päikese paistel, vesi kohvimasinas, petrooleum pudelis, õhk põies ning kummipallis kuuma ahju ääres jne.

Too veel näiteid kehade paisumise kohta.

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

Kõvade kehade juures võime kõiki kolme paisumise liiki tähele panna, kuna vedelikkude ja gaaside juures võib rääkida ainult ruumpaisumisest.

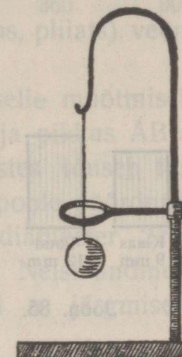
Kui näiteks elavhõbeda sammas termomeetri torus pikeneb, siis ei saa siin veel rääkida elavhõbeda joonpaisumisest, vaid ikkagi ruumpaisumisest. Ruumala suurenedes tungib elavhõbe osakeste liikuvuse tõttu sinna, kus on vaba ruumi. Et ruumala suurenemine võib sündida ainult samba pikenemise arvel, siis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

Molekulaarhüpoteesi põhjal hakkavad keha molekulid temperatuuri tõusmisel laiemalt (suurema kiiruse ja amplituudiga) liikuma, 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 lähevad lõhki. Mispärast?
6. Klaasanumad lõhkevad sagedasti kuuma vee sisse kallamisel. Mispärast?

79. Kõvade kehade joonpaisumise koeffitsient. Katsed näitavad, et kõik kehad ei paisu temperatuuri tõusmisel ühte viisi. 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 üldse peaaegu märgata ei ole.

Kõva keha ei paisu mitte ainult ühes, vaid *igas sihis.* Seda näitab meile lihtne katse metallkerakesega (joon. 84), mis harilikus temperatuuris igas sihis rõngast vabalt läbi läheb, kuumaks aetuna mitte; ära jahtudes või rõnga soojenedes aga jällegi rõngast läbi läheb.



Joon. 84. Metallkera paisub soendamisel igas sihis.

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

Katse näitab, et keha pikeneb (ligikaudu) sama palju soendamisel sama kraadide arvu võrra, s. o *keha pikenemine on võrdeline temperatuuri juurekasvuga.* 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.

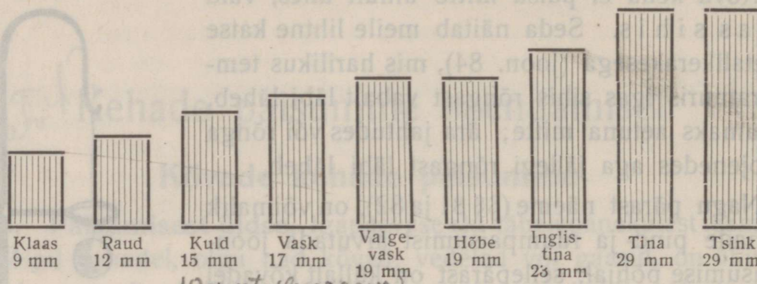
Keha pikenemise suurus oleneb keha esialgsest pikkusest, temperatuuri juurekasvust ja ainest. Antud aine joonpaisumise karakteriseerimiseks on võetud tarvitusele nn. joonpaisumise koeffitsient. *Nimetame aine joonpaisumise koeffitsiendiks* (α) *arvu, mis näitab, kui suure osa omast pikkusest* (0^0C *juures*) *pikeneb sellest ainest keha soendamisel* 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, 1cm pikkune varb vastavalt 0,000017 cm jne.

Meile tuntud kehade võrdlevat joonpaisumist näitab (joon. 85), kus on üles tähendatud 10-meetrilise varva pikkuse ~~juuretulek~~ Kas soendamisel 100^0 C võrra.

Täpsed mõõtmised näitavad, et kehade pikenemine soendamisel 1^0 C võrra ei ole mitte iga temperatuuri juures ühesugune. Et aga kitsamas temperatuuride vahemikus (0^0—100^0) on vahed väga väikesed, siis võime lihtsuse otstarbel joonpaisumise koeffitsiendi määramisel t e g e l i k u l t mitte arvestada esialgset temperatuuri, millest paisumine algas.

Selles môttes vôime defineerida lihtsamalt j o o n p a i s u m i s e k o e f f i t-

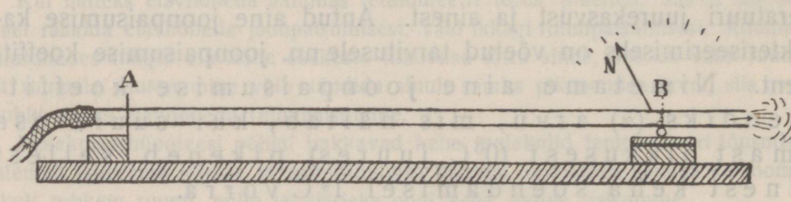


Joon. 85. ~~Kehade~~ 10-meetriste varva vôrdlev paisumine soendamisel 100^0 vôrra.

s i e n t i k u i a r v u, m i s n ä i t a b k u i s u u r e o s a o m a s t p i k k u s e s t p a i s u b s e l l e s t a i n e s t k e h a s o e n d a m i s e l 1^0 C v ô r r a.

T a b e l i t e s antakse harilikult k e s k m i s e d j o o n p a i s u m i s e k o e f f i t s i e n d i d, mis on õiged kitsamas temperatuuride vahemikus (0^0-100^0).

80. Joonpaisumise koeffitsiendi määramine. Teeme joonpaisumise koeffitsiendi määramiseks järgmise katse (joon. 86). Olgu valgest vasest toru kinnitatud otsast A alusele,



Joon. 86. Joonpaisumise koeffitsiendi määramine.

ots B aga lasub vabalt peenikesel metallvardal (sukavarras, nõel), mille külge on kinnitatud näitaja N (õlekõrreke). Et soojuse kaotus vähem oleks, on toru vildiga ümber mähitud. Toru, soendamise mõjul pikenedes, paneb varda veerema (soovitav varda alus klaasist teha) ja näitaja pöördub paremale poole. Näitaja pöördumisnurga (φ) ja varda raadiuse (r) põhjal on võimalik toru pikenemist arvutada. Kui näitaja pöördub nurk φ^0 võrra, siis nihkub toru ja varda puutumispunkt edasi kaare

Iga ?

$\frac{2\pi r\varphi}{360}$ võrra, sama palju nihkub edasi ka varda tsenter, järelikult võrdub toru AB kogu pikenemine **kahekordse** toru ja varda puutumispunkti edasinihkumise suurusega, s. o. $2 . \frac{2\pi r\varphi}{360}$ 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 torusse panna) ja pikkus AB $= l_1 = 105$ cm. Keeva vee auru torust läbi lastes tõuseb toru temperatuur ja näitaja hakkab kiiresti paremale poole pöörduma. Olgu toru lõpptemperatuur $t_2 = 99{,}2^0$, varda diameeter $2r = 1{,}5$ mm ja näitaja pöördumisnurk $\varphi = 64^0$. Neist andmeist arvutame valgevase joonpaisumise koeffitsiendi α järgmiselt: definitsiooni põhjal on

$$\alpha = \frac{\text{pikkuse juurekasv}}{\text{temperatuuri juurekasv . algpikkus}}$$

ehk, tähistades lõpppikkuse l_2-ga, lühidalt

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

Pikkuse juurekasv $l_2 - l_1 = \frac{\pi r\varphi}{90}$ mm $= \frac{\pi r\varphi}{90 . 10}$ cm $= \frac{\pi . 1{,}5 . 64}{90 . 10 . 2}$ cm ja

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

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

Nii näiteks:

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

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

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

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

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

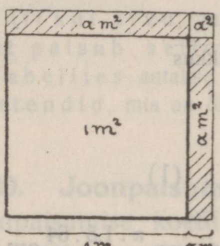
4. Palju pikeneb Tartu ja Tallinna vaheline telegraafitraat (191 km, raud) temp. tôusmisel 10^0 vôrra?

5. Palju suureneb (μ) kuldsôrmuse avaus soendamisel 30^0 võrra, kui sôrmuse läbimôôt on 2 cm?

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

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

Olgu näiteks joon. 87 kujutatud kuubi üks tahk, mille serva pikkus antud temperatuuri juures on 1 m ja pindala 1 m². Kuubi soendamisel 1^0 C vôrra pikeneb iga serv α m vôrra ning iga tahu pindala on siis $(1+\alpha)^2$ ehk $(1+2\alpha+\alpha^2)$m². Sellega suurenes ruudu pindala $(2\alpha+\alpha^2)$m² vôrra (joonisel viirutatud osa). Et α^2 on väga väike arv, siis vôime tegelikult ruudu pindala suurenemisel ainult 2α arvestada, mis näitabki kui suure osa oma pindalast saab kuubi iga tahk juure soendamisel 1^0 C vôrra; tähendab, kuubi pindpaisumise koeffitsient $\beta = 2\alpha$, s. o. *pindpaisumise koeffitsient vôrdub kahekordse joonpaisumise koeffitsiendiga.*



Joon. 87. Ruudu pindpaisumine.

1. Klassi akna klaaside pindala (üks pool) on 2 m². Palju suureneb klaasi pindala temperatuuri tõusmisel 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 cm² vôrra suureneb selle tahvli pind tema soendamisel 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 suurenedes 0^0-st kuni 200^0-ni 1 dm² vôrra. Leia selle kera läbimôôt.

82. Ruumpaisumise koeffitsient. Soendamisel paisub keha igas sihis, järelikult suurenevad võrdeliselt kõik keha mõõted, sellega siis ka ruumala. *Nimetame keha ruumpaisumise koeffitsiendiks* (γ) *arvu, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast* (0^0 C *juures*) *saab keha juure soendamisel* 1^0 C *võrra.* Olgu kuubi serva pikkus (joon. 87) 1 m; soendamisel 1^0 C võrra muutub serv $(1+\alpha)$ m pikaks ja kuubi ruumala suureneb selle juures $(1+\alpha)^3-1$, 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 suuruse poolest väga väikesed, võime kuupmeetri ruumala suurenemisel tegelikult arvestada ainult 3α, mis näitab, kui suure osa oma ruumalast saab kuupmeeter juure soendamisel 1^0C võrra. Tähendab ruumpaisumise koeffitsient $\gamma=3\alpha$.

Et pind- ja ruumpaisumise koeffitsiendid kergesti joonpaisumise koeffitsiendi abil väljenduvad, siis antakse tabelites kõvade kehade jaoks ainult joonpaisumise 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 tôusmisel t^0 vôrra muutub iga cm^3 $(1+\gamma t)$ kuupsentimeetriks, kuna kaal endiseks (e_0) jääb. Sellega oleks siis t^0 juures keha erikaal $e_t=\frac{e_0}{1+\gamma t}$. Siit näeme, et temperatuuri tôusmisel keha erikaal, samuti ka tihedus, väheneb, temperatuuri langemisel aga suureneb. Saadud valemi abil on kerge erikaalu ühe temperatuuri juurest teise juure ümber arvutada.

Tabelites 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. Palju paisub (mm^3) soenedes 300^0 võrra raudkuup, mille serva pikkus on 5 cm?

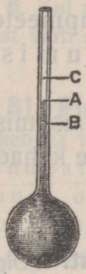
3. Keedupudeli ruumala 15^0 juures on 500 cm^3. Leia selle keedupudeli ruumala 0^0 juures.

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 6,1 m. Leia selle varva ruumala 0^0 juures, kui tema ruumala 130^0 juures on 500 cm^3?

Vedelikkude paisumine

84. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine. Vedelikkudel puudub kindel kuju, sellepärast võib rääkida ainult vedelikkude ruumpaisumisest samas mõttes, kui seda kõvade kehade juures tegime.



Joon. 88. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine.

Olgu peenikese toruga varustatud anum täidetud vedelikuga kriipsuni A (joon. 88). Oletame, et soendame esiti ainult anumat, ilma et soojus vedelikule edasi anduks. Soendamise mõjul paisub anum, tema mahtuvus suureneb ja vedelik langeb kriipsuni B. Toru ruumala AB mõõdab anuma mahtuvuse juurekasvu. Nüüd oletame, et ka vedelik anuma temperatuurini soeneb. Selle tõttu tõuseb vedelik torus kriipsuni C (vedelik paisub rohkem kui kõva keha). Toru ruumala BC mõõdab vedeliku ruumala juurekasvu. Tõepoolest sünnib anuma kui ka vedeliku paisumine enamvähem kõrvuti ja meie võime kindlasti tähele panna ainult mõlema paisumise mõjul tekkinud muudatust — vedeliku näivat paisumist, mis mõõtub toru ruumalaga AC. Nagu joon. 88 näha, on $BC = AB + AC$, s. o. vedeliku

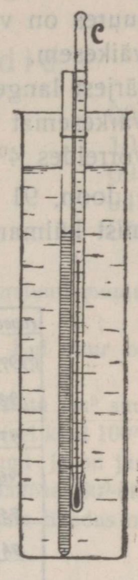
$$\text{tõeline paisumine} = \text{näiv pais.} + \text{anuma paisumine.}$$

Sama side maksab ka vedeliku tõelise ja näiva paisumise koeffitsientide vahel. Teades anuma kui kõva keha paisumise koeffitsiendi võime leida saadud sideme põhjal vedeliku näiva pais. koeff. abil tõelise koeffitsiendi.

Katse näitab, et vedelikkude paisumise koeffitsiendid on kõvade kehade omast suuremad (umbes 10 korda) ning igal vedelikul erisugune. Ka oleneb vedeliku paisumine temperatuurist, s. o. sama vedeliku paisumise koeffitsiendid on erisuguste temperatuuride juuses erisugused. Kõige korrapärasemalt paisub elavhõbe ja sellepärast tarvitatakse teda termomeetri ehitamisel.

