Duplum

E. KILKSON JA J. LANG

FÜÜSIKA

GÜMNAASIUMI I JA II KLASSILE

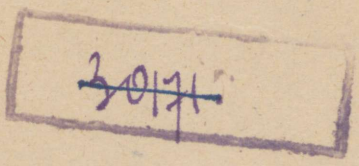
TARTU EESTI KIRJASTUS

Duplum

E. KILKSON — J. LANG

FÜÜSIKA

GÜMNAASIUMI I JA II KLASSILE



TARTU EESTI KIRJASTUS



2-63898

5., ümbertöötatud trükk.

A- 13928

Korrektor A. Tigane.

Majandus- ja Rahandusdirektooriumi trükikäitised.
End. nats. O./ü. K. Mattieseni trükikoda, Tartu, 1942.

Eessõna.

„Füüsika gümnaasiumi I ja II klassile" esineb käesolevas 5. trükis tublisti ümbertöötatud kujul. Selle põhjuseks on asjaolu, et uue kava kohaselt kogu füüsikaõpetus gümnaasiumis langeb ühe aasta võrra nooremale vanuseastmele kui see oli mõeldud 1938. a. õppekavade koostamisel.

Jäädes üldiselt 1938. a. õppekavade alusele, on püütud õppekavade teemade käsitlust muuta lihtsamaks, näitlikumaks, konkreetsemaks. Selle saavutamiseks on mõned osad hoopis uuesti kirjutatud, teised jälle lühendatud või lihtsustatud, eeskätt matemaatilise elemendi redutseerimise teel. Kogu kursuse ulatuses on tehtud revisjoni lihtsustamise ja rakendusliku elemendi suurendamise suunas.

Õppekavade otsestest nõuetest väljapoole ulatuvad küsimused on laotud endiselt peenema kirjaga. Need on mõeldud paremate õpilaste huvi rahuldamiseks või täiendamiseks kursuse kordamisel.

Autorid.

Tartus, aprillis 1942.

Mõõtmisi ja mõõduühikuid.

1. **Millega tegeleb füüsika?** Meid ümbritsevas looduses on väga palju mitmesuguseid esemeid ehk füüsilisi kehi. Nii näiteks raamat, laud, sulepea, kivi, puu, päike jne., kõik need on füüsilised kehad.

Füüsilised kehad ei püsi pikemat aega samadena, vaid nendega toimuvad alatasa mitmesugused muutused. Jäätükk sulab toas ära ja muutub veeks. Keetmisel kaob vesi keedunõust, ta muutub auruks. Käest lahtilastud kivi langeb maha. Päike tõuseb idast ja loojub läänes. Füüsiliste kehadega toimuvaid muutusi nimetame nähtusteks.

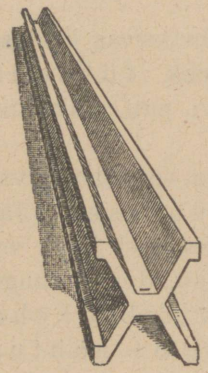
Liikumis-, soojus-, elektri-, valgus- ja teised sellised nähtused kuuluvad füüsikaliste nähtuste hulka. Füüsikas õpime füüsikalisi nähtusi ligemalt tundma, s. o. püüame selgusele jõuda, **kuidas** nad toimuvad ja **mispärast** nad nõnda toimuvad, samuti, kuidas oleks neid võimalik ära kasutada mitmesugusteks praktilisteks otstarveteks. Telefon, raadio, lennuasjandus, veevärk, elektrivalgustus jne., kõik see põhineb avastustel ning leiutistel, mis on tehtud füüsikas.

2. **Mõõtmine ja mõõduühikud.** Füüsikaliste, samuti ka teiste nähtuste põhjalikum tundmaõppimine on paratamatult seotud nähtust iseloomustavate suuruste mõõtmisega.

Mõõtmine on antud suuruse (näiteks toa pikkuse) **võrdlemine** teise sama liiki suurusega (näiteks 1 meetriga), mida nimetame ühikuks. Otstarbekus nõuab, et mõõduühikud oleksid muutumatud, kõigil tarvitajail samad, oma suuruselt mitmesugused, kuid üksteisega

lihtsalt seotud. Neid nõudeid kõige suuremal määral rahuldab XVIII sajandi lõpul prantslaste loodud meetermõõdustik.

3. Pikkusühikud. Meetermõõdustiku põhiühikuks on pikkusühik **meeter** (kreeka keelest: *metron* — mõõt). Meetriks nimetatakse rahvusvahelisele algmeetrile tõmmatud kahe paralleelse kriipsu kaugust teineteisest, mõõdetud jääsulamistemperatuuris. õige täpselt võrdub meeter ühe neljakümne miljondikuga Pariisi läbiva meridiaani pikkusest.



1. joon. Algmeeter.

Rahvusvaheline algmeeter (1. joon.) on valmistatud plaatina ja iridiumi sulamist ning hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude Büroos Sèvres'is, Pariisi lähedal.

Meetermõõdustik on üles ehitatud kümnendsüsteemi alusel. Meeter (**m**) jaguneb 10 detsimeetriks (**dm**), detsimeeter 10 sentimeetriks (**cm**), sentimeeter 10 millimeetriks (**mm**). Meetrist suurema pikkusühikuna tarvitatakse kilomeetrit; 1 kilomeeter (**km**) = 1000 m. Niisiis:

1 m = 10 dm = 100 cm = 1000 mm;
1 km = 1000 m.

1. Kui pikk on Maa ekvaator? meridiaan?

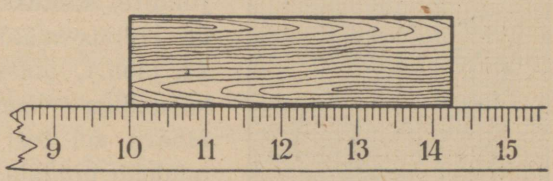
2. Muretse endale vähemalt 1 m pikkune mõõtpael! Kanna seda alati kaasas ning kasuta tarbe korral asjade pikkuse hindamisel!

3. Määra oma sammu keskmine pikkus meetrites!

4. Hinda silma järgi ümberolevate asjade pikkust ja kontrolli seda hiljemini mõõtmise teel!

4. Pikkuse mõõtmine. Pikkuse, samuti teistegi suuruste mõõtmisel tuleb hoolitseda, et ühikud oleksid sobivalt valitud. Näiteks poleks otstarbekas mõõta Tallinna—Tartu vahelist kaugust cm-tes või koolimaja pikkust km-tes. Seepärast tarvitatakse suuremate pikkuste mõõtmisel suuremaid ja väiksemate pikkuste mõõtmisel väiksemaid mõõduühikuid.

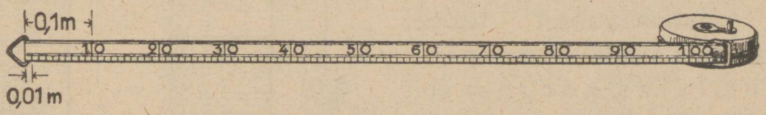
Mõõtmine ise toimub mõõdetava suuruse — pikkuse otsese võrdlemise kaudu mõõtpuu või mõõtpaelaga. Selleks seatakse mõõdetava pikkuse üks ots kohakuti mõõdu 0-kriipsuga ja vaadatakse, missuguse mõõdujaotise või selle osa kohal on mõõdetava pikkuse teine ots. Kui mõõdu otsad on juba kulunud või 0-kriips pole selgesti nähtav, siis on parem kasutada 0-kriipsu asemel mõnda teist selgesti loetavat kriipsu, näiteks 10-ndat. — Kui pikk on 2. joon. kujutatud puuklopp? Väljenda mõõtmistulemus cm-tes ja mm-tes!



2. joon. Mõõtmine mõõtpuuga.

Alati ei lange mõõdetava keha ots kohakuti mõne mõõdu kriipsuga, vaid jääb kahe kriipsu vahele. Sel juhul tuleb silma järgi hinnata viimasest kriipsust üleulatuva osa pikkus kas 0,5 või 0,1 mm-tes, vastavalt sellele, kui täpselt tahetakse mõõta.

Suuremate pikkuste mõõtmisel tarvitatakse harilikult mõõtpaela (3. joon.). Selleks on karbisse keritav riidest või terasest pael, millele on märgitud meetri ja sentimeetri jaotised.

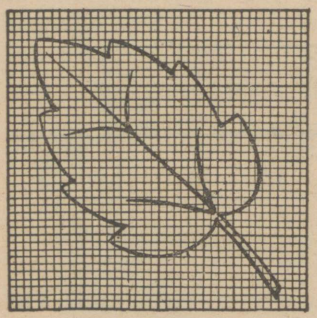


3. joon. Mõõtpael.

Harjutus. Mähi peenikest niiti (juust, traati) 10—20 korda tihedasti ümber peenikese pulga (pliiats, sukavarras, nael), mõõda mähise laius ja arvuta sellest niidi jämedus (läbimõõt)! Tee seda kolm korda ja võta saadud tulemustest keskmine!

5. Pindala mõõtmine. Pindala mõõdame ruutühikutega, nagu ruutsentimeeter (**cm²**), ruutmeeter (**m²**) jne., s. o. ruutudega, millede küljepikkus on vastavalt 1 cm, 1 m jne.

Geomeetrilise kujuga pindade puhul (ristkülik, kolmnurk, rööpkülik jt.) saame arvutada pindala suuruse, kui teame näiteks kahe joone (*aluse ja kõrguse*) suuruse. Tuleta meelde matemaatikast, kuidas seda tehakse.



4. joon. Pindala määramine mm-paberi abil.

Väiksemate ebakorrapäraste kujundite, näiteks puulehtede pindala on hõlpus määrata **mm-paberi** abil (4. joon.), otseselt loendades antud kujundiga kaetud mm^2-te arvu. Määra sel teel 4. joon. kujutatud puulehe pindala mm^2-tes!

Peame meeles, et

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

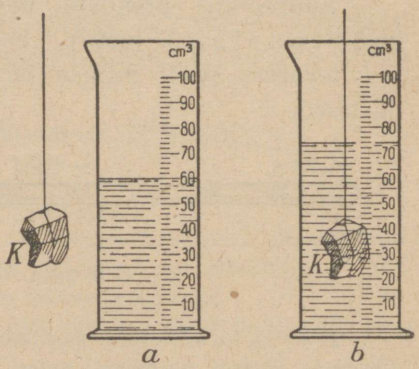
1. Mitu cm^2 on ühes ruutmeetris? mitu mm^2? Mitu m^2 on ühes km^2?