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

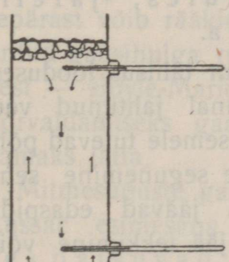
Nüüd soendame vett anumas (kuidas?), hoiame tükikese aega temperatuuri jäävana ja jällegi märgime termomeetri näitamise kui ka vedeliku nivoo seisu torus termomeetri skaala abil. Mõõdame vedeliku samba pikkuse 0^0 juures, olgu see h_0 cm, ja pikkuse vaatluse lõpul t^0 juures, olgu see h_t cm. Et toru jämedus on ühtlane, võime vedeliku ruumala näiva paisumise lugeda võrdeliseks vedeliku samba pikenemisega torus $(h_t - h_0)$. Järelikult vedeliku näiv ruumpaisumise koeffitsient võrdub $\frac{h_t - h_0}{t\, h_0}$.



Joon. 89. Vedelikkude näiva paisusumise määramine.

Märkus. Vee soendamiseks anumas võib juhtida sinna toru kaudu keeva vee auru. — Pikka termomeetrit tarvitades on kasulik vedelikusamba alumine ots ühte seada termomeetri skaala alumise kriipsuga. Siis ei ole erilist mõõdupuud tarvis, vaid vedeliku samba esialgset pikkust kui ka pikenemist soendamisel võib mõõta termomeetri skaala kriipsuvahedega. Mispärast ei ole mõõtüksuste absoluutne suurus siin tähtis?

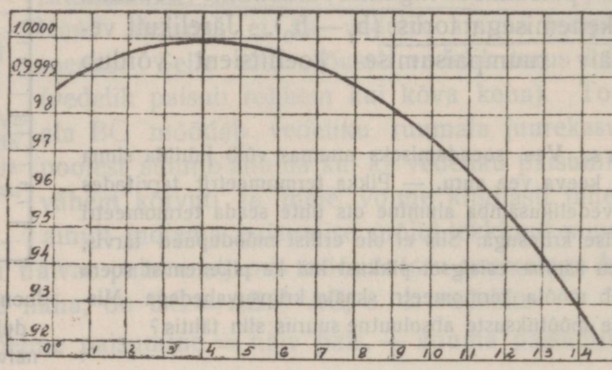
86. Vee paisumise iseärasused. Vee paisumist uurides selgub, et vesi soendamisel igas temperatuuri vahemikus ei paisu, vaid vahel otse ümberpöördult soendamisel kokku tõmbub. Seda vee omadust võime katseliselt järgmiselt näidata. Võtame anuma (joon. 90), täidame veega ja jahutame vett anumas ülevalt jääd (lund) veepinnale pannes. Jälgime kogu aeg seintest läbi pandud termomeetrite abil vee temperatuuri muutumist üleval ja all. Vaatluse resultaadid tähendame üles tabelina. Vesi jahtub jääga kokkupuutudes, muutub tihemaks ja langeb alla. Sünnib aeglane jahedamate ja soemate osade segunemine, millest mõlema termomeetri langemine tunnistust annab.



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

On alumised veekihid 4^{0} C jahtunud, jääb termomeetri edaspidine langemine seisma, millest järeldame, et selle temperatuuri juures on vee tihedus kõige suurem, järelikult ruumala kõige väikesem. Edaspidisel vaatlusel näeme, et ülemine termomeeter järjest langeb ja võib minna kuni 0^{0}-ni, mis laseb järeldada vee väikesemat tihedust (suuremat ruumala) selle temperatuuri juures võrreldes 4^{0}-ga.

Joon. 91 kujutatud kõver näitab kujukalt vee tiheduse muutumist külmamispunkti lähedal. Kõvera käigust selgub, et *veel*



Joon. 91. Vee tiheduse muutumise graafik.

on kõige suurem tihedus 4^{0} C juures, järelikult ka kõige väikesem ruumala.

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

Soendamisel jäävad soemad veeosad kui vähem tihedad pinnale. Sügavates veekogudes (meres) on ka suvel vee temperatuur umbes 4^{0} C.

Seleta, kuidas sünniks veekogude kinnikülmamine siis, kui veel 0^0 juures kõige suurem tihedus oleks. Missugust mõju avaldaks see asjaolu jääkorra tekkimise pääle? § 89

Ruumpaisumise koeffitsiendid.

Bensiin	0,00138	Petrooleum	095
Eeter	166	Piiritus	104
Elavhõbe	018	Terpentiin	097
Glütseriin	051	Vesi	043
Oliivõli	072	Väävelhape	055

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

2. Klaasanum mahutab eneses 40^0 juures 850 g elavhôbedat. Kui suur on selle anuma mahtuvus 0^0 juures?

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

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

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

6. Seleta, kuidas sünnib jôgede ja järvede kinnikülmamine. Mispärast vesi enam-vähem sügavas veekogus kange külmaga põhjani jääks ei muutu?

Gaaside paisumine.

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

Mitmesuguste gaaside paisumist uurides leidis prantslane Gay-Lussac esimesena (a. 1802), et jääva rõhumise juures paisuvad kõik gaasid ühte viisi ja nimelt nõnda, et temperatuuuri tõusmisel 1^0 C võrra suureneb gaasi ruumala 0,00366 ehk $\frac{1}{273}$ osa võrra oma ruumalast **0^0 C** juures. Sellega on siis $\frac{1}{273}$ kõikide gaaside kohta ühine ruumpaisumise koeffitsient.

Tähistame antud gaasi hulga ruumala 0° C juures v_0-ga, t° C juures v_t-ga ja gaaside ruumpaisumise koeffitsiendi α-ga, siis võime Gay-Lussac'i seaduse põhjal kirjutada:

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

millest järgneb:

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

Olgu antud gaasi hulga ruumala t_1^0 juures v_1 ja t_2^0 juures vastavalt v_2, siis võime valem (1) põhjal kirjutada:

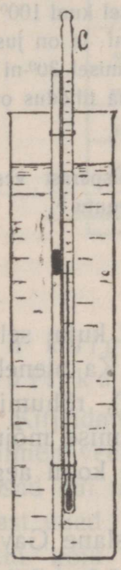
$$v_1 = v_0 (1 + \alpha t_1) \text{ ja } v_2 = v_0 (1 + \alpha t_2).$$

Siit saame:

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

kus T_1 ja T_2 on t_1-le ja t_2-le vastavad absoluutsed temperatuurid. Järelikult, antud gaasi hulga ruumala jääva rõhumise juures on võrdeline tema absoluutse temperatuuriga.

Kõvade ja vedelate kehade paisumise koeffitsientide määramisel meie jätsime ütlemata missuguse algtemperatuuri juures tuleb keha paisumist koeffitsiendiga näidatud määral võtta. Kõvade ja vedelate kehade paisumise koeffitsientide väiksuse tõttu ei ole sel tegelikku tähtsust, ehk küll ka siin on õigem paisumist antud kindlast temperatuurist, näiteks 0° C, lugeda. Gaaside paisumise koeffitsient on küllalt suur, sellepärast tuleb täpsuse nõudel gaaside paisumise koeff. nimet. arvu, mis näitab kui suure osa oma ruumalast 0° C juures paisub, jääva rõhumise juures, antud gaasi hulk soendamisel 1° C võrra.



Joon. 92. Gaaside paisumiskoeffitsiendi määramine.

88. Gaasi paisumiskoeffitsiendi määramine.

Võtame ühtlase klaastoru läbimõõduga umbes 1 mm ja ligi 20 cm pikk. Imeme torusse umbes 1 cm pikkuselt elavhõbedat, sulatame toru ühe otsa kinni nõnda, et elavhõbe jahedast peast umbes toru keskel püsiks (joon. 92). Sellega eraldame torus teatud hulga õhku. Kinnitame toru ühes termomeetriga skaalale ja asetame saadud riista anumasse, milles vesi jääga. Märgime temperatuuri ja õhusamba kõrguse. Vett anumas ~~järjest~~ soendades märgime ~~perioodiliselt~~ järjest (umbes 10° tagant) temperatuurid ja vastavad õhusamba kõrgused. Enne kõrguse lugemist on tarvilik toru pihta vähe koputada, et elavhõbe toru seinte külge peatuma ei jääks. Kui toru on ühtlase jämedusega, siis võime õhusamba pikenemise lugeda võrdeliseks ruumala suurenemisega, mille põhjal on võimalik paisumise koeffitsienti arvutada. Olgu õhusamba kõrgus 0° juuree h_0 ja t° 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 $\alpha = \frac{h_t - h_0}{t h_0}$.

Arvuta saadud valemi põhjal vaatluse andmetest keskmised paisumise koeffitsiendid mitmesuguses temperatuuri vahemikus.

Sama meetodit vôib 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 gaasi hulga rõhumine ja ruumala 0^0 C juures vastavalt p_0 ja v_0 (algolek). Jätame temperatuuri samaks (0^0) ja muudame rõhumist (p) siis muutub Boyle-Mariotte'i seaduse järele ka ruumala (v') ja nimelt nônda (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 järele (lôppolek) järgmiselt:

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

Jagame v' kôrvaldamiseks (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 eneses nii Boyle-Mariotte'i kui ka Gay-Lussac'i seaduse. Esimene neist järgneb, asetades valemisse $t = 0 = \text{const.}$, siis saame: $p_0 v_0 = pv$; teine järgneb, 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 vôimalik antud gaasi hulga ruumala taandada nn. normaaltingimustele (temperatuur 0^0 C ja rôhumine $p_0 = 76$ cm), sest tabelites on harilikult kôik andmed (tihedus, erikaal) antud normaaltingimuste kohta. Valemist (3) järgneb, et kui antud gaasi hulga temperatuur, rôhumine ja ruumala on vastavalt t, p ja v, siis normaaltingimustel selle gaasi hulga ruumala

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

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

Tiheduse valemist

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

90. Gaasi rõhumise olenevus temperatuurist. Absoluutne temperatuur. Jääva rôhumise juures muutub gaasi ruumala temperatuuri muutudes Gay-Lussac'i seaduse järgi. Vaatame nüüd, kuidas muutub antud gaasi hulga rôhumine jääva ruumala juures, kui temperatuur muutub. Selleks jätame valemis $p_0 v_0 = \frac{pv}{1 + \alpha t}$ ruumala konstantseks, s. o. $v = v_0$, siis saame:

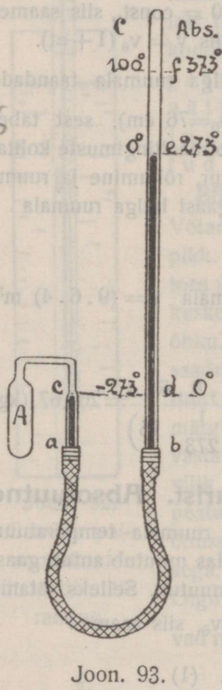
$$p_0 = \frac{p}{1 + \alpha t} \text{ ehk } p = p_0 (1 + \alpha t) \quad . \; . \; . \quad (1)$$

Saadud valemist näeme, et gaasi rõhumine jääva ruumala juures oleneb temperatuurist just niisama, kui ruumala jääva rõhumise juures, nimelt: t e m p e r a t u u r i t õ u s m i s e l 1^0 C v õ r r a s u u r e n e b g a a s i r õ h u m i n e α ehk $\frac{1}{273}$ o s a v õ r r a o m a r õ h u m i s e s t 0^0 C j u u r e s. Sellega siis on $\frac{1}{273}$ kõikide gaaside kohta ühine rõhumise suurenemise koeffitsient temperatuuri tõusmisel 1^0 C võrra.

Boyle-Mariotte'i — Gay-Lussac'i valemist tuletatud gaaside rõhumise muutumise seaduse leidis katseliselt prantslane Charles a. 1787, sellepärast nimetatakse teda sagedasti ka C h a r l e s ' i s e a d u s e k s.

Valemist (1) järgneb, et temperatuuri langemisel rõhumine p väheneb. Nüüd küsime: missuguse temperatuuri juures gaasi rõhumine hoopis ära kaob, s. o. $p = o$. 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 gaasi rõhumine tingitud molekulide liikumisest, ~~liikumine aga on molekuli oluline omadus.~~ Kui nüüd gaasi rõhumine ära kaob, siis peab molekulaarhüpoteesi põhjal ka molekulide liikumine ära jääma; üldse gaas kaotab oma olemise, meie ei suuda enam gaasi kui niisugust ette kujutada. Nagu nägime, on temperatuuriks, mille juures gaas oma olemise lõpetab, — 273^0 C. See temperatuur (-273^0 C) nimet. **absoluutseks nulliks,** sest siis on gaasi molekulide kineetiline energia null ja madalamat temperatuuri ei saa enam olla. Võttes absoluutse nulli termomeetri skaala nullpunktiks, väljenduvad kõik temperatuurid ainult absoluutsete arvudega; sellepärast nimetatakse absoluutsest nullist alates loetud temperatuuri (Celsiuse pügalates) ka a b s o l u u t s e k s t e m p e r a t u u r i k s. Harilikult tähistatakse absoluutne temperatuur T, Celsiuse skaala järele t tähe abil.



Joon. 93.
Gaastermomeeter.

91. Gaastermomeeter.

Galilei ehitas oma esimese termomeetri (§ 75) gaasi (õhu) omadusel paisuda temperatuuri tõusmisel. Praeguse aja gaastermomeetri ehitus põhjeneb Charles'i seadusel, mille järele jääva ruumala juures on gaasi r õ h u m i s e j u u r e k a s v v õ r d e l i n e temperatuuri juurekasvuga (valemi $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$ põhjal). Gaastermomeetri ehitus ja tarvitamine sünnib järgmiselt (joon. 93): Reservuaar A on kummitoru ab-ga ühendatud klaastoruga, mis otsast kinni sulatatud. A on kuni nivooni c täidetud vesinikuga; edasi on torus elavhôbe ja ruum elavahôbeda pääl torus b hästi ôhust tühendatud.

Asetame A sulavasse jäässe. Vesiniku rôhumine A-s väheneb. Toru b ülespoole tõstes ja alla poole lastes seame elavhôbeda nivoo torus a kriipsu c kohale. Olgu selle juures vesiniku rõhumist tasakaalustava elavhôbeda nivoo torus b kriipsu e juures. Nüüd asetame A keeva vee aurusse. Vesiniku rõhumine suureneb ja tema ruumala hoidmiseks kriipsu c juures tuleb toru b tôsta. Oletame, et siis elavhõbeda nivoo torus b seisab kriipsu f juures ja elavhôbeda sammas df tasakaalustab vesiniku rôhumise jääva ruumala juures. On selge, et vesiniku temperatuuri tôusmisel jää sulamistemperatuurist kuni vee keemistemperatuurini, vesiniku rôhumine anumas A suurenes elavhôbeda samba ef kôrguse vôrra. Märgime kriipsule e 0^0 C ja kriipsule f 100^0 C, niivoode e ja f vahe jagame 100-ks vôrdseks osaks. Sama suured osad (kriipsuvahed) märgime ka ülespoole kriipsu f ja allapoole kriipsu e. Nimetame üheks temperatuuri kraadiks iga niisuguse temperatuuri muutuse, mille môjul vesiniku rôhumine reservuaaris A muutub ühe kriipsuvahe võrra elavhôbeda kôrgusest torus b. Katse näitab, et de mahutab 273 niisugust kriipsuvahet, missuguseid ef-is on 100. Sellest järgneb: 1) a b s o l u u t n e n u l l o n -273^0 C, s e s t s i i s k a o b g a a s i r ô h u m i n e h o o p i s ä r a; 2) t e m p e r a t u u r i m u u t u s 1^0C o n n i i s u g u n e, m i s k u t s u b e s i l e j ä ä v a r u u m a l a j u u r e s o l e v a l g a a s i l r ô h u m i s e m u u t u s e $\frac{1}{273}$ o s a s e l l e s t, m i s o l i j ä ä s u l a m i s t e m p e r a t u u r i j u u r e s.

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

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

3. Mitme kraadi võrra tuleb 0^0 juures olevat ôhku jahutada, et tema ruumala väheneks 2 korda?

4. Antud gaasihulga ruumala 0^0 juures on v_0 liitrit. Missuguse temperatuuri juures on sama gaasihulga ruumala $2v_0$ liitrit?

5. Palju kaalub normaalrôhumise juures klassitäis ôhku ($9 \times 6 \times 4$ m) 15^0 juures?

6. Leia antud gaasihulga ruumala 0^0 juures, kui -30^0 juures tema ruumala on 360 cm^3?

7. Ôppetundide algul oli klassi ôhu temp. 12^0 ja rôhumine 755 mm, lõpul aga vastavalt 17^0 ja 750 mm. Palju vähenes selle aja jooksul ôhu raskus klassis, mille ruumala on $9 \times 6 \times 4$ m^3?

8. Leia ôhu tihedus 15^0 temp. ja 76,8 cm rôhumise juures.

9. Anumas, mille ruumala 1 liiter, on 2 g ôhku. Kui suur on selle ôhu rôhumine 100^0 juures?

Soojuse hulga mõõtmine

92. Vahe soojusehulga ja temperatuuri vahel. Keha temperatuuri tõusmist seletame soojuse juuretulekuga, temperatuuri langemist — soojuse kaotusega. Soojust ei tule mõista kui mingisugust ainet, nagu seda kuni 18-aastasaja lõpuni arvati (soojusaine, flogiston).

Meile juba tuntud molekulaarhüpoteesi põhjal on soojus keha molekulide liikumise energia. Energiat võime ühest kehast teise edasi anda ja mõõta. Samuti võime ka soojuse energiat tema hulga suhtes mõõta teatud üksustes.

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

Nagu vesi alati kõrgemast nivoost madalamale voolab, hoolimata sellest, kui palju vett ühel ehk teisel nivool asub (ka tilk langeb merde), samuti liigub ka soojuse energia kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehasse. Soojuse energia liikumise sihi määrab ära 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 vee temperatuurist kõrgem, voolab soojus meie kehast vette, meie kaotame soojust ja meil hakkab jahe.

Too veel sarnaseid 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 rääkida soojuse hulgast, mis keha temperatuuri muutumisel juure sai või kaotas.

Too näiteid tegelikust elust, kus meid eestkätt huvitab kõrge ehk madal temperatuur ja kus soojuse hulk.

3. Vastuseks: on vaja tähtis nimetada algtemperatuuri; [illegible] vahemikus (14½–15½) [illegible].

93. Soojuse hulga mõõtmine. Segamisülesanded.

Soojuse hulga (energia) mõõtmisel on võetud ü k s u s e k s s e e s o o j u s e h u l k, m i s 1 g v e t t j u u r e s a a b (e h k k a o t a b), k u i t e m a t e m p e r a t u u r t õ u s e b (e h k l a n g e b) 1° C v õ r r a. Nimetame selle soojuse hulga **väikeseks ehk gramm-kaloriks** (v-kal, g-kal; — ladina keelest: calor — soojus). **1 suur** ehk **kilogramm-kalor** (s-kal, kg-kal) on 1000 v ä i k e s t k a l o r i t ja vastab soojuse hulgale, mis 1 kg v e t t j u u r e s a a b (e h k k a o t a b), k u i t e m a t e m p e r a t u u r t õ u s e b (e h k l a n g e b) 1° C v õ r r a.

Katse näitab, et antud vee hulga temperatuuri tõstmiseks 1° C võrra kulub alati (p e a a e g u) sama palju soojust, vaatamata algtemperatuurile, millest soendamine algas (kas 0°, 15° või 60° jne), sellepärast ei ole meil t e g e l i k u l t tähtis kalori definitsioonis nimetada algtemperatuuri. 3

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

1 g vee temp. tõstm.	1° C võrra kulub	1 g-kal	soojust
250 „ „ „	1° „ „ „	250	„
250 „ „ „	10° „ „ „	250.10	„

Tähistades otsitava soojuse hulga Q-ga, saime: $Q = 250 \cdot 10$ g-kal $= 2500$ g-kal $= 2{,}5$ kg-kal.

Üldse, m g vee temperaaturi tõstmiseks t° võrra kulub soojust

$$Q = mt \text{ (g-kal)}$$

N ä i d e. Segati 200 g vett 15° juures 300 g veega 40° juures. Leida segu temperatuur.

Olgu otsitav segu temperatuur x°, mis on 15° ja 40° vahel. 200 g vett soenedes $(x - 15)°$ võrra sai soojust juure $200\,(x - 15)$ v-kal; 300 g vett jahtudes $(40 - x)°$ võrra kaotas soojust $300\,(40 - x)$ v-kal. Et 200 g vett võis soeneda ainult selle soojuse hulga arvel, mis 300 g vett jahtudes kaotas, siis saame võrrandi:

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

millest $x = 30$.

1. Tee vee segamiskatse ja võrdle katseliselt leitud lõpptemperatuuri sellega, mis saadud eelpool näidatud viisil kalkuleerides. Millest on tingitud väikene vahe resultaatides?

2. Lahenda üldisel kujul vee segamisülesanne: m_1g vett t_1° juures segati m_2g veega t_2° juures, leida lõpptemperatuur t. Näita, et saadud valem on maksev ka iga teise vedeliku segamisel.

3. Palju kulub soojust, et 150 g vett soendada 10°-st kuni 25°-ni?

4. Palju soojust kulub selleks, et 5 liitrit vett toa temperatuuri juurest (17⁰) soendada 100⁰-ni?

5. Palju soojust annab ära teeklaasi täis (250 cm^3) vett jahtudes 100⁰-ist 15-ni?

6. 5 liitrit vett andis ära jahtudes 60 s-kal soojust. Kuidas muutus vee temperatuur?

7. 15 g vett, mille temp. 20⁰, saab 0,3 s-kal soojust juurde. Kui kõrgele tõuseb vee temperatuur?

8. 1 m^3 vee soendamiseks kulutati 2500 s-kal soojust. Palju tõusis vee temperatuur?

9. Mitme kraadi võrra soeneb 20 g vett, kui temasse 1 s-kal soojust juhtida?

10. Mitu g vett võib soendada 300 v-kal arvel 15⁰ võrra?

11. Mitu liitrit vett kaotab jahutamisel 12⁰ võrra 90 s-kal soojust?

12. Mitu g 100⁰-list vett tuleb segada 80 g veega 30⁰ juures, et segu temperatuur oleks 72⁰?

13. Mitu liitrit vett 10⁰ juures tuleb segada 3 liitri veega 40⁰ juures, et segu temp. oleks 28⁰?

14. Segati 2 liitrit vett 10⁰ juures 3 liitri veega 15⁰ juures. Leia segu temperatuur?

15. Kuidas saab määrata soojuse hulka, mis annab lõõglamp näiteks 5 min. jooksul

94. Keha soojamahtuvus. Aine erisoojus. Võtame 500 g rauda (naelad) ja 500 g tina (haavlid), soendame neid näiteks 100⁰-ni (keevas vees hoides) ja asetame siis ühe ühte, teise teise anumasse veega. Vee hulk ja algtemperatuur olgu mõlemas anumas samad, soovitav, et ka anumad ise ühesugused oleksid (mispärast?). Vee temperatuuri tõusu anumates mõõtes näeme, et see mitte ühesugune ei ole, vaid raua jahtumise mõjul umbes 3 korda suurem kui tina mõjul. Sellest järeldame, et samas hulgas võetud isesuguste ainete (raud, tina) soendamiseks sama kraadide arvu võrra tarvitab üks keha tublisti rohkem soojust kui teine.

Nimetame keha **soojamahtuvuseks** s e d a s o o j u s e h u l k a, m i s k e h a j u u r e s a a b (e h k k a o t a b), k u i t e m a t e m p e r a t u u r t õ u s e b (e h k l a n g e b) 1⁰ C v õ r r a.

Kui näiteks rauatüki temperatuuri tõstmiseks 1⁰ C võrra kulub 15 g-kal, siis on selle rauatüki soojamahtuvus 15 g-kal jne.

Kui keha koosneb ühtlasest ainest (tina, raud, vask, puu jne), siis on kerge tema soojamahtuvust leida selle aine 1 massi üksuse (g, kg) soojamahtuse ehk erisoojuse põhjal. Tähendab, **aine erisoojus** n ä i t a b s o o j u s e h u l k a (g - k a l o r i t e s), m i s 1 g s e d a a i n e t j u u r e s a a b (e h k k a o t a b), k u i tema temperatuur tõuseb (ehk langeb) 1^0 C võrra.

1 g vee soendamiseks 1^0 C võrra kulub 1 g-kal soojust, järelikult vee erisoojus on 1 g-kal; 1 g raua soendamiseks 1^0 võrra kulub 0,1 g-kal soojust, sellega on siis raua erisoojus 0,1 g-kal jne.

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

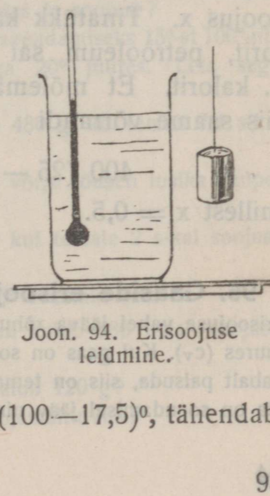
Klaasi erisoojus on 0,17 g-kal, järelikult 1^0 võrra jahtudes kaotab teeklaas 0,17 . 200 g-kal, 60^0 võrra jahtudes 0,17 . 200 . 60 ehk 2040 g-kal.

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

$$Q = cmt \text{ (g-kal)}.$$

Katse näitab, et kitsamas temperatuuride vahemikus, näiteks 0^0—100^0-ni, antud keha temperatuur tõuseb (ehk langeb) sama soojuse hulga arvel (peaaegu) sama kraadide arvu võrra, vaatamata algtemperatuurile, millest soendamine (või jahutamine) algas. Selle põhjal võime lugeda aine erisoojuse kitsamas temperatuuride vahemikus jäävaks. Tabelites on antud keskmised erisoojused teatud temperatuuri vahemikus.

95. Erisoojuse leidmine segamisviisi abil. a. Tahame näiteks tina erisoojust leida, siis võtame tüki tina, olgu 645 g, soendame teda keeva vee aurus hoides kuni 100^0-ni ja asetame anumasse, milles on näiteks 400 g vett $13,5^0$ juures (joon. 94). 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 otsitava tina erisoojuse x-ga ja arvutame soojuse hulga, mis tina tükk jahtudes kaotas ja veele andis. Üks gramm tina, jahtudes ühe kraadi võrra, kaotab x v.-kal soojust, 645 g kaotab aga 645 x v.-kal. Tinatükk jahtus $(100-17,5)^0$, tähendab,



Joon. 94. Erisoojuse leidmine.

tinatüki soojusekaotus kokku on 645 . (100—17,5) x v.-kalorit. Samuti leiame, et vesi anumas soenedes sai soojust juure 400 . (17,5 — 13,5) v.-kalorit. Kui oletada, et muud soojusekaotused, näiteks kiirgamise ja juhtivuse teel, on niivõrd väikesed, et neid võib jätta tähele panemata, siis peab soojuse hulk, mis tinatükk kaotas, võrduma soojuse hulgaga, mis vesi juure sai, s. o.

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

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

Niiviisi leidsime, et tina erisoojus on 0,03, s. t., et ühe grammi tina ühe kraadi võrra soendamiseks tuleb temale anda 0,03 v. kalorit soojust.

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

b. Vedelikkude, näiteks p e t r o o l e u m i, erisoojuse leidmiseks võtame meile juba tuntud erisoojusega keha, näiteks tinatüki, juhime temast osa soojust vedelikku ja vaatame, palju selle tõttu vedeliku temperatuur tõuseb.

Olgu meil kalorimeetris näiteks 400 g petrooleumi, mille algtemperatuur 19°. Võtame 537 grammilise tinatüki, soendame teda keeva vee aurus hoides 100°-ni ja asetame petrooleumi. Tinatükk annab osa oma soojusest petrooleumile ja petrooleumi temper. 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 . 537 . (100 — 25) v. kalorit, petrooleum sai soenedes soojust juure 400 . (25 — 19) x v. kalorit. Et mõlemad soojuse hulgad peavad olema võrdsed, siis saame võrrandi

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

millest $x = 0{,}5$.