2. Kui joonmõõtude suhe on 10 (100; 1000), milline on siis vastavate ruutmõõtude suhe?

6. Ruumala mõõtmine. Ruumala mõõdame *kuupühikutega*, nagu *kuupsentimeeter* (**cm^3**), *kuupmeeter* (**m^3**) jt., s. o. kuupidega, mille serva pikkus on vastavalt 1 cm, 1 m jne.

Matemaatikast teame, kuidas mõnede joonte (*pikkus, laius, kõrgus*) abil arvutada kehade ruumala (risttahukas, prisma, püramiid jt.). Tuleta seda meelde!

Määra klassi (oma toa) ruumala m^3-tes ja selle raamatu ruumala cm^3-tes!



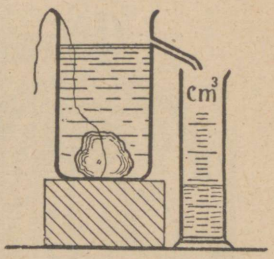
5. joon. Mensuuri kasutamine ruumala määramiseks.

Väiksema vedelikuhulga ja väikeste mittekorrapäraste kehade ruumala mõõtmisel kasutatakse **mõõtklaasi** ehk **mensuuri** (5. joon.). Need on harilikult silindrikujulised anumad, millele tehtud kriipsud näita-

vad, mitu kuupsentimeetrit vedelikku mahub mensuuri, kui ta on täidetud selle kriipsuni. Enne mensuuri tarvitamist peab alati selgusele jõudma, mitu kuupsentimeetrit vastab jaotiste ühele kriipsuvahele.

Vaatle, mitu cm^3 vedelikku on 5. joon. kujutatud mensuurides. Kui suur on selle järgi vedelikku lastud keha (*K*) ruumala?

Ruumala mõõtmiseks tarvitatakse ka ülevooluanumat. 6. joon. põhjal seleta, kuidas seda tehakse.



6. joon. Ülevooluanuma kasutamine ruumala määramisel.

Peame meeles, et

1 m^3 = 1000 dm^3; 1 dm^3 = 1000 cm^3; 1 cm^3 = 1000 mm^3.

1. Mitu cm^3 on 1 m^3? mitu mm^3? Mitu mm^3 on 1 liitris?

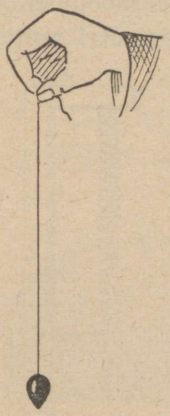
2. Kui joonmõõtude suhe on 10 (100; 1000), milline on siis vastavate kuupmõõtude suhe?

3. Mitu liitrit on 1 m^3; mitu pange, kui panges on 12 l?

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

5. Väljenda oma keha ruumala mm^3-tes!

Harjutus. Määra tikutoosi ruumala cm^3-tes, mõõtes pikkuse, laiuse ja kõrguse 0,1 cm täpsusega.



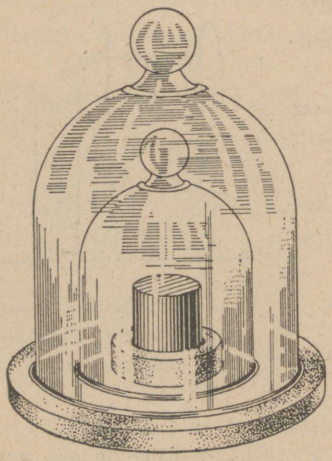
7. joon. Raskustung mõjub alati samas suunas.

7. Raskustung. Võtame kätte mõne keha, näiteks raamatu. Me tunneme, et raamat tungib Maa poole ja rõhub kätt — tal on teatav raskus. Kui käsi alt ära võtta, langeb raamat maha. Sama nähtus kordub kõigi teiste asjadega, nagu pliiats, sulg, kivi, puutükk jt.

Nimetame keha tungi Maa poole keha **raskuseks** ehk **raskustungiks.** Raskus ongi selleks põhjuseks, miks kehad Maa poole langevad, teiste sõnadega: kehad langevad Maa poole raskustungi mõjul.

Ainehulka, millest keha koosneb, nimetame keha **massiks.** Mida suurem on keha mass, seda tugevamini tõmbub ta Maa poole, järelikult keha mass on võrdeline keha

raskusega. Selle põhjal mõõdetakse kehade massi nende raskuse võrdlemise teel.



8. joon. Algkilogramm.

Seo kivi või mõni teine asi niidi otsa ja lase vabalt alla rippuda. Korda katset mitu korda. Missugune on alati niidi siht? Milleks kasutatakse niisugust riista?

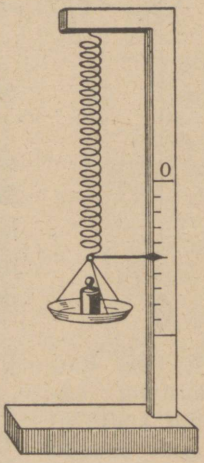
8. **Raskuse ühikud.** Keha raskuse ehk kaalu mõõtmise põhiühikuks meetermõõdustikus on **kilogramm (kg)** ehk **kilo,** mis on eriliselt valmistatud ja Rahvusvahelises Mõõtude Büroos alalhoitava keha — rahvusvahelise algkilogrammi — raskus. **1 kuupdetsimeetri (liitri) puhta vee raskus 4° C juures võrdub ühe kiloga.** Kilost suuremaks mõõduks on **1 tonn (t),** mis on 1000 kilo ja **võrdub ühe kuupmeetri puhta vee raskusega 4° C juures.** — Kilost väiksemaks mõõduks on **1 gramm (g),** mis on 0,001 kilo ja **võrdub 1 cm³ puhta vee raskusega 4° C juures.**

Grammist väiksemaks raskusühikuks on **milligramm (mg),** mis võrdub 0,001 grammiga.

Kokkuvõttes saame raskusühikute jaoks järgmise tabeli:

1 t = 1000 kg ehk 1 kg = 0,001 t;
1 kg = 1000 g „ 1 g = 0,001 kg;
1 g = 1000 mg „ 1 mg = 0,001 g.

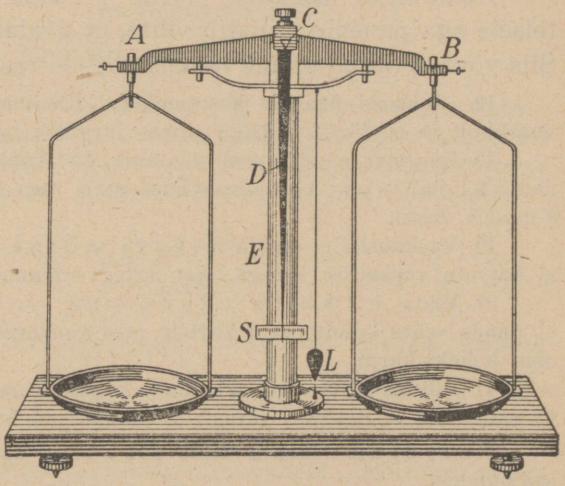
Peale eelmiste ühikute on praktikas sageli raskusühikuna tarvitusel veel **tsentner** ehk **kvintaal,** mis võrdub 100 kiloga.



9. joon. Vedrukaal.

1. Mitu grammi on 1 tonnis? Mitu mg sina kaalud?
2. Väljenda 5 m³ puhta vee raskus tsentnerites ja grammides!

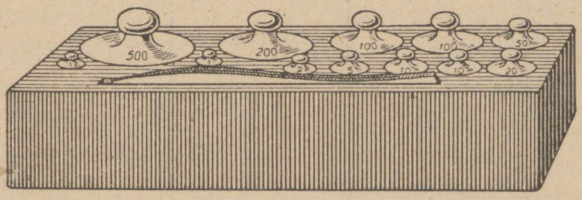
9. Keha raskuse mõõtmine. Keha raskustungi suuruse ehk kaalu täpsemaks määramiseks kasutame kaalusid. Lihtsamad neist on vedrukaalud (9. joon.). Selleks on terasvedru, mis venib seda pikemaks, mida suuremad koormised talle otsa riputada. Kõrvalolev numbrilaud näitab, kui palju kaalub keha, mis vedru antud kriipsuni välja venitab. Igapäevases elus tarvitamiseks antakse vedrukaalule teine, praktilisem kuju.



10. joon. Kangkaalud.

Kõige harilikumaks kaalude tüübiks on nn. kangkaalud (10. joon.).

Kangkaalude peaosaks on kang AB, mis keskkohas C terasest kiilu (prisma) abil toetub alusele E. Kang AB võib prisma C ümber vabalt pöörelda. Kangi otstes A ja B, keskpaigast ühekaugusel, ripuvad kaalukausid. Mõlemad kangi pooled AC ja CB, niisama ka kaalukausid, on üheraskused. Kui kaalud on koormamata või mõlemad kausid koormatud võrdselt, siis peab kaalukang olema rõhtasendis ning temaga ühendatud osuti D suunatud astmiku (skaala) S keskpaika.



11. joon. Vihid.

Kangkaalude juures peab alati olema tarvilik arv mitmesuguses suuruses vihte (11. joon.).

Kaalumisel asetame ühele vaekausile kaalutava eseme, teisele aga paneme niipalju vihte, et kaalud oleksid tasakaalus. Siis võrdub antud eseme raskus vihtide raskusega.

10. Juhiseid kaalude kasutamisel. Kaaludega tuleb käituda ettevaatlikult ja hoolikalt, pidades silmas järgmisi juhiseid:

1) Kaaluma asudes peab vaatama, kas kaalud on puhtad ja kas nad tühjalt on tasakaalus, s. o. kas osuti asetseb astmiku 0-punkti vastu.

2) Vaekausile ei panda midagi märga ega määrivat. Ka ei katsuta vaekausse kätega, sest sellega rikume neid.

3) Vihte ei võeta näppudega, vaid näpitsaga. Ka ei panda vihte lauale, vaid karbist otse vaekausile ja sealt jälle tagasi oma kohale karpi.