96. Gaaside erisoojus. Gaaside erisoojusest rääkides tuleb vahet teha erisoojuse vahel jääva rôhumise juures (c_p) ja erisoojuse vahel jääva ruumala juures (c_v). Kui gaas on soendamisel jääva rôhumise all ja saab selle juures vabalt paisuda, siis on tema erisoojus suurem kui sel juhusel, kui gaasi ruumala on soendamisel jääv ning rõhumine soendamise tõttu suureneb. Põhjuseks on asjaolu, et esimesel juhusel kulub osa soojuse energiast tööks, mis gaas teeb paisumisel. Näitena toome mõne tuntud gaasi erisoojuse jääva rôhumise juures.

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	Terpentiin	0,51
Glütseriin	0,50	Vesi	1,00

1. Missugusel kehal eelolevast tabelist on kõige suurem ja missugusel kõige väikesem erisoojus?

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

3. Missugust môju avaldab vee suur erisoojus kliima kujunemisel?

4. Palju soojust kaotab 4,5 kg raske klaasitükk jahtudes 200^0-st kuni 0-ni?

5. Palju soojust läheb tarvis, et 2 kg elavhôbedat soendada 100^0 vôrra?

6 500 g vaske jahtudes 100^0-ist 28^0-ni. Palju kaotas ta soojust?

7. Tinatükk kaalub 250 g. Palju soojust kulub tema soendamiseks 15^0-st 100^0-ni?

8. Segati liiter vett 40^0 juures liitri piiritusega 20^0 juures. Leia segu temperatuur?

9. Mitme kraadi vôrra jahtub jäätükk, mis kaalub 480 g, kui temalt 2,4 s-kal soojust ära vôtta?

10. Alumiiniumlusikas kaalub 18 g. Mitme kraadi vôrra tôuseb lusika temperatuur, kui temale 72 v-kal soojust juurde anda?

11. Mitme kraadi vôrra soeneb 500 g tsinki, kui temale 2 s-kal soojust juurde anda?

12. Mitu g inglistina on vôimalik 30 v-kal arvel 5^0 soemaks teha?

13. 300-g-lise tinatüki soendamiseks 15^0 kuni 35^0-ni kulub 186 v-kal soojust. Kui suur on tina erisoojus?

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

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

Aine oleku muutumine

Sulamine.

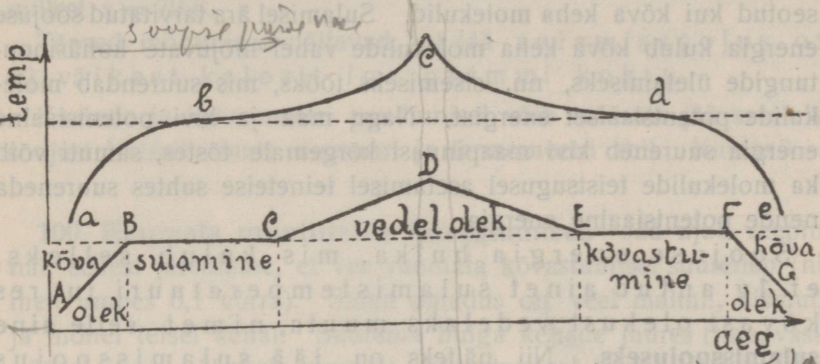
97. Sulamise ja kõvastumise nähtus ning seadused. Keha olek (kõva, vedel, gaasiline) oleneb temperatuurist. Keha üleminekut kõvast olekust vedelasse nimetame **sulamiseks**. Vaatame kuidas sulamine sünnib. Võtame näiteks tüki jääd (lund), paneme anumasse ja hakkame soendama. Olgu alguses jää temperatuur näiteks — 6° C. Soendamisel tõuseb jää temperatuur kaunis kiiresti kuni 0°-ni ja jääb siis seisma kuni kõik jää ära sulab — veeks muutub. Kui tugevamini soendada, muutub sulamine kiiremaks, kuid jää temperatuur ei tõuse selle juures mitte. Kogu sulamise kestes on jää temperatuur seesama, nimelt 0°. Lõpetame soojuse juurevoolu, siis jääb sulamine otsekohe seisma; mõlemad — sulamisest tekkinud vesi ja sulamata jää — püsivad 0° juures. Siit näeme, et sulamine ei sünni mitte iseenesest, vaid selleks on sooojust tarvis. On kõik jää ära sulanud, alles siis hakkab termomeeter uuesti tõusma.

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

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

1. iga keha hakkab sulama (kõvastuma) kindla sellele kehale omase sulamise (kõvastumise) temperatuuri juures;

2. sulamistemperatuur on ühesugune kõvastumistemperatuuriga;



Joon. 95. Oleku muutumise graafik.

3. sulamine (kõvastumine) kestab nii kaua, kui soojust juure tuleb (kaotub);

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

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

Varjatud
plagotki varjub dee soojus termomeetri eest

98. Aine sulamissoojus. Nagu nägime, kestab jää sulamine nii kaua, kui soojust juure tuleb. Termomeeter seda soojuse juurevoolu 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, ~~nende liikuvaks tegemiseks~~, sest vedeliku molekulid on palju nõrgemini teineteisega seotud kui kõva keha molekulid. Sulamisel ära tarvitatud soojuse energia kulub kõva keha molekulide vahel mõjuvate kohäsioontungide ületamiseks, nn. sisemiseks tööks, mis suurendab molekulide potentsiaalset energiat. Nagu maa ja kivi potentsiaalne energia suureneb kivi maapinnast kõrgemale tõstes, samuti võib ka molekulide teistsugusel asetamisel teineteise suhtes suureneda nende potentsiaalne energia.

S o o j u s e e n e r g i a h u l k a, m i s k u l u b s e l l e k s, e t 1g a n t u d a i n e t s u l a m i s t e m p e r a t u u r i j u u r e s k õ v a s t o l e k u s t v e d e l a k s m u u t a, n i m e t. selle aine **sulamissoojuseks.** Nii näiteks on j ä ä s u l a m i s s o o j u s **80 g-kalorit.**

Kõvastumisel sünnib vastupidine nähtus. Sulamiseks kulutatud energia saab vabaks, molekulide potentsiaalne energia muutub kineetiliseks ja andub edasi ümberolevatele kehadele. Et looduses energia ei hävine, siis on loomulik, et sulamiseks kulutatud energia hulk kõvastumisel jälle täiel määral vabaneb; samuti muutub ka üles tõstetud kivi potentsiaalne energia kivi maha langemisel molekulide kineetiliseks energiaks.

Aine sulamissoojust nimet. teisiti ka ~~l a t e n t s e k s ehk~~ p e i d e t u d s o o j u s e k s, sest varem, kui soojus arvati olevat mingisugune kaalutu aine (vedelik), paistis, et sulamisel soojus ennast ära peidab.

99. Jää sulamissoojuse leidmine. Olgu kalorimeetris 434 g vett algtemperatuuriga 52,8⁰. Võtame tükikese kuiva jääd 0⁰ juures ja laseme kalorimeetrisse. Jää sulamisel langeb vee temperatuur kalorimeetris. Segame vett järjest ümber ja märgime temperatuuri kohe, kui viimane jää raasuke on ära sulanud. Olgu vee lõpptemperatuur 27,6⁰ ja kogu vee hulk 536 g. Leiame saadud andmetest 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 . 434 g-kalorit soojust; sellest soojuse hulgast kulus, tähistades jää sulamissoojuse x-ga, 102 x g-kalorit jää sulatamiseks ja 27,6 . 102 g-kalorit jää sulamisest tekkinud vee soendamiseks 0^0-st kuni $27,6^0$-ni. Et mõlemad soojuse hulgad peavad olema võrdsed, siis saame võrrandi

$$102\,x + 27,6 \,.\, 102 = 25,2 \,.\, 434,$$

millest x = 79.6.

Täpsed mõõtmised näitavad, et jää **sulamissoojus on 80 väikest kalorit iga grammi kohta.**

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 veel malmil, bismutil ja mõnel teisel kehal. Suurema hulga kehade juures (tina, vask, väävel jne.) väheneb ruumala kõvastumisel ja sellepärast vajub kõva keha põhja samast ainest vedelikus.

Vee ruumala suurenemist kõvastumisel võime seletada jää kristallilise ehitusega. Ehk küll jääs molekulid rühmiti võivad tihedamini teineteisega seotud olla kui veel, on jällegi vahed üksikute kristallide vahel võrdlemisi suured ja selle tõttu jää üldine ruumala suurem kui veel.

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

Joon. 96. Vesi jääks muutudes paisub tugevasti ja lõhub raudpommi.

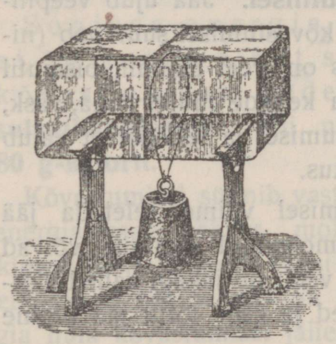
Kui tugevasti vesi jääks muutudes paisub, näitab katse raudpommiga (joon. 96), mille õõnsus veega täidetakse, siis kõvasti kinni kruvitakse ja jahutavasse segusse asetatakse. Jääks muutudes paisub vesi rõllane rakust.

nii tugevasti, et pomm lõhkeb. — Kuid jää samuti kui kõik teised kehad tõmbub kokku jahtudes ja paisub soenedes.

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

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

Võtame tüki jääd, paneme välja külma kätte ja riputame temast üle pandud traadi külge raske koorma (joon. 97). Nüüd hakkab traadi rõhumise all olev jää sulama, kuna sulamisest tekkinud vesi ülevalpool traati jälle jääks külmab. Seda viisi lõikab traat pikkamisi jäätüki läbi, kuna jäätükk ise selle juures terveks jääb.



Joon. 97. Jää sulamistemperatuur langeb rõhumise suurenedes.

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

102. Jahutavad segud. Ülejahutamine. Ka lahustumisel kulub soojust, et nõrgendada sidet lahustatava aine molekulide vahel. Sellepärast 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 harilikku kõvastumistemperatuuri (0°). Kuid see olek ei ole mitte stabiilne, püsiv. Raputades või jääkristallikest juure lisades muutub osa veest äkitselt jääks, kuna ülejäänud vee temperatuur tõuseb 0⁰-ni. Vett võib kuni — 20⁰-ni üle jahutada.

Sarnaselt ülejahutamisele võib rääkida ka kehade ülesoendamisest, s. o. nähtusest, kus keha püsib kõvas (ehk vedelas) olekus vaatamata sellele, et tema temperatuur on sulamistemperatuurist (ehk keemistemperatuurist) kõrgem.

Sulamistemperatuurid ja soojused.

Aine	Sulamistemperatuur	Sulamissoojus	Aine	Sulamistemperatuur	Sulamissoojus
Alumiinium .	658⁰	102	Raud . . .	1500	33
Eeter . . .	—132	—	Tina . . .	327	5,5
Elavhõbe . .	— 39	2,8	Tsink . . .	419	28
Hõbe . . .	960	21,1	Vaha . . .	63—64	42,3
Inglistina . .	232	14	Vask . . .	1083	43
Jää	0⁰	80,0	Väävel . . .	115	9,4
Kuld . . .	1064	—	——		
Nikkel . . .	1452	—	Hapnik . . .	—218	—
Paraffiin . .	50—55	35,1	Lämmastik .	—214	—
Piiritus . . .	—130	—	Süsihapugaas	—79	—
Plaatina . .	1755	27,2	Vesinik . . .	—256,5	—

1. Mis tähtsus on jää sulamissoojuse suurusel jää ja lumekatte tekkimisel ning kadumisel?

2. Missugusel ainel eelolevas tabelis on kõige suurem (väikesem) sulamistemperatuur ja soojus?

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

4. Jää (jäätis) tundub hammastele külmemana kui jäävesi (0⁰). Mispärast?

5. Lumememme ja lumesõda on hää teha sula ilmaga ehk väikese külmaga, mitte aga kõva külmaga. Mispärast?

6. Seleta ära jää liugustikkude liikumine.

7. Kange külmaga ei lähe uisutamine nii libedasti kui „pehme" ilmaga. Mispärast?

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

9. Palju kulub soojust 50 g jää sulatamiseks sulamistemperatuuri juures?

10. Kui palju -20^0-list jääd on võimalik ära sulatada 120g vee sees, mille temperatuur 20^0?

11. Palju kulub soojust selleks, et ära sulatada 500g tina, mille temp. 15^0?

12. Segati 400 g vett $+80^0$ juures 40 g jääga -10^0 juures. Leia segu temperatuur.

13. Mitu g jääd -6^0 juures peab 3 liitri 60^0-lise vee sees ära sulatama, et vee temp. langeks 20^0 võrra?

14. Mitu g $+40^0$-list vett tuleb segada 30 g lumega, mille temp. -8^0, et pärast lume ärasulamist segu temp. oleks $+10^0$?

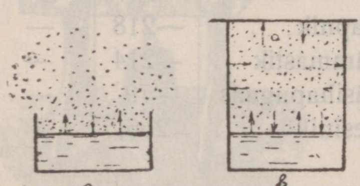
15. Leia raua erisoojus, kui 600 g rauda, jahtudes 80^0 vôrra, sulatab ära 60 g jääd.

16. Kui suur on tina erisoojus, kui 800-grammiline tinatükk, jahtudes 90^0 vôrra, sulatab ära 27 g jääd?

17. Kui paksu jääkihi suudaks päikeselt aasta jooksul saadud soojus ümber maa ära sulatada (jää algtemperatuur 0^0)? Kas oleneb kihi paksus maa raadiusest?

Auramine ja niiskus.

103. Auramine lahtises anumas. Meie teame, et kuivas ruumis vesi lahtisest anumast (joon. 98, a) pikkamisi ära kaob. Eeteri ja piirituse ärakadumine sünnib 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, kus juures see muutumine sünnib vedeliku pinnal ja iga temperatuuri juures. Auramisel gaasilisse olekusse läinud vedeliku (vesi) nimetame a u r u k s.



Joon. 98. Auramine lahtises ja kinnises anumas.

Mõned kõvad kehad (lumi, kampfer, jood jne.) võivad otsekohe, ilma vedelaks muutumiseta, kõvast olekust gaasilisse minna. Nimetame niisuguse kehade omaduse l e n d u m i s e k s ja kehad ise l e n d u v a t e k s.

Molekulaarhüpoteesi põhjal vôime auramist järgmiselt seletada. Vedeliku molekulid on alalises liikumises ja selle keskmine kiirus oleneb temperatuurist. Et vedeliku molekulid asuvad teineteisele väga lähedal, siis on sagedased kokkupõrked möödapääsematud. Need pinna lähedal olevad vedeliku molekulid, mille kiirus keskmisest kiirusest suurem, vôivad (tähtis on ka liikumise siht) ületada oma mõjupiirkonna kohäsioontungid ja sedaviisi pääseda vedelikust välja ruumi, mis vedeliku kohal. Nii siis moodustavad vedeliku auru need peaasjalikult suurema kiirusega vedeliku molekulid, mis vedelikust välja pääsevad.

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

Õhus olevad auru molekulid võivad teineteisega samuti ka õhumolekulide ja anuma seintega kokku põrgates uuesti vedelikku tagasi sattuda.

Nagu nägime, pääsevad vedelikust välja eestkätt suurema kiirusega molekulid. Sellega siis peab vedeliku temperatuur, mis oleneb vedelikku järele jäänud molekulide kineetilisest energiast, auramisel langema. Vedeliku temperatuuri langemist auramisel on kerge tähele panna nende vedelikkude juures, kus auramine iseäranis kiiresti sünnib (eeter, piiritus).

Nimeta mõned nähtused veeauramise jahutava mõju kohta.

S o o j u s e h u l k, m i s k u l u b s e l l e k s, e t 1 g v e d e l i k k u a n t u d t e m p e r a t u u r i j u u r e s m u u t a a u r u k s s a m a t e m p e r a t u u r i j u u r e s, n i m e t. a u r a m i s e s o o j u s e k s.

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

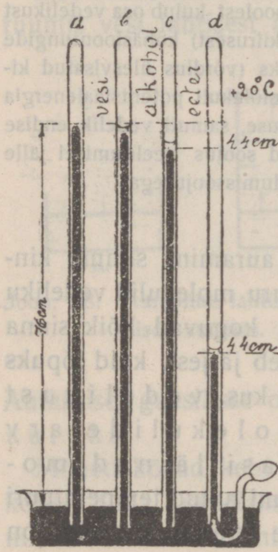
104. Auramine kinnises anumas. Kui auramine sünnib kinnises anumas (joon. 98, b), siis ei pääse auru molekulid vedeliku pääl olevast ruumist mitte eemale, vaid koguvad kõik sinna piiratud ruumi. Auru molekulide arv suureneb järjest, kuid lõpuks tekib nn. **liikuv tasakaal,** s. o. seisukord, kus v e d e l i k u s t v ä l j a t u l n u d (auruks muutunud) m o l e k u l i d e a r v v õ r d u b a u r u s t v e d e l i k k u t a g a s i l ä i n u d m o l e k u l i d e a r v u g a. Nüüd antud ruumi antud temperatuuri juures auru molekulisid enam ei mahu. Meie ütleme, et **ruum** on aurust **küllastatud** ehk **aur** on **küllastunud.**

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

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

105. Küllastunud auru rõhumine. Auru molekulid liiguvad vabalt ruumis sarnaselt gaasi molekulidele. Sellepärast peab aur sarnaselt gaasidele molekulide alaliste kokkupõrgete (pommitamise) tõttu avaldama rõhumist. Nagu nägime on küllastatud ruumis auru molekulide arv kõige suurem, sellepärast peab olema küllastunud aurul võrreldes küllastumatu auruga ka kõige suurem rõhumine.

Auru rõhumise uurimiseks võib tarvitada tühja ruumi barometri torus (Torricelli tühjus). Olgu meil 4 ühesugust baromeetri toru täidetud elavhõbedaga (joon. 99). 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 juure, 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 eeteril 44 cm.



Joon. 99. Küllastunud auru rõhumise määramine.

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 suurenemisega. Küllastunud vee auru rõhumise olenevus temperatuurist on katseliselt kindlaks määratud (vaata tabel), kuid matemaatilist sidet 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 veeauru rõhumine (pmm) ja absoluutne niiskus $\left(A\ \frac{g}{m^3}\right)$ mitmesuguse temperatuuri juures (t^0C).

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. Joonista eelmise tabeli pôhjal graafik, mis näitab küllastunud veeauru rôhumise (p) muutumist temperatuuri tõusmisel 0^0-st 100^0-ni. Rôhtteljel märkida t (1^0 vst. 1 mm) ja püstteljel p (100 mm vst. 1 mm).

2. Vesi on poorses savianumas ümberolevast ôhust jahedam. Mispärast?

3. Palju näitab baromeeter 20^0 C juures vähem, kui baromeetri torus on niiskust?

4. Mispärast kuivab pesu tuule käes paremini kui vaikses ôhus?

5. Seleta, milles seisab lehviku tarvitamise jahutav môju.

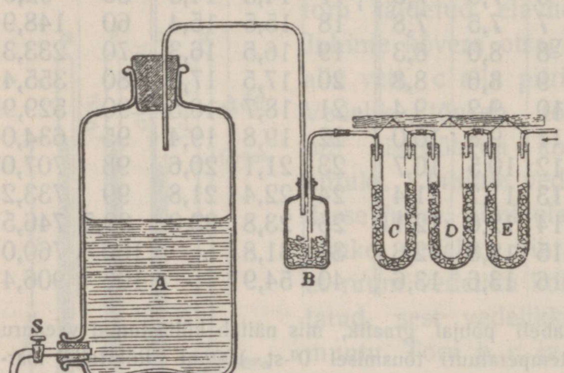
6. Jäämäed meres on sagedasti ümbritsetud uduga. Mispärast?

7. Seleta, millest tuleb järvede ja soode auramine (udu).

8. Hommikune udu kaob harilikult enne lôunat ära. Mispärast?

106. Õhu niiskus. Vabalt veepinnalt, nagu mered, järved, jõed jne., aurab vahetpidamata vett (niiskust) õhku. Sellepärast on õhus alati suuremal või vähemal määral veeauru. Lihtsad katsed näitavad, et see on tõepoolest nõnda: kloorkaltsium imeb enesesse õhus olevat veeauru ja läheb selle tõttu varssi märjaks, kallame soojas toas väljastpoolt hästi ära kuivatatud veeklaasi külma vett, siis läheb klaas väljastpoolt niiskeks; aknad „higistavad“ jne. Nimetame **õhu absoluutseks niiskuseks** ühes kuupmeetris olevat veeauru hulka, mõõdetud grammides, **relatiivseks niiskuseks** aga antud ruumis oleva veeauru hulga suhet selle veeauru hulgaga, mis sama temperatuuri juures seda ruumi küllastaks.

107. Absoluutse niiskuse määramine. Vaatame, kuidas on võimalik õhu absoluutset niiskust leida (joon. 100). Selleks võtame U-torud C, D ja E, täidame nad niiskust sisse imeva ainega (kloorkaltsium) ning ühendame isekeskis 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 pääsemist aspiraatorist U-torusse. 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 välja voolanud vee ruumala ja U-torude kaalu juurekasvu. Kui näiteks 5 liitri õhu läbivoolamisel U-torud 0,1 g raskemaks lähevad, siis on õhu absol. niiskus $\frac{0{,}1 \,.\, 1000}{5}$ ehk $20 \frac{g}{m^3}$.



Joon. 100. Absoluutse niiskuse määramine.

108. Relatiivse niiskuse määramine. Tegelikus elus on suure tähtsusega õhu relatiivse niiskuse teadmine, sest see määrab ära, kas antud temperatuuri juures veeauru õhku veel mahub või mitte. Ja sellest oleneb õieti õhu „kuivus" harilikus mõttes.

Relatiivset niiskust võime leida absoluutse niiskuse abil. 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. lhk. 105) leiame, et 20° C juures mahub 1 m^3 õhku 17,3 g küllastunud veeauru. Harilikult väljendatakse relatiivne niiskus %-des (meie juhusel ½—50%); siis näitab relat. niiskus küllastuse määra, s. o. mitu % moodustab õhus juba olemas olev veeauru hulk sellest, mis sinna antud temperatuuri juures maksimaalselt mahuks.

Kõige lihtsam on õhu relatiivset niiskust leida nn. kastepunkti meetodi abil. Meie teame, et gaasi, samuti ka auru rõhumine antud temperatuuri juures oleneb antud ruumalas olevate molekulide hulgast, sest auru rõhumine pole muud, kui üksikute molekulide tõugete summa. Sellest järgneb, et absoluutne niiskus on võrdeline auru rõhumisega ja selle tõttu

$$\text{rel. niiskus} = \frac{\text{olemasoleva veeauru rôhumine}}{\text{küllast. veeauru rôhum. sama temp. j.}}$$

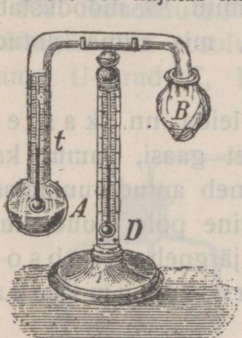
Suhte teise liikme leiame sellekohasest tabelist, kuna suhte esimene liige tuleb igal juhusel katseliselt eraldi määrata. Selleks leiame nn. kastepunkti, s. o. temperatuuri, milleni tuleks õhku jahutada, et temas olev veeaur küllastuks. Olgu näiteks toa temp. 18° C. Jahutame sileda läikiva välispinnaga anumat (hõbetatud ehk kullatud klaas jne.), milles on kas jäävesi või mõni kiiresti aurav vedelik (eeter), nii kaua, kui läikivale pinnale tekib õhukene kaste kord ja ta läheb tuhmiks. Olgu selle juures anuma temperatuur 12°. Anuma jahtudes jahtub ühtlasi ka tema seintega kokkupuutuv õhk ja veeaur; selle juures ei muutu jahtunud veeauru rõhumine, sest ta (jahtunud aur) on otsekoheses kokkupuutumises ümberoleva veeauruga. Sellepärast võime õhus oleva veeauru rõhumise 18° juures lugeda sama suureks, kui küllastunud veeauru rõhumine 12° juures. Viimase suuruse leiame tabelist; ta võrdub 10,5 mm. Sellega siis on otsitav rel. niiskus

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

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

109. Hügromeetrid. Riistu, mille abil õhu niiskuse suurust määratakse, nimet. h ü g r o m e e t r i t e k s.

Joon. 101 kujutab nn. D a n i e l l'i hügromeetrit, mis koosneb toruga ühendatud klaaskerast A ja B. Kera B on tühi ja kaetud võrkriidega (marlega), kuna kera A on umbes pooleni täidetud eeteriga, mille temperatuuri näitab termomeeter t. Kera A välispinna keskmine osa on kullatud. Danielli hügromeetri abil on võimalik kastepunkti määrata, mis järgmiselt sünnib. Klaaskerale B tilgutatakse seni kaua eeterit, kui kera A kullatud pinnale h a k k a b i l m u m a tuhm niiskuse kord ning märgitakse siis otsekohe üles termomeetri t näitamine keras A. Saadud temperatuur ongi otsitav nn. kastepunkt, mille põhjal võime arvutada õhu relatiivse niiskuse. Täpsemaks kastepunkti määramiseks on soovitav üles tähendada termomeetri t näitamine tuhmi korra tekkimise algul ja ära kadumise lõpul ning võtta kastepunktiks saadud temperatuuride aritmeetiline keskmine.

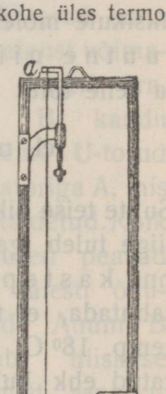


Joon. 101. Daniell'i hügromeeter.

Seleta, kuidas mõjub eeteri tilgutamine kerale B eeteri temperatuuri muutumisele keras A. Mis jaoks on termomeeter tulbal D? Kas ei võiks tarvitada eeteri asemel D. hügromeetris mõnda teist vedelikku? Katsu määrata ligikaudu kastepunkt lund järjest veeklaasi juure lisades seni, kui klaasi välispinnale „higi" hakkab tekkima.

Niiskuse hulga suurenemist ja vähenemist õhus vaadeldakse nn. niiskusenäitajate ehk hügroskoopide abil.

Üks lihtsam neist on kujutatud joon. 102. Tema ehituse aluseks on nähtus, et juuksekarv niiskust sisse imeb ja selle mõjul pikemaks läheb, õhu kuivenedes aga uuesti kokku tõmbub. Juuksekarv on mässitud telje ümber, millega



Joon. 102. Juushügros~~koop~~

H meeter: arvud laual!

ühenduses on näitaja. Juuksekarva pikkuse muutumine paneb näitaja ühes või teises sihis liikuma, mis numbrilaual märgitud niiskusemäära protsentides näitab.

1. Kuidas on võimalik tarbekorral õhu relatiivset niiskust toas suurendada?

2. Mispärast ei ole kaste alati ühteviisi tugev?

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

4. Klassi (9.6.4 m^3) õhu relat. niiskns 18^0 juures on 60%. Palju kaalub kogu klassis olev veeaur?

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 veeauru rõhumine.

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

Keemine.

110. Keemise nähtus ja seadused. Võtame keedupudelisse vett ja hakkame teda soendama. Kui soendamine sünnib alt, põhjast, siis tõusevad soenenud 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 juurevoolamisel **keema**, s. o. k i i r e s t i a u r u k s m u u t u m a, kus juures auru mullikesed tekivad i g a l p o o l vee sees, iseäranis sääl, kus soojuse juurevool kõige tugevam.