4) Vihtide ja esemete asetamine kaaludele peab toimuma kergelt, et vaekausid ei hakkaks järsult võnkuma, mis kaalusid rikub.

Harjutus. Määra mõne puu-, kivi-, raua- ja seatinatüki kaal grammides!

11. Erikaal. Määrame puu-, kivi- ja rauatüki kaalu grammides ning ruumala cm^3-tes. Saadud andmed paigutame tabelisse järgmiselt:

Jrk. nr.	Keha aine nimetus	Kaal grammides	Ruumala cm^3-tes	1 cm^3 kaal grammides
1.	Puu . . .			
2.	Kivi . . .			
3.	Raud . . .			
4.				

Viimases lahtris saadud arvu — **ühe kuupsentimeetri aine kaalu grammides** — nimetame selle aine **erikaaluks.**

Loe nüüd oma tabeli andmed järgmiselt: kivi erikaal on .... grammi kuupsentimeetris, s. o. üks kuupsentimeeter seda kivi kaalub .... grammi, jne.

Eelmise põhjal saame lihtsa juhise mistahes keha või aine erikaalu määramiseks. Selleks on vaja keha või aine kaal

grammides jagada tema ruumalaga kuupsentimeetrites. Lühidalt kirjutame seda üles nõnda:

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

Veel lühemalt saame erikaalu määramise viisi üles märkida nõnda: tähistame arvu, mis näitab erikaalu suurust, tähega e ja arvu, mis näitab sama keha kaalu grammides, tähega p ning ruumala kuupsentimeetrites tähega V. Siis saame erikaalu määramiseks nende arvude vahel järgmise seose ehk valemi:

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

Sulgudesse on siin asetatud lühidalt kirjutatud erikaalu nimetus $\frac{g}{cm^3}$ — grammi kuupsentimeetris.

Alljärgnevas tabelis on antud mõne enamtuntud aine erikaal. Vaatle neid arve ja võrdle omavahel! Millised ained kuuluvad raskete, millised kergete hulka?

Erikaalude tabel.

Plaatina	21,4	Elavhõbe	13,6
Kuld	19,3	Väävelhape	1,84
Seatina (plii)	11,3	Glütseriin	1,26
Hõbe	10,5	Piim	1,03
Vask	8,9	**Vesi (4° C)**	**1,00**
Valgevask	8,1	Värnits	0,93
Raud	7,8	Petrooleum	0,8
Inglistina	7,3	Piiritus	0,79
Tsink	7,1	Nafta	0,76
Marmor	2,7	Eeter	0,72
Alumiinium	2,7	Bensiin	0,68
Graniit	2,5		
Jää	0,9	õhk	0,0013
Tammepuu	0,8		

Kui väljendada keha kaal kg-des ja ruumala dm^3-tes (liitrites), missuguste arvudega väljenduvad siis eelmise tabeli erikaalud?

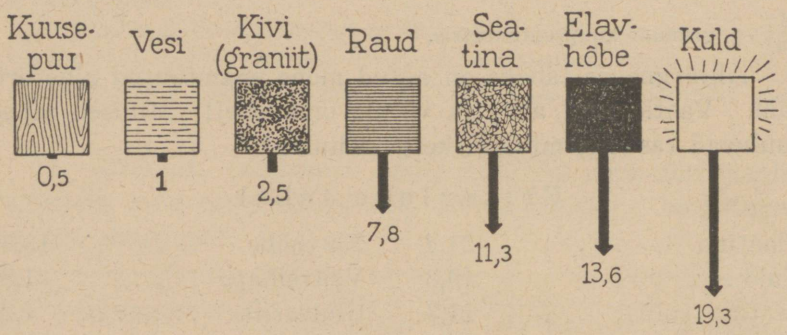
Vasta sama küsimus juhu kohta, kui keha kaal on väljendatud tonnides ja ruumala kuupmeetrites.

12. Erikaalu rakendamine. Erikaalu teadmine omab väga suurt praktilist väärtust, sest ta võimaldab lahendada kahte tarvilikku ülesannet, nimelt:

1) Leida keha kaalu, kui on teada selle keha ruumala ja erikaal.

2) Leida keha ruumala, kui on teada ta kaal ja erikaal.

Tõepoolest, seosest $\text{erikaal} = \frac{\text{kaal}}{\text{ruumala}}$ näeme, et erikaal on kaalu ja ruumala jagatis. Matemaatikast teame, et jagatav võrdub jagaja ning jagatise korrutisega. Seepärast siis:



12. joon. Erikaalude suuruse võrdlev kujutus. Erikaalu igale ühikule vastab 1 mm noole pikkust, mis kujutab raskust.

$$\textbf{keha kaal} = \textbf{erikaal} \times \textbf{ruumala} \text{ ehk } p = eV$$

ning sellest seosest jälle

$$\textbf{keha ruumala} = \frac{\textbf{kaal}}{\textbf{erikaal}} \text{ ehk } V = \frac{p}{e}.$$

Näidiseid. 1) Kui palju kaalub 250 cm^3 elavhõbedat?

Elavhõbeda erikaal on $13{,}6\ \frac{g}{cm^3}$, seega 1 cm^3 elavhõbedat kaalub 13,6 g ja 250 cm^3 elavhõbedat kaalub $250 \cdot 13{,}6 = 3400$ grammi ehk 3,4 kg.

2) Kui palju kaalub 15 cm^3 rauda?

Raua erikaal on $7{,}8\ \frac{g}{cm^3}$, seega 1 cm^3 rauda kaalub 7,8 g, 15 cm^3 rauda kaalub $15 \cdot 7{,}8 = 117$ grammi.

3) Kui suur anum mahutab 5 kg petrooleumi?

Petrooleumi erikaal on 0,8 $\frac{g}{cm^3}$, seega 5 kg ehk 5000 g petrooleumi ruumala on

$$5000 : 0{,}8 = 6250 \text{ cm}^3 \text{ ehk } 6{,}25 \text{ liitrit.}$$

Sama tulemuse liitrites saame, kui kaalu kg-des jagame erikaaluga $\frac{kg}{dm^3}$-tes:

$$5 : 0{,}8 = 6{,}25 \text{ liitrit.}$$

4) Mitu tonni kaalub 3 m^3 kuiva liiva?

Kuiva liiva erikaal on umbes 1,6 $\frac{g}{cm^3}$ ehk 1,6 $\frac{t}{m^3}$. Seega 3 m^3 kuiva liiva kaalub

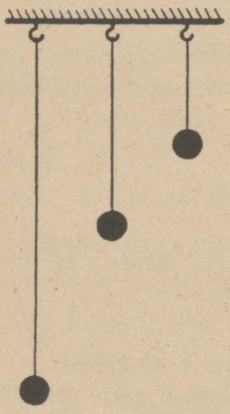
$$3 \cdot 1{,}6 = 4{,}8 \text{ tonni.}$$

1. Mitu korda on 1 m^3 tammepuud raskem kui 1 m^3 korki?
2. Mitu korda on 1 liiter vett raskem kui niisama palju õhku?
3. Kui palju on pang piima raskem pangetäiest (12 l) petrooleumist?
4. Aseta raskuse järjekorda järgmised kehad: klaasitäis (250 cm^3) elavhõbedat, kuupmeeter õhku ja 3 liitrit petrooleumi.
5. Rauatükk kaalub 0,78 tonni. Leia ruumala!
6. Kui palju kaalub 1 tihumeeter kuusepuid?
7. Leia 2 kg vase ruumala!
8. Mitu kg petrooleumi mahub 5-liitrisesse anumasse?
9. Piimanõu mahutab 30 kg piima. Mitu liitrit see on?
10. Kas jõuab keskmine tugev inimene 1 m^3 korki üles tõsta?
11. Kui palju kaaluks sinu elusuuruses tehtud kuju graniidist?
12. Kui palju kaalub õhk sinu keha ruumala suuruses?

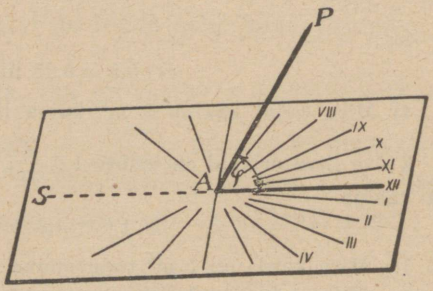
13. Aja mõõtmine. Füüsikas on ajamõõduühikuks harilikult sekund. **1 sekund (sek)** on $\frac{1}{60}$ osa minutist, **1 minut (min)** = $\frac{1}{60}$ osa tunnist ja **tund (h)** $\frac{1}{24}$ osa keskmisest päikese ööst-päevast. Viimase ajavahemiku all mõeldakse seda ajavahemikku, mille jooksul Päike oma näivas ööpäevases liikumises ümber Maa teeb ühe täistiiru.

Võrdseid ajavahemikke saame hõlpsasti tekitada pendlite abil, milleks võib olla niidi otsa riputatud koormis (13. joon.). Võtame rea ühepikkusi pendleid ja paneme nad üheaegselt võnkuma. Me näeme, et nende võnkumisperioodid on võrdsed. Kui aga teeme mõne neist pendlitest

pikemaks, mõne lühemaks, siis näeme, et lühem pendel võngub kiiremini, pikem aeglasemalt. Pendel,

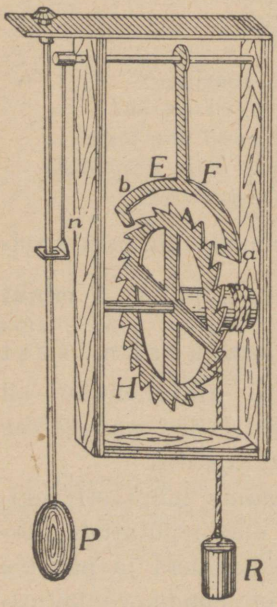


13. joon. Pendlid.



14. joon. Päikesekell.

mille pikkus on 1 m (täpsemalt 99,4 cm), teeb ühe täisperioodi 2 sekundi, poolperioodi aga (ühest äärest teise) 1 sekundi jooksul. Sedamoodi on hõlpus saada sekundilisi ajavahemikke.