Enne vee täielise keemise algust on kuulda põhjast iseäralist kihinat. Tugeva soojuse juurevoolu mõjul tekivad põhjas auru mullikesed, kuid vähe kõrgemale tõustes jahtuvad nad ja surutakse kokku õhu ning vee rõhumise mõjul. Alles siis, kui kogu vesi on keemistemperatuurini jõudnud, võrdub küllastunud veeauru rõhumine õhu rõhumisega ja mullikesed tõusevad vabalt veepinnale. Sellepärast 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. i g a v e d e l i k h a k k a b k e e m a k i n d l a s e l l e l e k e h a l e o m a s e k e e m i s t e m p e r a t u u r i j u u r e s;

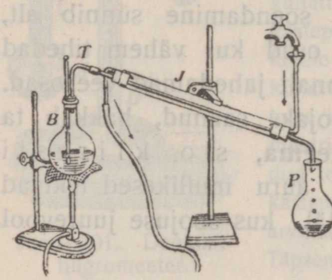
2. k e e m i s t e m p e r a t u u r o n ü h e s u g u n e v e e l d u m i s t e m p e r a t u u r i g a;

3. k e e m i n e k e s t a b n i i k a u a, k u i s o o j u s t j u u r e t u l e b;

4 k o g u k e e m i s e k e s t e s o n t e m p e r a t u u r j ä ä v.

Katsed näitavad, et vedeliku temperatuur keemisel oleneb vähesel 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. Sellepärast määratakse vedeliku keemistemperatuur keevast vedelikust tekkinud auru abil, mis vedeliku kohal.

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



Joon. 103. Destillatsioon.

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

Seleta, kuidas töötab joon. 104 kujutatud destilleerimisaparaat.

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

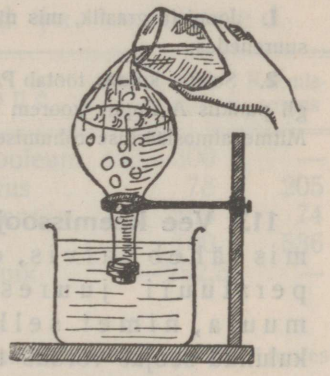
Vahest, näiteks suhkrutööstuses, on tarvis veest lahti saada,

Joon. 104. Destilleerimisaparaat.

ilma et selleks kõrget temperatuuri tarvitataks. Niisugusel juhusel sünnib destilleerimine madala rõhumise juures.

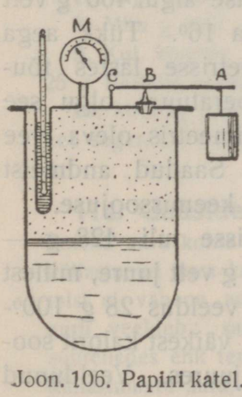
112. Keemistemperatuuri olenevus rõhumisest. Meie teame (§ 105), et küllastunud auru rõhumine suureneb temperatuuri suurenedes. Ühtlasi teame ka, et keemistemperatuuri juures võrdub küllastunud auru rõhumine vedeliku välisrõhumisega. Sellest järgneb, et vedeliku keemistemperatuur peab olema vedeliku välisrõhumisega samuti seotud, kui küllastunud auru rõhumine vst. temperatuuriga, s.o. suurenema rõhumise suurenemisega ja ümberpöördult.

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



Joon. 105. Rôhumise vähenedes keemistemperatuur langeb.

Võtame keedupudeli, täidame umbes pooleni veega ja ajame keema. Laseme mône minuti keeda, nii et aur keedupudelist enesega kôik ôhu ühes kaasa viiks ja keedupudelis vee kohal ainult aur oleks. Nüüd paneme keedupudeli kôvasti kinni, pöörame ümber ja pistame kaela otsapidi vee alla (joon. 105). Keemine jääb kohe seisma, sest lôppis soojuse juurevoolamine. Temperatuur langeb varssi alla keemistemperatuuri. Külma vett pääle kallates jahutame keedupudelis olevat auru, millest osa veeldus ; selle läbi väheneb auru rõhumine vee pääle ja vesi hakkab uuesti keema. Lume vôi jää abil tublisti jahutades võime sedaviisi vee keemistemperatuuri kuni kolme-, neljakümne kraadini alla viia.



Joon. 106. Papini katel.

Vesi keeb 100^0 juures ainult siis, kui õhu rõhumine 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 nn. P a p i n i k a t e l t (joon. 106) mis on tugeva seintega kinnine katel, varustatud termomeetri ja manomeetriga.

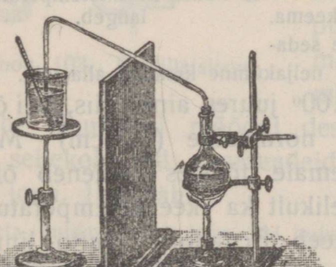
Täpsed mõõtmised annavad järgmise keemistemperatuuri (t^0 C) olenevuse rõhumisest $\left(p \frac{kg}{cm^2}\right)$:

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. Joonista graafik, mis näitab vee keemistemperatuuri muutumist rôhumise suurenedes.

2. Seleta, kuidas töötab Papini katla kaitseventiil. Oletame, et ventiili kangil punktis A rippuv koorem kaalub 1 kg ja kaitseventiili läbilôige on 0,2 cm^2. Mitme atmosfäärilise rôhumise juures hakkab ventiil auru välja laskma?

113. Vee keemissoojuse määramine. Soojuse hulka, mis läheb tarvis, et 1 g antud ainet keemistemperatuuri juures vedelast olekust auruks muuta, nimet. selle aine **keemissoojuseks.** Et keemisel kulunud soojus võrdub täpselt selle soojuse hulgaga, mis veeldumisel vabaneb, siis mõõdetakse esimest viimase abil.



Joon. 107. Vee keemissoojuse määramine.

Juhime keedupudelis keeva vee auru kõvera toru kaudu kalorimeetrisse (joon. 107). Olgu kalorimeetris katse algul 400 g vett temperatuuriga 16^0. 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 juure, millest järeldame, et veeldus 28 g 100^0-list veeauru. Selle juures pidi vabanema 28 x väikest kalorit soojust, kui tähistada x-ga vee keemissoojust 100^0 juures. Veeldunud aur jahtus $(100-56{,}5)^0$ võrra ja andis ära $(100-56{,}5)$ 28 v. kal. soojust. Vesi kalorimeetris soenes $(56{,}5-16)^0$ võrra ja sai sellega juure 400. (56,5—16) v. kalorit soojust. Et vesi kalorimeetris soenes 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 $x = 535$ v. kalorit.

Täpsete mõõtmiste järele on **vee keemissoojus 536 v. kalorit** grammi kohta normaalrõhumise juures.

Keemistemperatuurid ja soojused.

Aine	Keemistemperatuur	Keemissoojus	Aine	Keemistemperatuur	Keemissoojus
Bensiin .	90–110	92,9	Petrooleum	150–300	—
Eeter .	35	90,4	Piiritus .	78	205
Elavhõbe .	357	—	Terpentiin	159	74
Hapnik .	—183	—	Vesi . .	100	536
Lämmastik	—194	—	Vesinik .	—252,5	—

1. Mis vahe on keemise ja auramise vahel?

2. Palju vabaneb soojust 20 g veeauru veeldumisel keemistemperatuuri juures?

3. Seleta, kuidas saadakse soolajärvedess soola auramise teel.

4. Mispärast môjub kuum aur pôletavamalt kui vesi sama temperatuuri juures?

5. Palju on keemistemperatuur S.-Munamäe otsas madalam kui merepinnal?

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

7. 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?

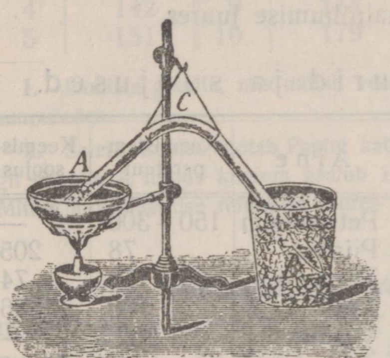
9. Kui kôrgele tôuseb 500 g 15°-lise vee temperatuur, kui temas veeldub 25 g 100°-list veeauru?

10. Mitu kg 100°-list veeauru peab juhtima 5 kg — 10°-lise jää ja 3 kg + 15°-lise vee segusse, et segu lôpptemperatuur 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 rôhumist ei vähene auru ruumala vastavalt Boyle-Mariotte'i seadusele, vaid osa auru veeldub; samas môttes môjub ka temperatuuri langemine. Ruumala suurenedes ehk temperatuuri tôustes aga kaob küllastunud olek ja meie saame küllastumatu auru, mis allub Boyle-Mariotte'i ja Gay-Lussac'i seadustele.

Küllastumatu auru võime kergesti rõhumise suurendamise (ruumala vähendamise) ehk temperatuuri langemise abil küllastuseni viia ja siit edasi sama võtete abil veeldumiseni. Et gaasid ja küllastumatu aur samadele korrapärasustele alluvad, siis paistab olevat loomulik, et ka gaase 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 süsihapugaasi). Faraday korraldas oma gaaside veeldamise katsed järgmiselt.

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



Joon. 108. Gaaside veeldumine.

Dr. Andrews'il läks korda parajat rõhumist ja temperatuuri tarvitades ka süsihapugaasi veeldada. Selle juures pani ta tähele, et niikaua kui süsihapugaasi temperatuur oli alla 30,9° C, oli võimalik veeldada süsihapugaasi, suurendades tarviliselt rõhumist; tõusis aga temperatuur üle 30,9°, siis ei olnud see enam võimalik mistahes suure rõhumise juures. Temperatuur 30,9° nimet. sellepärast süsihapugaasi k r i i t i l i s e k s t e m p e r a t u u r i k s. Allpool kriitilist temperatuuri on süsihapugaasil küllastumatu auruga ühine omadus — veelduda rõhumise suurendamise abil, kuna ülalpool kriitilist temperatuuri a i n u l t r õ h u m i s e s t süsihapugaasi veeldumiseks ei jatku.

Samas mõttes tarvitatakse kriitilise temperatuuri mõistet ka teiste gaaside kohta.

Igal gaasil on oma kriitiline temperatuur. Nii näiteks on eeteri kriit. temp. 194° C, veel 370°, hapnikul — 130° C, lämmastikul — 167° C jne. Siit näeme, et nn. permanentsed gaasid (hapnik, lämmastik jne.) erinevad nn. aurudest (eeter, vesi jne.) ainult selle poolest, et nende kriitiline temperatuur on väga madal võrreldes meie hariliku temperatuuriga. Sellepärast pole meil ka võimalik nn. permanentseid gaase ainult rõhumisega veeldada. Kokkuvõttes võime aine olekud järgmiselt järjestada:

$$\text{kõva} \;\underbrace{\Big|}_{\substack{\text{sulamis-}\\ \text{temper.}}}\; \text{vedel} \longrightarrow \underbrace{\Big|}_{\substack{\text{keemis-}\\ \text{temper.}}}\; \text{aur} \longrightarrow \underbrace{\Big|}_{\substack{\text{kriitiline}\\ \text{temper.}}}\; \text{gaas}$$

Soojuse levimine

115. Soojuse juhtivus. Võtame raudnaela ehk, mis veel parem, tükikese vasktraati ja hoiame tema ühte otsa näppude vahel, teist otsa aga soendame tulel. Varssi tunneme, et näppude vahel olev traadi ots kuumaks läheb ja meie peame ta lahti laskma, kui ei taha näppusid ära põletada. Tähendab, soojus läheb naela või traati mööda edasi ühest otsast teise. Nimetame niisuguse soojuse levimise viisi, kus soojus otsekohe edasi andub keha soemast aine osakesest külmemale, s o o j u s e j u h t i v u s e k s ja keha, mida mööda soojus seda viisi edasi läheb, s o o j u s e j u h i k s.

Katsed näitavad, et kehad soojuse juhtivuse suhtes teineteisest 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.

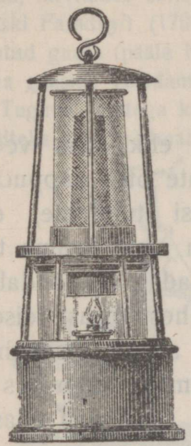
Joon. 109. Vask on hää soojuse juht.

J. 110. Leek püsib ühelpool vaskvõrku.

Puu on halb soojuse juht; seda teame igaüks tuletiku tarvitamisest (kuidas?).

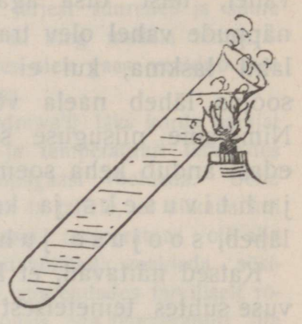
Väga hää soojuse juht on vask. Rõngasse käänatud vasktraati küünla leegil hoides (joon. 109), kustub küünal. Põhjuseks on asjaolu, et soojus leegist vasktraati mööda laiali kandub ja põleva gaasi niivõrd ära jahutab, et leek kustub. Sellel vase omadusel põhjeneb vaskvõrgu tarvitamine, et gaasi leeki ühelpool võrku hoida (joon. 110); esimesel juhusel (a) on gaas süüdatud altpoolt, teisel juhusel (b) ülaltpoolt võrku.

Vaskvõrgu suur juhtivus leiab kasutamist ka **Davy kaitselambi** ehitamisel (joon. 111). Lambi leek on ümbritsetud tiheda vaskvõrguga. Kui kaevanduses on kogunud plahvatavat gaasi, siis tekivad väikesed kahjuta plahvatused võrgu sees ja annavad märku hädaohtlikust seisukorrast.



Joon. 111. Davy kaitselamp.

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



Joon. 112. Vesi on halb soojuse juht.

Täpsed mõõtmised näitavad, et vee soojuse juhtivus on umbes 1200 korda vähem hõbeda juhtivusest ja gaaside juhtivus keskmiselt umbes 25 korda vähem kui veel.

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

Hõbe	100	Inglistina	15	Jää	0,21
Vask	74	Raud	12	Klaas	0,046
Kuld	53	Tina	8,5	Vesi	0,1
Valgevask	27	Elavhõbe	1,35	Õhk	0,005

1. Kuidas võiksime enestele ette kujutada 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 talveakendest?

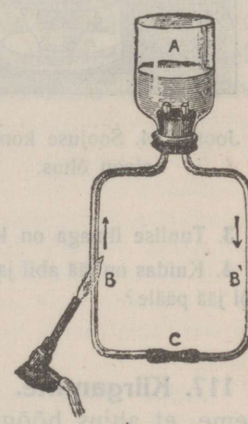
5. Missugune soojuse juht on maa koor?