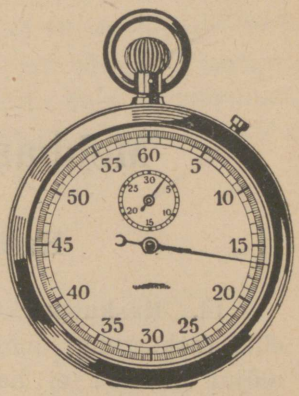
15. joon. Seinakella skeem.

Vanemate ajamõõduriistade hulka kuulub päikesekell (14. joon.). Rõhtsale tasapinnale on kinnitatud taevapooluse (Põhjanaela) suunas varras *AP*. Iga päev, kui Päike asub kõige kõrgemal, on vari kõige lühem ja näitab otse lõunast põhja. Märgime ära varju sihid iga tunni tagant, siis saame numbrilaua, mis näitab tõelist kohalikku päikeseaega. Ametlikult tarvitatava aja saamiseks tuleb teha päikesekella abil saadud tõelises päikeseajas vastavad parandused.

Päikesekell võib meile abiks olla aja määramisel vaid päeval ning selge ilmaga. Seina- ja taskukellad aga näitavad meile aega igasuguse ilmaga ja igal ajal.

Seinakella käiku reguleerib harilikult pendel. Iga poolvõngu juures laseb pendel hammasrattal, mida rippuva koormise või vedru

abil ümber veetakse, ainult ühe hamba võrra edasi liikuda. Pendli pikkust muutes võime hammasratta liikumist kas kiiremaks või aeglasemaks muuta. Pendli seismajäämist aga takistavad tõuked, mis hammasratas talle annab. Hammasrataste kaudu andub peavõlli pöörlemine edasi numbrilaua osutitele, mille järgi me loeme aega.



16. joon. Sekundomeeter.

Lühemate ajavahemikkude mõõtmiseks, näiteks spordi alal, tarvitatakse erilisi ajamõõtjaid, nn. sekundomeetreid (stoppereid).

1. Mitu sekundit on tunnis? ööspäevas?

2. Kirjuta üles avaldis, mis näitab sinu vanust tundides (minutites, sekundites).

3. Kuidas mõjub temperatuuri muutus pendelkella käigusse?

4. Vanasti olid ajamõõduriistadena kasutamisel ka nn. liivakellad. Millisel põhimõttel toimus nende töötamine?

Mehhaanika põhimõisteid.

Raskuspunkt ja tasakaal.

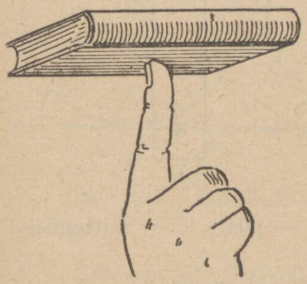
14. **Raskuspunkt.** Kõik kehad tungivad Maa poole raskuse ehk raskustungi mõjul. Kui tahame, et keha oma raskuse mõjul liikuma ei hakkaks, vaid paigal püsiks, siis peame raskuse mõju tasakaalustama. Selleks kas kinnistame keha mõne punkti liikumatult paigale, näiteks lööme pildi naelaga seina külge, või toetame antud keha mõnele teisele kehale, mis püsib paigal. Näiteks raamat toetub lauale, tool põrandale, maja maapinnale, laev mereveele jne. Siin tasakaalustab kehade raskust alus, millele need kehad toetuvad: laud, põrand, maapind, merevesi jne.

Võtame mõne köites raamatu (joonlaua) ja tasakaalustame tema raskuse sõrmega alt toetades (17. joon.). Sellest näeme, et raamatu raskuse tasakaalustamiseks pole vaja toetada teda kõigis punktides, vaid ainult ühes, nn. **raskuspunktis**, milles me kujutleme koondununa kogu keha raskuse. Raamatu raskuspunkt asetseb raamatu keskel.

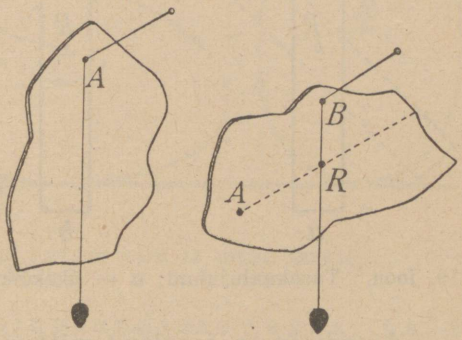
Vaatame nüüd, kuidas saab määrata mõne tasapinnalise keha, näiteks papitüki raskuspunkti (18. joon.). Selleks pistame papitüki ühest äärest (*A*) nööpnõela läbi nii, et ta selle ümber saaks vabalt pöörduda. Nööpnõel on toeks ehk toetuspunktiks, mis tasakaalustab papitüki raskuse. Pärast lühikest võnkumist jääb papitükk seisma. Siis asetseb raskuspunkt püstjoonel otse toetuspunkti all, sest muidu ei tasakaalustaks toetuspunkt papitüki raskust. Märgime ära selle joone papitükil loe abil. Teeme sa-

muti mõne teise toetuspunkti (*B*) suhtes. Sedasi talitades näeme, et kõik need püstjooned lõikuvad ühes punktis (*R*), mis on selle papitüki raskuspunktiks. Papitükki selles punktis toetades jääb ta paigale, sest ta raskus on tasakaalustatud.

Eelmist raskuspunkti määramise viisi võime rakendada igasuguste kehade kohta. Raskusi tekitab vaid toetuspunkti läbiva püstjoone märkimine juhul, kui see joon läheb läbi keha tema seest.



17. joon. Sõrm toetab raamatut raskuspunktis.



18. joon. Papitüki raskuspunkti määramine.

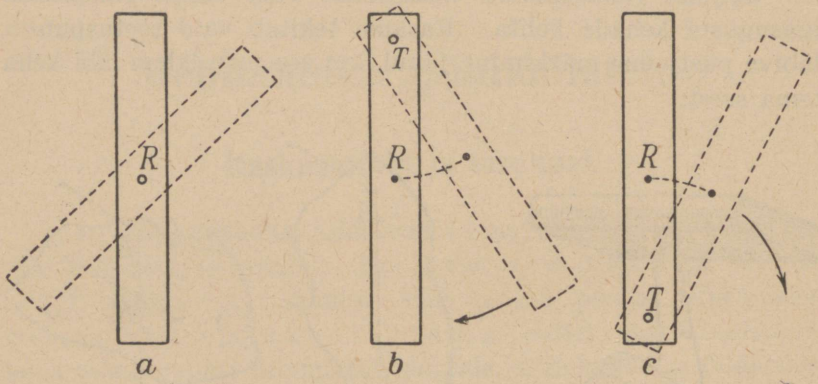
1. Kus asetseb ühtlase sirge varva, ruudu, ristküliku, rööpküliku, ringi, kera, Maa, kuubi, risttahuka ja silindri raskuspunkt?

2. Määra katseliselt kolmnurkse papitüki raskuspunkt!

15. Tasakaalu juhud. Pistame papitükist või joonlauast tema raskuspunktis nõela läbi. Joonlauda nõela kui telje ümber ringi pöörates näeme, et ta jääb tasakaalu igas asendis. Seepärast ütleme, et joonlaud on **ükskõikses tasakaalus** (19. joon., *a*). Katsed näitavad, et raskuspunktis toetatud keha on alati ükskõikses tasakaalus.

Ükskõikses tasakaalus on jalgratta, vankri ja kõik masinate rattad. See on vajalik, et nad ühtlaselt käiksid ja kuluksid. Muidu saaks võll või laager ühelt poolt tugevamaid tõukeid kui teiselt poolt; ta kuluks sellelt poolelt kiiremini, hakkaks logisema ning läheks rikki.

Asendis *b* (19. joon.) on joonlaua raskuspunkt (*R*) otse toetuspunkti (*T*) all. Joonlaud on siis **püsivas tasakaalus,** sest sellest asendist teda välja viies tuleb ta ise sinna jälle tagasi.



19. joon. Tasakaalujuhud: *a* — ükskõikne, *b* — püsiv, *c* — mittepüsiv.

Asendis *c* on joonlaud **mittepüsivas tasakaalus,** sest siin joonlaud, tasakaalust välja viidud, ei tule ise sinna enam tagasi.

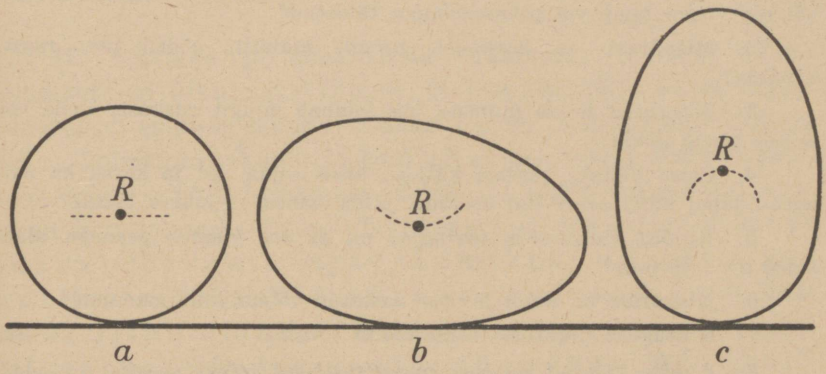
Rõhtsale pinnale toetuv ühtlane kera (20. joon., *a*) on ükskõikses tasakaalus, sest siin on toetuspunkt igas asendis otse raskuspunkti all. Ka jääb kera veeremisel raskuspunkt alati samale kaugusele toetuspinnast.

Asendis *b* on keha (muna) püsivas tasakaalus, sest siin on raskuspunkt kõige madalamal. Sellest asendist keha välja viies tõuseb raskuspunkt kõrgemale. Lahti lastes tuleb ta ise endisse asendisse tagasi.

Asendis *c* (20. joon.) on tasakaal **mittepüsiv,** sest siin on raskuspunkt kõige kõrgemas asendis. Sellest asendist keha välja viies ei tule ta ise sinna enam tagasi.