6. Tuha all ei kustu söed mitte nii pea. Mis võime sellest järeldada?

7. Märg käsi või keel külmab silmapilk külma raua külge, mitte aga puu külge. Mispärast?

116. Soojuse konvektsioon. Katseklaasis vett alt soendades näeme. et vesi ka päält kohe soojaks minema hakkab, sest soenedes veeosad paisuvad, nende tihedus väheneb ja nad tõusevad üles. Ülestõusnud veeosade asemele langevad ülalt alla jahedad suurema tihedusega veeosad. Nii kandub soojus seganedes 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 liikuma hakkab ja sellega vee liikumise meile nähtavaks teeb. Veel selgema pildi vee liikumisest soendamisel saame, kui sama katset sellekohase anumaga teeme, nagu joon. 113 näha.

Anum A on täidetud veega nii, et toru BCB′ otsad kaetud oleksid. Lisame veele anumas A vähe tinti või mõnda teist värvainet juure, et vedeliku liikumine paremini näha oleks. Toru B väikese leegiga soendades saame vee liikumise noole sihis. Mispärast?

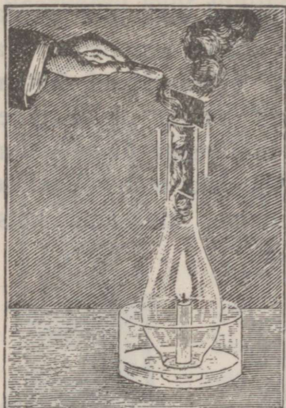


Joon. 113. Soojuse konvektsioon vees.

Niisugust soojuse laialilagunemise 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 kergesti liikuda annavad, s. o. vedelates 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 juure tagasi liigub. Samuti ka, kui uks või aken, mis külma ruumi soemast lahutab, paokile teha, võime põlevat küünalt ülal ja all ukse või akna ääres hoides näha, et soe õhk voolab ülalt jahedamasse ja külm õhk alt soemasse ruumi.

Konvektsiooni õhus näitab meile selgelt ka järgmine katse (joon. 114). Madala anuma põhjal seisev küünal põleb lambiklaasi sees. Kui vähe vett anuma põhja valada, kustub küünal peagi, sest vesi takistab värske õhu juurevoolu. Nüüd jagame lambiklaasi ülemise osa papitükiga pooleks. Küünalt uuesti põlema süüdates ei kustu ta enam mitte, sest nüüd voolab värske õhk kui korstnast ühelt poolt sisse ja põlemise produktid teiselt poolt välja. Seda õhu voolu on suitsu abil kerge tähele panna.



Joon. 114. Soojuse konvektsioon õhus.

Konvektsioon mängib suurt osa looduses kui ka igapäevases elus. Tuuled, merehoovused, ventilatsioon, kuuma vee keskküte, mille põhimõte selgub joon. 113 kujutatud katsest, jne. on kõik konvektsiooni nähtused.

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: kas panna jahutatav keha jää alla või jää pääle?

117. Kiirgamine. Küdeva lahtise ahjusuu juures seistes tunneme, et ahjus hõõguvatest sütest meile alatasa soojust voolab. Hõõguvate süte soojus ei levine sel juhusel konvektsiooni kaudu, sest õhu vool on sihitud toast ahju. Ka juhtivuse abil ei saa meie nähtust seletada, sest konvektsiooni vool ahju sihis hävitab täiesti juhtivuse abil õhus levinenud soojuse mõju. Sellest järeldame, et pääle juhtivuse ja konvektsiooni peab olema veel mõni viis soojuse energia levimiseks. Juhtivuse ja konvektsiooni juures levineb 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 sünnib küdevast ahjust, päikesest jne., k i i r g a m i s e k s. Mitte ainult helenevad kehad, nagu päike, hõõguvad söed, põlev lamp jne., ei kiirga soojust, vaid ka tumedad kehad, nagu ahi, triikraud, teemasin jne. Üldse iga keha saadab enesest soojuse kiiri välja, s. o. kiirgab.

Põhjalikumalt räägime kiirgamisest valguse ja elektri nähtuste tundma õppimisel. Nüüd märgime ära ainult mõne tähtsama kiirgamise iseärasuse.

Kui päikese varjutamisel valgus ära kaob, siis ühes sellega lõpeb ka soojuse kiirgamine. Sellest järeldame, et *soojuse kiirgamise levimise kiirus võrdub valguse omaga*, s. o. $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

Lihtsad tähelepanekud (missugused?) näitavad, et soojuse kiirgamine sünnib *sirgjooneliselt*.

Ka võib kiirgav soojus *keskkonnast läbi minna, ilma* et ta seda keskkonda *soendaks*. Näiteks päikese kiired võivad õhust läbi tungida, ilma et õhk selle juures soemaks läheks. On ju õhk ülemistes kihtides ka kõige palavamal suve päeval väga külm.

V tuntavalt

kui?

Soojuse energia ja töö

118. Päikese konstant. 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 määratud hulgad energiat ilmaruumi laiali; maa pääle langeb ainult väikene osa $\left(\sim\frac{1}{2 \cdot 10^9}\right)$ 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 ettetulevate liikumiste algpõhjuseks. Päikese kiirte soojus tõstab merest vee õhku ja kannab ta tuulte abil mööda maad laiali, niisutades põldusid, tekitades allikaid, jõgesid, koski ning jugasid jne. Taime ja loomakasv on võimalik ainult päikese elustavate kiirte mõjul, ka maapõuest välja kaevatavad põletisained, nagu kivisüsi, põlevkivi jne. on endiste aegade energia pärandus.

Päikeselt saadava energia hulga üle võime otsustada nn. p ä i k e s e ehk s o l a a r - k o n s t a n d i abil. Päikese konstandiks nimet. soojuse hulka, mis langeks maapinnal päikese kiirtele risti vastu asetatud 1 cm^2-lisele pinnale 1 minuti jooksul, oletades, et õhkkond läbiminevatest päikese kiirtest midagi ära ei neela. Sellekohased täpsed mõõtmised näitavad, et päikese konstandi suurus on $\sim$ **2** gramm-kalorit (õigemini 1,93). Et meil võimalik ei ole õhkkonna neelavat mõju kõrvaldada, siis jõuab paremal juhusel (päike on seenitis ja õhk selge ning tolmuvaba) ainult 0,8 sellest soojusest merepinnani, kuna 0,2 õhku jääb. Mida madalamal on päike, seda pikem on ta kiirte tee õhkkonnas ja seda vähem soojuse energiat saab maapind.

119. Põletisained ja nende kütteväärtused. Põletisained, nagu puu, kivisüsi, turvas, petrooleum, valgustusgaas jne. sisalđavad enestes suurel hulgal energiat, mis põlemisel peaasjalikult soojuse energiaks moondub.

Nii näiteks tekib 1 kg puusöe ärapõlemisel, s. o. süsiniku ja hapniku ühinemisel süsihapugaasiks (CO_2), $\sim$ 8000 kg-kalorit soojust. Veel rohkem soojust tekib vesiniku ühinemisel hapnikuga ehk veeks põlemisel, kus tekib iga kg vesiniku ärapõlemisel $\sim$ 34.000 kg-kalorit soojust. Kütteainete põlemisel tekkinud soojust võime lugeda igapäevases elus kõige tähtsamaks soojuse allikaks. Ka meie kehas tekib soojus toiduainete pikaldase põlemise, s. o. õhuhapnikuga ühinemise tagajärjel.

Põletisainete hindamisel tuleb silmas pidada nende küttevääртusi, s. o. soojuse hulka, mis tekib 1 kg selle aine täielisel ära põlemisel. Toome järgnevas tabelis tähtsamate põletisainete kütteväärtused kg-kalorites.

Kivisüsi	7000—8000
Petrooleum	11000
Piiritus	7200
Puu, õhukuiv, (20—25% niiskust)	$\sim$3000
Puusüsi põlemisel CO_2-ks	8100
" " CO-ks	2420
Põlevkivi (15% niiskust)	3350
Turvas (25% niiskust)	3280
Valgustusgaas	10000
Vesinik veeks põlemisel	34200

1. Ahjutäis kasepuid kaalub 35 kg. Palju soojust tekib selle puude hulga täielisel ärapõlemisel? Palju sellest soojuse hulgast kulub puudes oleva vee (25%) auruks muutmiseks?

2. Oletame, et eelmises ülesandes puuduliku õhu juurevoolu tõttu 10 kg ei põlenud mitte täiesti ära, vaid muutus süsihapendiks (CO). Mitu % läks selle läbi terve ahjutäie kütteväärtusest kaduma?

3. Jõõpra rabas on $\sim$ 7.279 miljonit puuda põletisturvast. Mitme kantsülla kasepuude väärtusele see vastab, kui selle turba kütteväärtuseks arvata 3400 $\frac{\text{s-kal}}{\text{kg}}$ ja jooksev süld 3/4 ars. kasepuid kaalub 1450 kg?

120. Töö moondumine soojuseks. Mehaanilist tööd võime kergesti soojuseks moondada. Selleks on meil igapäevasest elust küllalt näiteid. Hõõrume peopesasid kiiresti teineteise

Eapsate 3 432,5

vastu, siis tunneme, et nad soojaks lähevad, sest hõõrumise ületamiseks kulutatud töö moondub soojuseks. Kahe kuiva puutüki teineteise vastu hõõrumisel võime tuld saada. Sel teel saadi tuld vanasti ja veel koguni hilise ajani metsrahvaste juures. Joon. 115 kujutab sellekohast puuri, mis eskimod tule saamiseks tarvitasid. Alas läheb tagumisel kuumaks; väikesed kosmilised kehakesed, sattudes maa õhkkonda, lähevad vastu õhku hõõrudes kuumaks, hakkavad helenema ja põlevad sagedasti hoopis ära; jalgratta kummisid õhuga täites läheb pump kuumaks, traadi painutamisel painutamiskoht jne. Neist näidetest selgub, et mehaaniline töö muutub kergesti soojuseks.

Joon. 115. Eskimod puurivad tuld.

1. Too veel näiteid mehaanilise töö soojuseks moondumise kohta.

2. Meie esivanemad tarvitasid tule saamiseks nn. tulerauda. Seleta selle tarvitamine.

3. Seleta lähemalt joon. 115 kujutatud eskimode tulesaamise viisi.

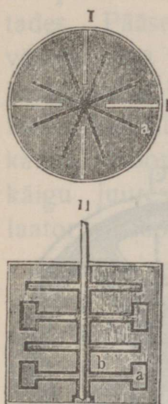
121. Soojuse mehaaniline ekvivalent. Meie nägime, et mehaaniline töö võib moonduda soojuseks. Täpse sideme kulutatud töö hulga ja sellest tekkinud soojuse hulga vahel leidsid esimestena sakslane Robert Mayer (1814—1878)[1] ja inglane James Prescott Joule (1818—1889). Suure hulga katsete[2] tulemusena võib öelda, et töö moondumisel soojuseks on alati **427**[3] **kg-m** ühevääriline ehk ekvivalentne **1 kg-kaloriga**, sellepärast nimet. 427 kg-m soojuse (1 kg-kalori) mehaaniliseks ekvivalendiks.

Tutvuneme lühidalt ühe meetodiga, mille abil Joule määras soojuse mehaanilise ekvivalendi.

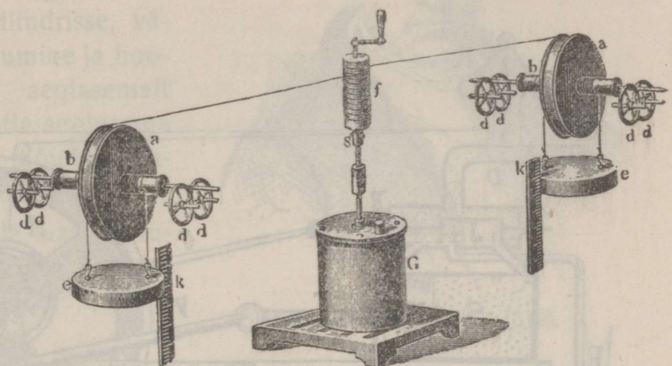
Anumas G (joon. 117) pöörleb labidatega keha, mis kujutatud läbilõikes joonisel 116. Keha pöörlema panemiseks tarvitatakse võlli f-ga niidi abil ühendatud koormaid e. Raskuse mõjul alla langedes teevad koormad e tööd, mis kulub anumas G oleva

val

vee takistuse ületamiseks labidate pöörlemisel. Kulutatud töö moondub soojuseks ja vee temperatuur tõuseb. Ära mõõtes koormate langemisel tehtud töö suuruse (kuidas?) ja anumas G kui kalorimeetris juure tulnud soojuse hulga (kuidas?) on võimalik arvutada soojuse mehaanilist ekvivalenti.



Joon. 116.



Joon. 117.

Joule'i viis soojuse meh. ekvivalendi määramisel.

Lihtsamal kujul vôib toimetada soojuse mehaanilise ekvivalendi ligikaudset määramist järgmiselt. Pikas papptorus on teatud hulk tinahaavleid. Toru püsti hoides ja äkki ümber pöörates langevad haavlid teise otsa. Selle juures moondub langemisel kulunud raskustungi töö soojuseks ja haavlite temperatuur tôuseb. Sedaviisi haavleid mitu korda edasi-tagasi valades ja ära môôtes toru pikkuse, haavlite massi ja alg- ning lôpptemperatuuri, vôime saadud andmeist arvutada soojuse mehaanilise ekvivalendi. Kuidas?