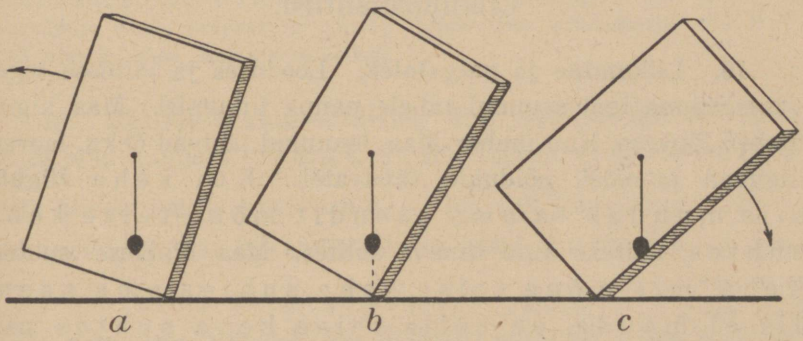
Võtame veel risttahukakujulise paksema lauaotsa. Ta raskuspunkt asetseb keskel. Lööme tahu keskele raskuspunkti kohale naelakese ja riputame sinna otsa loe (21. joon.). Nüüd asetame risttahuka ühele servale mitmel viisil kaldu ja vaa-

tame järele, millal risttahukas endisse tasakaaluasendisse tagasi tuleb ning millal ta ümber kukub. Kõiki katsete tulemusi kokku võttes võime öelda: alusele toetuv keha tu-



20. joon. Rõhtsale pinnale toetuva kera ja muna tasakaal.

leb endisse tasakaaluasendisse tagasi vaid siis, kui raskuspunktist tõmmatud ristjoon



21. joon. Tasakaalujuhud risttahuka toetumisel pinnale: *a* — püsiv, *b* — mittepüsiv, *c* — kukub ümber.

läheb seestpoolt toetuspiirjoont. Vastasel korral kukub keha ümber. See on üldine tasakaalutingimus kõigi toetuvate kehade puhul. Siit järeldub ka, et keha tasakaal on seda püsivam, mida suurem on toe-

tuspiirjoon ja mida madalamal asetseb raskuspunkt.

1. Kumb läheb kergemini ümber: kas õle- või liivakoorem? vanker või regi? tühi lamp või petrooleumiga täidetud?
2. Mispärast on karkudel, palgil, aialatil, nööril jne. raske kõndida?
3. Mispärast hoiab inimene, kes kannab mingit raskust, ühele või teisele poole kaldu?
4. Seisa näiteks vasema küljega hästi seina ligi ja katsu ka mõlemad jalad hästi seina ligi asetada. Mida paned seejuures tähele?
5. Kuidas valmistada täringut, nii et see visates peaaegu alati sama arvu näitaks?
6. Mispärast on autol mootor asetatud võimalikult madalale?
7. Missuguse liigutuse teeme toolilt tõustes?
8. Kuidas tulevad mitmesuguses raskuses pakid veokile asetada?
9. Mispärast hoiame uisutamisel käed harilikult väljasirutatult?
10. Milline on köietantsija tasakaal?

Liikumisnähtusi.

16. Liikumine ja paigalolek. Looduses ja inimese tegevuses võime igal sammul tähele panna liikumist: Maa liigub ümber Päikese, Kuu ümber Maa, lennukid läbivad õhku, laevad liiguvad meredel, sõidukid tänavatel. Kui keha **liigub**, siis muudab ta oma asendit mõne teise keha suhtes, näiteks auto tänava suhtes, Maa Päikese suhtes. Keha, mis mõne teise keha suhtes oma asendit ei muuda, on selle teise keha suhtes **paigal.** Sama keha võib ühe keha suhtes liikuda, teise keha suhtes paigal olla; nii näiteks reisija võib raudteevagunis paigal olla vaguni suhtes, kuid liikuda Maa suhtes, jne. Liikumisest ja paigalolekust kõneldes peame alati küsima, missuguse teise keha suhtes toimub antud liikumine või paigalolek, sest me tunneme ainult suhtelist ehk relatiivset liikumist ja suhtelist paigalolekut.

1. Too näiteid suhtelise liikumise ja paigaloleku kohta!
2. Pane tähele, kas sina saad olla nõnda, et sul ükski kehaosa ei liiguks!
3. Kas tead nimetada looduses mõnd keha, mis oleks täiesti (absoluutselt) paigal?

17. Ühtlane ja ebaühtlane liikumine. 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., seega ebaühtlaselt; kaks minutit pärast jaamast väljasõitu liigub rong edasi ühtlaselt igas sekundis 14 m. Liikumist, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes, näiteks sekundites, ära käib võrdsed teeosad, nimet. **ühtlaseks** liikumiseks. Liikumist aga, kus keha mistahes võrdseis ajavahemikes ära käib mittevõrdsed teeosad, nimet. **ebaühtlaseks** liikumiseks.

Inimesel on võimatu tekitada kauemat aega kestvat ühtlast liikumist. Parimadki kellad ei käi kauemat aega õieti. Looduses on ühtlastest liikumistest kõige enam tuntud Maa pöörlemine ümber telje. See liikumine peegeldub meile taevaskera näivas ööpäevases pöörlemises, mis ongi meil aluseks õige kellaaja saamisel.

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

Sellest järgneb, et ühtlaselt liikuva keha

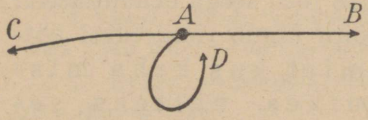
$$\text{kiirus} = \frac{\text{käidud tee pikkus}}{\text{vastav aeg}}.$$

Tähistame üldises kujus vastavais ühikuis mõõdetud kiiruse suuruse tähega v (ladina keeles *velocitas* — kiirus), käi-

dud tee pikkuse tähega s (lad. k. *spatium* — ruum, kaugus) ja aja tähega t (lad. k. *tempus* — aeg), siis võime eelmise reegli kirjutada lühidalt järgmiselt:

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

Ainult kiiruse **suuruse** põhjal ei saa veel otsustada, kus kohal asetseb liikuv keha liikumisaja lõpul; selleks on vaja veel teada, **missugust teed mööda** ja **mis suunas** (kuhu poole) keha liigub.



22. joon. Ainult kiiruse suuruse põhjal ei saa veel määrata keha asendit.

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

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

3. Kuidas on võimalik mõõta jõe voolu kiirust?

4. Kui pikk on nn. valgusaasta, s. o. tee, mis valguskiir ära käib ühe aasta jooksul?

Märkus: Kõige lähema senituntud kinnistähe kaugus Maast on 4,3 valgusaastat.

5. Kui suure kiirusega liigub Maa ümber Päikese?

6. Kui suur on ekvaatoril asetsevate asjade kiirus Maa pöörlemisel ümber telje? Ekvaatori raadiuse pikkus on 6378 km.

19. Keskmine kiirus. Harilikult ei liigu kehad ühtlaselt, vaid **ebaühtlaselt**, näiteks rong jaamast välja ja jaama sisse sõites, auto liikuma hakates ning seisma jäädes jne.

Ebaühtlase liikumise puhul kõneleme liikuva keha **keskmisest kiirusest.** Selle saame, jagades kogu käidud tee pikkuse tema ärakäimiseks kulutatud ajaga. Näiteks kiirrong kulutas Tallinna ja Tartu vahe (191 km) ärasõitmiseks 3 tundi 6 min. Selles ajavahemikus on peatus Tapal ja Jõgeval kaasa

arvatud. Samuti on rongi liikumise kiirus selle aja jooksul väga mitmesugune. Keskmise kiiruse saamiseks tuleb kogu tee pikkus jagada kogu ajaga.

Tee seda! Leia selle rongi keskmine kiirus $\frac{m}{sek}$-tes ja $\frac{km}{h}$-des!

On selge, et ebaühtlase liikumise kiirus ei ole jääv, vaid muutub järjest. Liikumist, kus kiirus suureneb, nimet. **kiirenevaks**, liikumist, kus kiirus väheneb — **aeglustuvaks** liikumiseks.

Järgnevas tabelis on antud mõne meile tuntud liikumise keskmine kiirus. Võrdle neid omavahel! Pane tähele, missuguseis ühikuis on antud need kiirused!

Kiiruste tabel.

Aurik	30 $\frac{km}{h}$	Kõva tuul.	12 $\frac{m}{sek}$
Aeroplaan	180 „	Maa ümber Päikese	30 $\frac{km}{sek}$
Auto	70 „	Pääsuke	60 $\frac{m}{sek}$
Hobune sammu käies	4 „	Tigu	1,5 $\frac{mm}{sek}$
Jalakäija	5 „	Torm kuni	50 $\frac{m}{sek}$
Kiirrong	80 „	Traavel	12 $\frac{m}{sek}$
Kahurikuul	600—1000 $\frac{m}{sek}$		

1. Kujuta võrdlevalt auriku, aeroplaani, auto, hobuse, jalakäija ja kiirrongi kiirus! Kiiruse 1 $\frac{km}{h}$ kujutamiseks võta 1 mm.

2. Leia oma käimise keskmine kiirus kodunt kooli ja ümberpöördult!

3. Jalamees käib 45 minutiga 3 km. Leia ta keskmine kiirus $\frac{km}{h}$, $\frac{m}{min}$ ja $\frac{cm}{sek}$-tes!

4. Kui laev liigub edasi tunnis 1852 m, siis öeldakse, et selle laeva kiirus on 1 sõlm. Mitu km liigub edasi tunnis laev, mille kiirus on 20 sõlme?

5. Saja meetri jooksu rekordajaks Eestis on praegu 10,7 sekundit. Leia sellele vastav keskmine kiirus $\frac{m}{sek}$-tes! Ülemaailmaline rekordaeg saja meetri jooksus praegu on 10,2 sek. Missugune keskmine kiirus vastab sellele? Kui palju suudaks inimene seesuguse kiirusega tunnis edasi liikuda?

6. Sportlane jooksis 5000 m ajaga 14 min. 28 sek. Arvuta selle jooksu keskmine kiirus $\frac{m}{sek}$-tes ja $\frac{km}{h}$-des!

7. Kui palju kuluks aega kiirrongil Kuule sõitmiseks (384 000 km)?

Tung ja töö.

20. Inerts. Palli liikumapanemiseks on vaja teda tõugata; et seisev rong hakkaks liikuma, peab vedur teda tõmbama, samuti vankrit hobune; kõndides liigume edasi lihaste pingutuse abil jne. Nii näeme, et ükski paigalolev keha ei hakka liikuma iseendast, ilma põhjuseta.