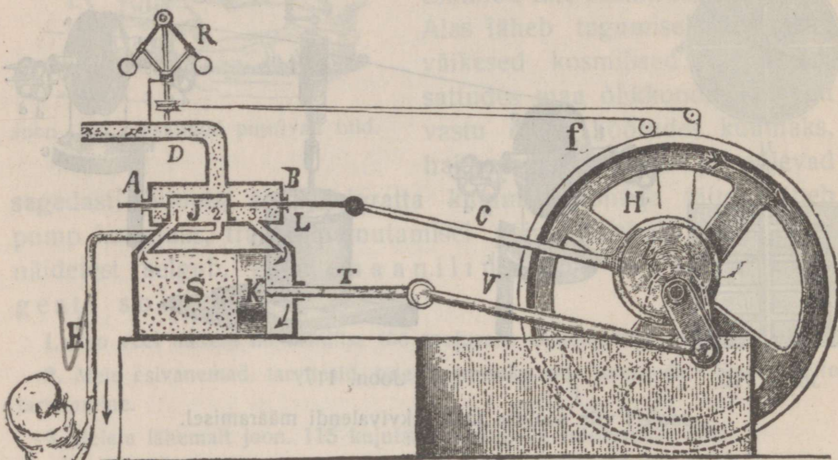
1. Väljenda soojuse meh. ekvivalent ergides ja töö soojuse ekvivalent v. kalorites.

2. Kui suure igapäevase söekaevanduse toodanguga (tonnides) on ühevääriline Narva kose energia (75.000 HP).

3. Eesti Vabariigi praegust aastast energiatarvitust hinnatakse umbes 50.10^6 kilovatt-tundi. Mitmeks aastaks jätkuks Jôôpra raba energia tagavaradest kogu Eesti energiatarvituse täitmiseks (v. § 119)? Palju suudaks Narva kosk meie üldisest energiatarvitusest täita?

122. Aurumasin. Soojuse energia moondumine tööks sünnib peaasjalikult aurumasina ja plahvatusmootori abil.

Aurumasina töötamine selgub skemaatilisest joonisest 118. Toru D mööda juhitakse aur katlast a u r u k a r p i AB, millest kolm toru välja lähevad: torud 1 ja 3 ühendavad aurukarpi a u r u - s i l i n d r i g a S, toru 2 kaudu juhitakse läbitöötatud aur masinast välja. Aurukarbis liigub tihedalt edasi-tagasi j a o t a j a J, kord 1., kord 3. toru kaudu aurukarpi aurusilindriga ühendades. Silindris S liigub tihedalt edasi-tagasi k a n n K.



Joon. 118. Aurumasina skeem.

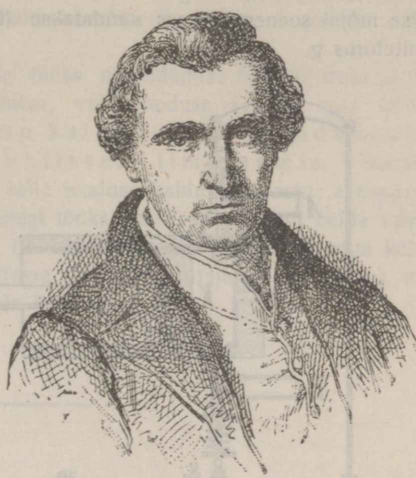
Joonisel kujutatud asendis tuleb aur katlast, tungib paremale poole kanni taha ja rõhub teda pahemale poole. Silindris pahemal pool kanni olev aur läheb jaotaja alt toru 2 kaudu välja. On kann silindri pahemasse otsa jõudnud, nihkub jaotaja niivõrd paremale poole, et ta toru 3 kinni katab ja toru 1 kaudu aurukarpi silindriga ühendab. Nüüd tungib katlast tulev aur pahemale poole kanni taha ja rõhub kanni paremale poole silindri otsa, kuna kanni taga olev aur endist viisi toru 2 kaudu masinast välja juhitakse. Kanni edasi-tagasi liikumised antakse väntade abil hoorattale edasi, teda pöörlema pannes. Hoorattal käib rihm, mis masinaid ümber veab.

Jaotaja edasi-tagasi nihkumine sünnib automaatselt hooratta võlli külge kinnitatud nn. e k s t s e n t r i k u E abil. Auru silindrisse pääsmist reguleerib toru D küljes olev tsentrifugaal-

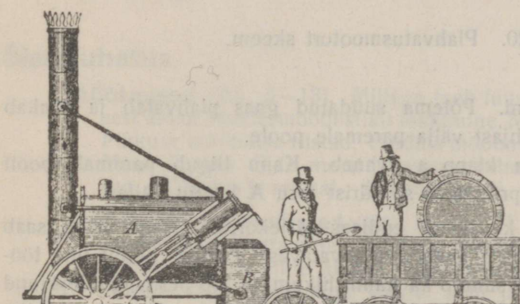
joonisel 2 E-d

regulaator R, mis rihmade f abil hooratta võlliga ühendatud. Hakkab hooratas kiiremini käima, tõusevad regulaatori R kerakesed kõrgemale, sellega 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.



James Watt (1736—1819).



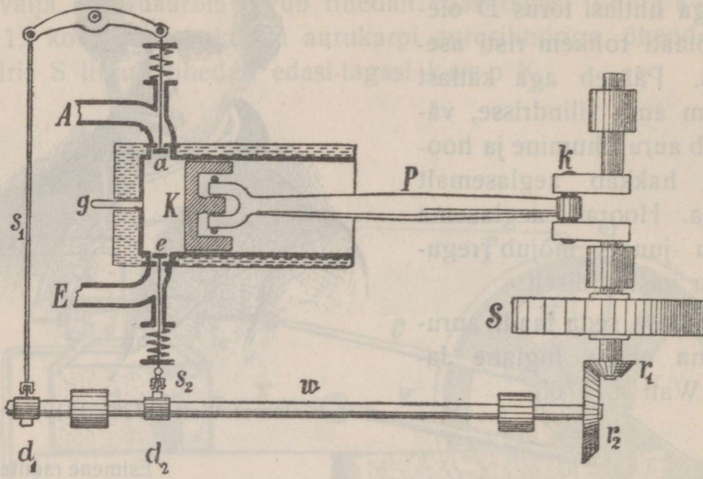
Joon. 119. Rocket.

Esimene raudtee avati sada aastat tagasi (1825) Inglismaal. Joon. 119 kujutab esimeste vedurite ja raudteede ehitaja G. Stephensoni poolt a. 1829 ehitatud vedurit (Rocket), mis hulk aega tarvitusel püsis. Kirjelda seda vedurit ja võrdle teda praeguste raudtee veduritega. Kust tuleb sõna vagun?

123. Plahvatusmootori töötamine selgub joon. 120 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 ära tarvitatud ained säält välja. Üks töötamise periood seisab koos 4 osast ehk nn. taktist.

1. Kann liigub silindripõhjast 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 vôi gaasi. Môlemad klapid (a ja e) on kinni. Kokkusurumise môjul soenenud gaas süüdatakse (elektrisäde) selle takti lôpul põlema süütetorus g.



Joon. 120. Plahvatusmootori skeem.

3. Môlemad klapid on kinni. Pôlema süüdatud gaas plahvatab ja tôukab kanni suure hooga silindri pôhjast välja paremale poole.

4. Klapp e on kinni, kuna klapp a avaneb. Kann liigub paremalt poolt pahemale ja tôukab plahvatusproduktid silindrist toru A kaudu välja.

Edaspidised kanni käigud korduvad endises järjekorras. Nagu näha, saab siin kann kahe edasi-tagasi käigu jooksul plahvatavast gaasist ainult ühe töövôimsa tôuke. Selle töö arvel sünnib ka kanni liikumine töö perioodi ülejäänud kolme takti jooksul. Mootori käima panemiseks tuleb alguses hooratas sellekohase vända abil kiiresti pöörlema panna.

Klappide a ja e avamine sünnib automaatselt vôlli 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 vôrreldes aurumasinaga.

124. Soojuse tööks moondamise koeffitsient. Aurumasina ja plahvatusmootori abil moondame soojuse energiat mehaaniliseks tööks. Selle juures saame iga 1 s. kalori arvel 427 kg-m tööd. Kuid kahjuks ei vôimalda aurumasin ega plahvatusmootor kuigi suurt osa masinas tekitatud soojusest tööks moondada. Paremad aurumasinad moondavad tööks praegusel ajal ainult

$\sim 17\%$ kütteainest tekkinud soojusest, kuna kôige paremal (ideaalsel) juhusel see protsent võiks tõusta kuni 23-ni. Harilikud vedurid ja lokomotiivid ei moonda tööks rohkem kui $\sim 8\%$. Plahvatusmootorite juures on soojuse tööks moondamise % suurem ($\sim 25\%$).

Vôrdlemisi väikese soojuse energia tööks moondumise % pôhjuseks ei ole mitte niivõrd masinate puudulik ehitus, vaid looduse seadus, mis ütleb: **kôikidel energia liikidel on kalduvus moonduda soojuseks, mis püüab levineda ühtlaselt ilmaruumis.** Soojuse moondamine tööks masinate abil käib selle looduse kalduvuse vastu; sellepärast võimaldab meile loodus moondada soojust tööks ainult siis, kui nii öelda vastutasuks sünnib sellega ühtlasi soojuse liikumine kôrgema temperatuuriga kehadest madalama temperatuuriga kehadesse (katlast jahutajasse vôi ôhku), mis aitab kaasa soojuse ühtlasele levimisele ilmaruumis.

Sisu

lhk.

Sissejuhatus 3

Mõõtmised (lhk. 3—13). Millega teeb füüsika tegemist. Môõtmisest üldse. Meetermõõdustiku tekkimine. Meeter. Pikkuse üksused. Pikkuse môôtmise riistad. Pindala mõõtmine. Ruumala môôtmine. Mass. Raskus. Side massi ja raskuse vahel. Massi ja kaalu üksused. Tihedus ja erikaal. Aja môôtmine. Pôhiüksused.

Mehaanika põhimõisted (lhk. 14—31). Liikumine ja paigalolek. Liikumiste liigitamine. Ühtlase liikumise kiirus. Mitteühtlane liikumine. Keskmine kiirus. Liikumise teede liitmine. Kiiruste liitmine ning lahutamfne. Inerts. Tung ja selle môôtmine. Tungi graafiline kujutamine. Tasakaal. Tungide liitmine. Tungide lahutamine. Töö ja selle môôtmine. Kang. Kangide liigitamine. Töö kangil. Vôimsus. Energia. Energia jäävuse seadus.

Vedelikud 33

Rõhumise nähtused vedelikkudes (lhk. 32—42). Vedelikkude üldomadused. Rôhu edasiandmine vedelikus. Pascali seadus. Vesipress. Vedeliku rôhumine anuma põhja pääle. Rôhumine vedeliku sees. Hüdrostaatilised paradoksid. Ühendatud anumad sama ja kahe isesuguse vedelikuga. Arhimedese seadus. Ujumine. Erikaalu määramine Arhimedese seaduse pôhjal. Areomeetrid.

Molekulaarnähtused vedelikkudes (lhk. 43—51). Aine jagatavus. Hüpotees ja teooria. Kehade ehitus molekulaarhüpoteesi pôhjal. Kohäsioontung. Adhäsioontung. Pindpinevus. Plateau katse. Vedeliku vaba pind anuma seina läheduses. Kapillaarsus. Diffusioon ja osmos.

lhk.
Gaasid 52

Rõhumise nähtused gaasides (lhk. 52–63). Gaaside üldomadused. Õhu kaal. Õhu rõhumine. Torricelli katse. Õhu rõhumise suurus. Baromeetrid. Baromeetri kasutamine. Arhimedese seadus gaaside kohta. Boyle-Mariotte'i seadus.

Mõned gaaside omadustel põhjenevad riistad (lhk. 64—69). Veepumbad. Sifoon. Manomeetrid. Õhu hõrenduspump. Õhu surujapump. Lõõts.

Soojus 70

Temperatuuri mõõtmine (70—75). Temperatuur ja soojus. Temperatuuri mõõtmine. Termomeetri ehitamine. Termomeetri skaalad. Termomeetri ajalugu. Maksimum- ja miinimumtermomeeter. Soojus molekulaarhüpoteesi põhjal.

Kehade paisumine soendamisel (lhk. 76—89). Kõvade kehade paisumine. Paisumisest üldse. Kõvade kehade joonpaisumise koeffitsient. Joonpaisumise koeffitsiendi määramine. Pindpaisumise koeffitsient. Ruumpaisumise koeffitsient. Erikaalu (tiheduse) olenevus temperatuurist. Vedelikkude paisumine. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine. Vedeliku näiva paisumise koeffitsiendi leidmine. Vee paisumise iseärasused. Gaaside paisumine. Gay-Lussac'i seadus. Gaasi paisumiskoeffitsiendi määramine. Boyle-Mariotte'i—Gay-Lussac'i valem. Gaasi rõhumise olenevus temperatuurist. Absoluutne temperatuur. Gaastermomeeter.

Soojuse hulga mõõtmine (lhk. 90—95). Vahe soojusehulga ja temperatuuri vahel. Soojusehulga mõõtmine. Segamisülesanded. Keha soojamahtuvus. Aine erisoojus. Erisoojuse leidmine segamisviisi abil. Gaaside erisoojus.

Aine oleku muutumine (lhk. 96—114). Sulamine. Sulamise ja kõvastumise nähtus ning seadused. Aine sulamissoojus. Jää sulamissoojuse leidmine. Ruumala muutumine kõvastumisel. Sulamistemperatuuri olenevus rõhumisest. Jahutavad segud. Ülejahutamine. Auramine ja niiskus. Auramine lahtises anumas. Auramine kinnises anumas. Küllastunud auru rõhumine. Õhu niiskus. Absoluutse niiskuse määramine. Relatiivse niiskuse määramine. Hügromeetrid. Keemine. Keemise nähtus ja seadused. Veeldumine. Destillatsioon. Keemistemperatuuri olenevus rõhumisest. Vee keemissoojuse määramine. Gaaside veeldumine ja kriitiline temperatuur.

Soojuse levimine (lhk. 115—119). Soojuse juhtivus. Soojuse konvektsioon. Kiirgamine.

Soojuse energia ja töö (lhk. 120—127). Päikese konstant. Põletisained ja nende kütteväärtused. Töö moondumine soojuseks. Soojuse mehaaniline ekvivalent. Aurumasin. Plahvatusmootor. Soojuse tööks moondumise koeffitsient.

Hind köitmatult 130, köidetult 150 marka

Pääladu Kirjastus A-S. „Varrak'u" juures Tartus,
Rüütli tän. 24