Pane lauale 2 metallraha (või ka rohkem) teineteise peale ja löö õhukese noaga alumine raha kiiresti liikuma. Mis juhtub ülemise rahaga ja mispärast? Pikkamisi alumist raha edasi lükates liiguvad mõlemad koos. Mispärast?

Tahame kiiresti joostes äkki seisma jääda või järsku kõrvale pöörduda, siis peame selleks tarvitama kaunis tugevat lihaste pingutust; ratsa sõites võib kergesti kukkuda, kui hobune teeb järsu pööraku; raudteerongi kinnipidamiseks tarvitatakse pidurit, samuti teistel sõidukitel; liikuva palli kinnipüüdmisel rõhub see tugevasti vastu kätt, jne. Neist näiteist selgub, et ükski liikuv keha ei jää seisma iseendast, ilma põhjuseta, ka ei muuda keha ilma põhjuseta oma liikumise suunda ega kiirust.

Need kaks kehade omadust võime lühidalt kokku võtta lauses: **iga keha püüab säilitada oma liikumise olekut:** on keha

paigal, siis püüab ta edasi paigale jääda; liigub aga keha, siis püüab ta jätkata liikumist samas suunas ja sama kiirusega, s. o. liikuda edasi ühtlaselt ning sirgjooneliselt. Teisiti võime väljendada seda kehade omadust veel järgmiselt: **iga keha püsib kas paigal või liigub ühtlaselt ning sirgjooneliselt seni, kuni mõni põhjus seda olekut ei muuda.** See lause kannab inertsiseaduse nime, sest inertsi all mõeldaksegi kehade omadust alal hoida oma liikumise olekut.



23. joon. Galileo Galilei (1564—1642).

Sõna inerts tuleb ladina keele sõnast *inertia*, mis tähendab tegevusetust, laiskust, muidugi inimeste kohta mõeldult. Laisk inimene ei armasta liikuda ega võtta ette muudatusi oma tegevuses. Ka kehad looduses on nagu laisad: ilma välise sunnita ei hakka nad liikuma ega jää ka seisma.

Vanaaja teadusmehed ei tundnud inertsiseadust. Alles kuulus itaalia teadusmees Galileo Galilei esimesena avastas selle kõigi kehade ühise omaduse. — Galilei oli matemaatika-, füüsika- ja täheteaduseprofessoriks Pisa ja Padova ülikoolis. Peale inertsiseaduse tegi Galilei terve rea teisi tähtsaid avastusi loodusteaduse alalt: avastas kehade vaba langemise seadused, pendli võnkumise seadused, tungide rööpküliku seaduse jne. Ka ehitas Galilei pikksilma, millega esimesena vaatles Päikest ja tegi kindlaks, et Päikese pinnal on tumedad laigud. Galilei pooldas ka avalikult Koperniku õpetust Maa liikumisest ümber Päikese. Selle eest pandi ta vangi ja sunniti vägivaldselt koguni lahti ütlema oma õpetusest. Kuulus Torricelli oli Galilei õpilane, kes jätkas Galilei tööd.

Katsu niisama tugeva tõukega liikuma panna raskeid ja kergeid kehi (kivi, pall, puuklopid). Mida märkad? Kuidas on lugu niisama kiiresti liikuva raske ja kerge keha seismapanemisega? Katsed näitavad: mida raskem (suurema massiga) on keha ja mida suurem on ta liikumise kiirus, seda suurem on ka ta inerts.

1. Seo tükk niiti näiteks tooli külge ja vea pikkamisi. Tool nihkub edasi. Äkitselt tõmmates katkeb niit. Mispärast?

2. Kui raudteerongid kiirel sõidul kokku põrkavad, purunevad vagunid. Mispärast? Miks pole alati võimalik rongi piduriga enne õnnetust peatada? Millest on tingitud maavärisemise hävitav (purustav) mõju?

3. Pane pabeririba laual seisva veeklaasi või mõne teise väiksema asja alla ja tõmba äkki ära. Mida paned tähele ja kuidas seda seletada? Tõmba pikkamööda — mida märkad siis?

4. Kui sõiduk äkki liikuma hakkab, langevad reisijad tahapoole. Äkilisel seismajäämisel toimub vastupidine nähtus. Mispärast?

5. Mispärast tuleb tolm kloppimisel või raputamisel riietest välja?

6. Kui veega täidetud klaasi äkki liikuma või seisma panna, läheb vett üle ääre maha. Mispärast ja kuhu poole?

7. Me teame, et Maa pöörleb oma telje ümber läänest itta. Mispärast langeme meie maapinnalt üles hüpates samale kohale tagasi, aga mitte üleshüppamiskohast lääne poole?

8. Kuhu poole tuleb liikuvalt sõidukilt maha hüpata, et mitte maha kukkuda?

9. Mispärast koputatakse varre pihta, kirvest või luuda varre otsa pannes?

10. Mispärast ei saa raudteerongi järsku seisma ega liikuma panna?

11. Kastega on kergem niita kui kuivaga. Kuidas seda seletada?

12. Mispärast õunad puu raputamisel maha langevad?

13. Mispärast roomad sagedasti katkevad, kui hobune äkki tõmbab?

14. Tagaajamisel on kasulik suuna äkilise muutmisega end kaitseda. Mispärast?

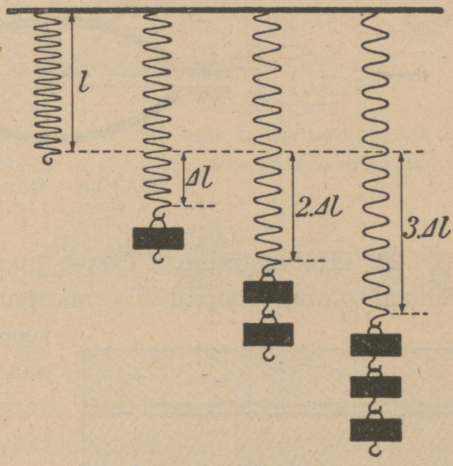
21. Tung ja selle mõõtmine. Riputame mõne asja, näiteks võtme, niidi otsa ja põletame niidi läbi. Võti ei jää oma endisse asendisse püsima, vaid langeb maha.

Inertsiseaduse järgi ei hakka ükski keha liikuma iseendast, ilma põhjuseta. See kehtib ka kehade langemise kohta. Siin on **raskus** ehk **raskustung** selleks põhjuseks, miks kehad **Maa** poole langevad.

Üldse nimetame tungiks põhjust, mis paigaloleva keha liikuma paneb või juba olemasolevat liikumist muudab.

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

Tung ei muuda ainult keha liikumise olekut, vaid tungi mõjul võib muutuda ka keha kuju, s. o. tung võib tekitada kehas deformatsiooni. Nii näiteks võime tungi mõjul keha pikemaks venitada, kokku suruda, painutada jne. Deformatsiooni suuruse põhjal otsustame ka deformeeriva tungi suuruse üle. Sellel omadusel põhinebki raskustungi mõõtmine vedrukaalu abil, sest teatavais piires on vedru pikenemine võrdeline venitava tungi suurusega (24. joon.).



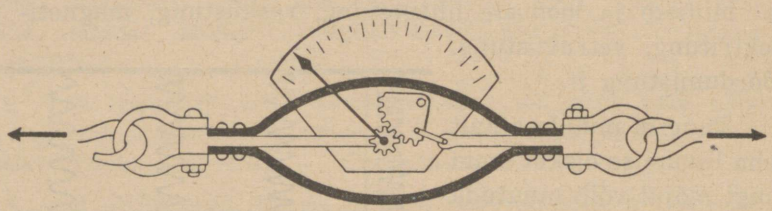
24. joon. Vedru pikenemine on võrdeline pikenemist tekitava tungiga.

Nagu teame, mõõdetakse raskustungi suurust kaaluühikute (kg, g jne.) abil. Kõiki teisi tunge aga võime raskustungiga võrrelda, järelikult kaaluühikuis mõõta. Nii näiteks võime öelda, et antud magnetitungi suurus teatavas kauguses oleva rauatüki külgetõmbamisel on 10 g, hõõrdumistungi suurus kelgu liugumisel 5 kg, lihastetungi suurus kivi tõstmisel 10 kg jne.

Peale raskusühikute on mehhaanikas väga sagedasti tarvitatavaks tungiühikuks **düün**, mille suurus on $\sim$ 0,001 (täpsemalt $\frac{1}{980}$) gramm-raskusest. Peame meeles:

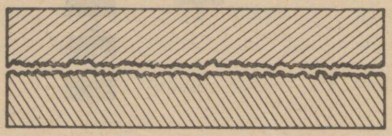
1 düün $\approx$ 0,001 g ehk 1 mg.

Riistu, millede abil saab mõõta tungi suurust, nimetatakse **dünamomeetriteks** (25. joon.). Selleks otstarbeks võib tarvitada ka iga kaalu.

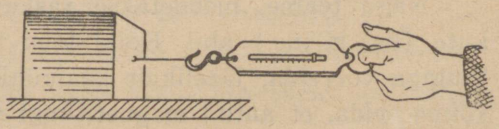


25. joon. Dünamomeeter.

22. Hõõrdumine. Tasast maapinda mööda visatud kivi, rõhtsal pinnal rööpail liikuma pandud vagun, uisutaja jääl, veepinnal liikuma tõugatud paat jne. — kõik nad kaotavad varsti oma liikumise kiiruse ja jäävad lõpuks seisma, kui nad ei saa uut tõuget liikumiseks. Mis oli siis põhjuseks, mis eelmisis näiteis takistas kehade liikumist? — K e h a d e p i n d e i o l e k u n a g i p ä r i s s i l e, v a i d k o n a r l i k (26. joon.). Liikumisel jäävad ühe keha pinna konarused teise keha konaruste vahele ja takistavad sedaviisi liikumist. Me ütleme sel puhul lühidalt: l i i k u m i s t t a k i s t a b **hõõrdumine** e h k **hõõrdumistung.** Kui tahame, et liikumapandud keha liiguks järjest edasi ühtlaselt, s. o. endise kiirusega, peame kogu aeg ületama liikumist takistavat hõõrdumistungi.



26. joon. Hõõrdumist tekitavad pinnakonarused.



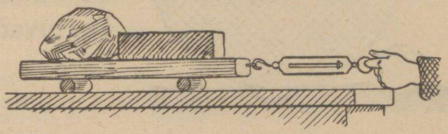
27. joon. Hõõrdumistungi määramine liugumisel.

Näitena määrame hõõrdumistungi suuruse tooli vedamisel mööda põrandat. Selleks tõmbame tooli vedrukaalu

konksu pidi mööda põrandat edasi. On tooli edasiliikumine enam-vähem ühtlane, siis näitab vedrukaal hõõrdumistungi suurust. Olgu see näiteks 1 kg ja tooli raskus 4 kg. Nüüd võime kergesti arvutada, kui suure osa tooli raskusest (4 kg) moodustab hõõrdumistung (1 kg) ehk kui suur on hõõrdumistungi ja tooli raskuse suhe. Saame: 1 kg : 4 kg = $\frac{1}{4}$. Seda suhet nimetatakse ka **hõõrdumiskoefitsiendiks.**

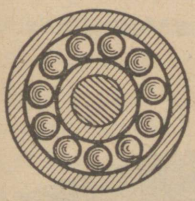
Määra kirjeldatud viisil hõõrdumistungi suurus klassipingi, laua, puuhalu, kasti jne. vedamisel mööda põrandat! Arvuta iga juhu kohta hõõrdumistungi ja keha raskuse suhe ehk hõõrdumiskoefitsient! Võrdle saadud hõõrdumiskoefitsiente omavahel!

Määra katse abil, kuidas oleneb hõõrdumiskoefitsient pinna suurusest ja siledusest, keha raskusest ja õlitamisest.



28. joon. Hõõrdumistungi määramine veeremisel.

Asetame lauatükile raskuse suurendamiseks mõned kivid. Veame sedaviisi koormatud lauatükki mööda põrandat või lauda. Määrame hõõrdumiskoefitsiendi. Nüüd paneme lauatüki alla paar ümmargust pulka (sulepead) ja määrame jällegi hõõrdumiskoefitsiendi. Kummal juhul on hõõrdumistung suurem ja mitu korda?



29. joon. Kuullaager.

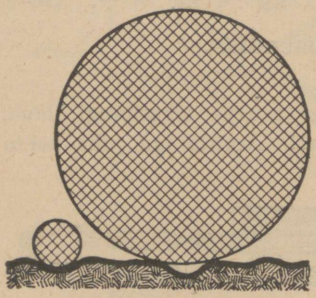
Katsed näitavad, et hõõrdumine veeremisel on märksa väiksem kui liugumisel. Seepärast püütaksegi igal pool, kus vähegi võimalik, liugumist asendada veeremisega (kuullaagrid jalgrattal, autol; palkide, vaatide veeretamine jne.). Aga mispärast pole vanker rege siiski hoopis välja tõrjunud?

Väga palju inimsoo tööst kulub hõõrdumise ületamiseks, näiteks hõõrdumise ületamine raudteerongi, vankri, saani jne. vedamisel, viilimisel, saagimisel, värvimisel, pühkimisel, kirjutamisel, kündmisel — üldse iga töö juures. See on hõõrdumise kahjulik toime. Teiselt poolt aga oleks elu ilma hõõrdumiseta täiesti võimatu: meie ei saaks ilma hõõrdumiseta seista

ega kõndida, puujuured ei püsiks maa sees ega kalossid jalas, rihmad ei veaks masinaid ümber jne.

Too veel näiteid, kus hõõrdumine on meile kasulik!

Tuleb silmas pidada, et hõõrdumistung tekib ainult kehade liikumisel ja mõjub alati liikumisele vastassuunas. Et hõõrdumine on tingitud kehade kokkupuutepindade konarusest, siis on hõõrdumine alati väiksem, kui kokkupuutepinnad on hästi siledad. Samas mõttes mõjub ka õlitamine: õlikiht katab kokkupuutuvad pinnad ja teeb nad libedaks.

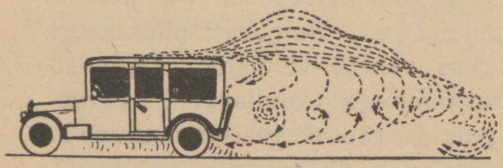


30. joon. Väikesel rattal on hõõrdumine suurem.

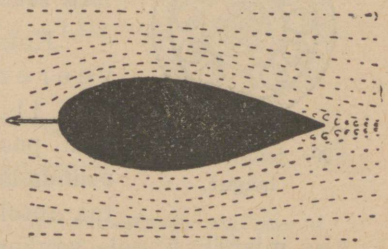
1. Kui puuduks hõõrdumine, kas oleks siis võimalik liikuma hakata, seisma jääda, asju nööriga kokku siduda, naelu ja kruvisid tarvitada jne.?

2. Mispärast on tähtis, et maanteed oleksid hästi siledad?

23. Keskkonna takistus. Kõik meie liikumised toimuvad kas õhus või vees. Õhk ja vesi, samuti teised gaasid ja vede-



31. joon. Auto liikumisel tekkinud õhukeerised takistavad liikumist.



32. joon. Keskkonna takistus on kõige väiksem tilgakujulise läbilõikega keha liikumisel.

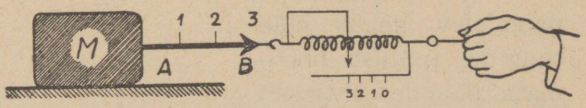
likud, takistavad kehade liikumist neis. Juhul, kui keha liigub mõnes **keskkonnas,** näiteks lennuk õhus, allveepaat vees, kõneleme selle **keskkonna takistusest liikumisele.** Keskkonna

takistuse põhjuseks on keskkonna aineosakeste inerts, vastupanu liikumisele ja keskkonna aineosakeste hõõrdumine üksteise vastu.

Keskkonna (õhu, vee) takistav mõju liikumisele suureneb liikuva keha esipinna ja liikumise kiiruse suurenemisega. Keskkonna takistuse vähendamiseks on väga oluline ka liikuva keha väline kuju, sest iga keha õhus või vees liikudes tekitab enda ümber keeriseid, milleks kulub hulk keha liikuma panevast energiast. Kõige vähem keeriseid õhus või vees liikudes tekitab nn. **tilgakujuline keha.** Seepärast ehitataksegi kiirsõiduautod, lennuki kandepinnad, allveelaeva kered, torpeedod jne. keskkonna takistuse vähendamiseks tilgakujulised.

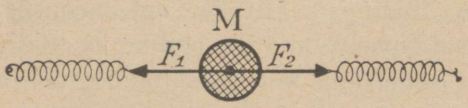
1. Missugune kuju on lindude ja kalade kehadel?
2. Missuguseid takistusi tuleb ületada kelgusõidul?

24. Tungi graafiline kujutamine. Tungi mõju kehale oleneb tungi suurusest ja ka sellest, kus kohal ja missuguses suunas antud tung mõjub kehale. Too näiteid selle kohta! Keha punkti, milles tung otseselt mõjub, püüdes teda liikuma panna või olemasolevat liikumist muuta, nimet. tungi **rakenduspunktiks;** suunda, milles tung rakenduspunkti liikuma püüab panna — **tungi suunaks.** Niisiis tung on täiesti teada, kui on antud ta **rakenduspunkt, suund** ja **suurus.** Kõiki neid kolme tungi tunnust on võimalik näitlikult kujutada graafiliselt. Selleks valime noole *AB* (33. joon.), mille algus asetseb antud tungi rakenduspunktis *A*, suund näitab antud tungi suunda ja pikkus mahutab endas nii mitu mõõtu, kui mitu tungiühikut on antud tungi suuruses. 33. joon. kujutab nool *AB* tungi, mille suurus on 3 tungiühikut (kg) ja mis mõjub antud kehale *M* rakenduspunktis *A* noole *AB* suunas.



33. joon. Tungi graafiline kujutamine.

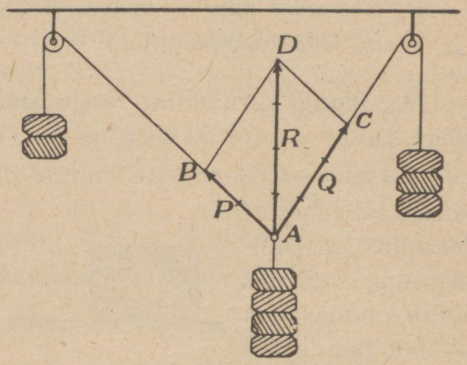
25. Tasakaal. Võtame kätte raamatu. Raamat tungib raskuse mõjul Maa poole, kuid ta ei saa alla langeda, sest käelihaste tung mõjub vastupidises suunas ja hoiab tasakaalus raamatu raskustungi. Raamat jääb paigale.



34. joon. Tungid on tasakaalus.

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

Tungid on tasakaalus, kui nad ei muuda keha liikumise olekut: paigalolev keha jääb tungide mõjust hoolimata paigale, ühtlaselt sirgjooneliselt liikuv keha jätkab oma liikumist samal viisil (34. joon.).



35. joon. Tungide rööpkülik.

Too näiteid tasakaalustatud tungide kohta!

26. Tungide liitmine. Kui mitu tungi mõjuvad ühes ja samas suunas, siis on neid kerge liita, s. o. leida niisugune tung, mis üksinda antud kehale avaldab samasugust mõju kui kõik antud tungid kokku. Antud tunge nimetatakse **liidetavaiks** ehk **komponentideks**, liitmise resultaati — **resultandiks.** On selge, et ühes suunas mõjuvate 2 kg ja 3 kg kui komponentide resultant on 2 + 3, s. o. 5 kg. Järelikult, samasuunaliste komponentide resultant võrdub komponentide summaga.

Kuidas tuleks liita 2 otse vastassuunas mõjuvat tungi? Too näiteid selle kohta!

Võtame nüüd kaks tungi: $P = 2$ kg ja $Q = 3$ kg, mis on rakendatud mõlemad samas punktis A (35. joon.), kuid nende suunad moodustavad nurga BAC. Katse näitab, et niisugusel juhul on antud tungide P ja Q resultant R oma suunalt ja suuruselt P ja Q kui külgede põhjal joonestatud rööpküliku diagonaal.

1. Näita, et 35. joon. kujutatud katse vastab sellele juhisele!

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

3. Kuidas tuleks liita samas punktis rakendatud 2 ja enamgi tungi?

4. Näita graafiliselt, et mitme komponendi liitumisest saadud resultant ei olene komponentide liitumise järjekorrast!

5. Leia graafiliselt järgmiste komponentide P ja Q resultandid, kui komponentide ja nende vahel oleva nurga ($\hat{A}$) suurused vastavalt on:

a) $P = 3$ kg, $Q = 4$ kg, $\hat{A} = 90^0$;

b) $P = Q = 5$ kg, $\hat{A} = 120^0$;

c) $P = 5$ kg, $Q = 12$ kg, $\hat{A} = 90^0$;

d) $P = 4$ kg, $Q = 6$ kg, $\hat{A} = 60^0$.

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

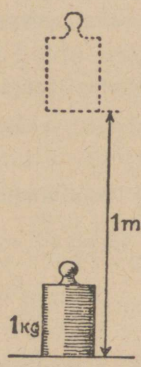
27. Töö ja selle mõõtmine. Me teeme tööd, kui tõstame kivi või ületame mingit muud raskust, veame kelku, pumpame vett jne. Samuti teeb tööd hobune koormat vedades, aurukatel rehepeksu- või mõnd teist masinat ümber ajades, vesi ning tuul veskit käima pannes, jne. Nagu neist näiteist selgub, tuleb töötegemisel alati ületada mõnesugust takistust (raskustung, hõõrdumine jt.). Ka on töötegemisel oluliseks tunnuseks asjaolu, et keha, millele mõjub töötav tung, liigub. Mida suurem on takistus ja mida kaugema maa peal tuleb teda ületada, seda suurem on ka tehtud töö hulk. Füüsikas mõõdetakse töö hulka (A) tungi

suuruse (F) ja tungi rakenduspunkti poolt käidud tee pikkuse (s) korrutisega, s. o.

töö = tung × tee, ehk lühidalt

$$A = F \cdot s.$$

Kui me näiteks tõstame 1 kg vertikaalselt 1 m võrra kõrgemale, siis nihkub 1 kg-se tungi rakenduspunkt edasi tungi suunas 1 m võrra (36. joon.). Seejuures tehtud töö hulka nimetame **kilogramm-meetriks (kgm)** ehk meeter-kilogrammiks (mkg), mis töö hulga mõõtmise ühikuna on üldiselt tarvitusel. Eelöeldust selgub, et 3 kg tõstmisel 2 m võrra kõrgemale teeme $3 \cdot 2$, s. o. 6 kgm tööd; 400 g 50 cm võrra kõrgemale tõstmisel $0{,}4 \cdot 0{,}5$ ehk 0,2 kgm tööd jne.



36. joon. Tööühik kgm.

Üldiselt võime öelda, et kgm on töö hulk, mis teeb tung 1 kg, kui ta rakenduspunkt **tungi suunas** edasi nihkub 1 m võrra. Näiteks, kui hobune vankrit edasi tõmbab 80 kg tugevuselt 5 m võrra, siis on tehtud töö hulk $80 \cdot 5$ ehk 400 kgm.

Töö, mille teeb tung 1 düün, kui ta rakenduspunkt liigub tungi suunas edasi 1 cm võrra, nimet. **ergiks.** Erg on väga väike tööühik. Kümme miljonit (10^7) ergi moodustab uue tööühiku, mis on laialt tarvitusel, iseäranis elektrivoolu töö mõõtmisel, ja kannab nime **džaul (J); 1 kgm = 9,8 džauli.**

Tuleb silmas pidada, et töötegemine ülaltoodud mõttes on kindlasti seotud liikumisega. Kui keha, millele tung mõjub, edasi ei liigu, vaid paigal püsib, siis seejuures tung tööd ei tee. Näiteks, kui vedamisel koorem on liiga raske ja hobune ei jõua teda paigast nihutada, siis ei tehta ka tööd ega maksta selle eest palka. Mispärast hobune seejuures siiski väsib? Samuti „liikumatult" paigal seistes, kätt kõrvale väljasirutatult hoides, vastu lauda rõhudes jne. väsime siiski, sellest hoolimata, et me füüsika mõttes seejuures tööd ei tee. Mispärast? Too veel samalaadilisi näiteid!

Inimese ja loomade lihastetungi, masinate, tuule, vee jne. tööd nimetatakse sagedasti ka mehhaaniliseks ehk füüsiliseks tööks vastandina vaimsele tööle, mida teeme lugedes, ülesannet lahenda-

des, üldse mõeldes. Ka vaimse töö juures me väsime, kuigi siin pole tegemist kehade liikumapanemisega, nagu mehhaanilise töö juures.

1. Mitu kgm tööd vähemalt kulub 1 pange vee (12 l) ülestõstmiseks kaevust, mille sügavus on 20 m?

2. Kui palju teeme tööd, tõstes 30 kg 20 cm võrra kõrgemale?

3. Kasutades vedrukaalu ja meetermõõtu, määra töö hulk, mis sa teed puuhalu, kelgu, kivi, laua või mõne teise koormise vedamisel mööda põrandat. Kas oleneb tehtud töö hulk ajast, mille jooksul see töö on tehtud?

4. Kuidas oleks võimalik mõõta tööd, mida teeb hobune koormavedamisel, kündmisel jne.?

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

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

7. Hobune vedas koorma, mille raskus 1,2 tonni, üles mäkke, mille kõrgus 15 m. Mitu kgm tööd tegi hobune raskustungi ületamiseks?

8. Kooli veevärgi reservuaar mahutab 1,2 m^3 vett ja asetseb keskmiselt 35 m kõrgemal veepinnast kaevus. Vähemalt mitu kgm tööd kulub selle veehulga ülespumpamiseks?

9. Inimese süda, verd mööda keha laiali surudes, teeb iga löögiga keskmiselt niipalju tööd, kui palju tööd kulub 1 kg tõstmiseks 9 cm kõrgusele. Kui suur on inimese südame öö-päeva jooksul tehtud töö hulk kgm-eis? Kui kõrgele maapinnast jõuaks inimene (75 kg) ennast tõsta selle töö arvel?

10. Kui suur on raskustungi töö 25-grammise kivi langemisel 50 m võrra?

11. Poiss viskas 120-grammise kivi 20 m kõrgusele. Kui palju tööd kulus selleks?

12. Töö, mida teeb inimene rõhtsal pinnal edasi liikudes, on umbes $^1/_{15}$ sellest tööst, mis kuluks ära sama inimese püsti ülestõstmiseks käidud tee kõrgusele. Mitu kgm tööd teed sa iga päev kooli minnes?

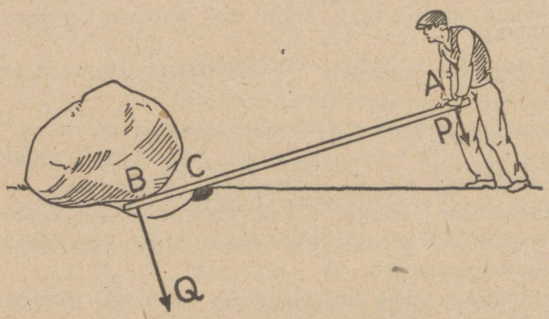
13. Mitu kgm tööd teeb raudteevedur rongi Tartust Tallinnani vedades (191 km), kui rong kaalub 150 tonni ja veduri tõmbetugevus on 0,5% rongi raskusest?

Lihtmasinad.

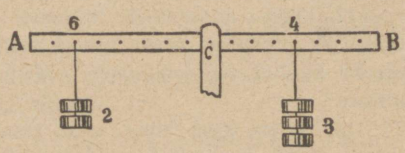
28. Tööriistad ja masinad. Inimesel tuleb ületada töötegemisel suuruselt väga mitmesuguseid takistusi, nagu: kive ja kände kaaluda, vaati vankrile veeretada, vett kaevust välja tõmmata jne. Otsesest lihastetungi rakendamisest sagedasti

ei jätku, seepärast tarvitab inimene töötegemisel mitmesuguseid kunstlikke tööriistu või seadeldisi, mida nimetatakse ka masinaiks. Lihtsamad neist on kaldpind, kang, plokk, vinn, kiil ja kruvi.

29. Kang. Tasakaal kangil. Suurte koormiste nihutamiseks, näiteks kivide ja kändude kangutamisel, on väga kasulik tarvitada k a n g i (37. joon.). See on tugev sirge varb *AB* (puu- või raudlatt), mille üks ots (*B*) pannakse tõstetava keha alla, teises otsas (*A*) surub tööline noole suunas. Kangi t o e t u s p u n k t i k s on *C*, mille ümber saab kangi vabalt pöörata. Otsa *A* allapoole rõhudes surub ots *B* kivi üles. Ütleme, et tööline lasub kangil otsas *A* kogu oma raskusega — 75 kg. Kui tugevasti rõhub kang kivi ülespoole otsas *B*? Küsimuse vastamiseks teeme rea katseid lihtsa kangiga, mis on kujutatud 38. joonisel.



37. joon. Kivi kaalumine kangi abil.



38. joon. Kahepoolne kang.

Siin kang *AB* annab vabalt pöörduda raskuspunkti *C* läbiva telje ümber. Et varva kogu raskust võime kujutella rakendatuna raskuspunktis *C*, viimast läbiv telg aga toetub sambale ning püsib paigal, siis peab ka varb *AB* jääma igas asendis tasakaalu. Riputame ühele poole kangile 2 ühesugust koormist 6 ühiku kaugusele toetuspunktist. Kui tahame tasakaalustada kangi 3 niisama suure koormisega, siis peame riputama need 3 koormist kangile

teisele poole toetuspunkti 4 ühiku kaugusele. Koormise kui ka tasakaalustava tungi suuruse märgime tabelisse; ühes sellega märgime sinna ka koormise ja tasakaalustava tungi rakenduspunktide kauguse toetuspunktist — koormise ja tungi õla pikkuse.

Koormis	2 kg	4	3	5	?
Koorm. õla pikkus .	6 ühikut	3	5	?	6
Tasakaalustav tung .	3 kg	3	?	2	2
Tungi õla pikkus . .	4 ühikut	?	3	5	3

Kangil järele katsudes täida puuduvad andmed tabelis! Vaatle veel uusi juhtusid koormiste tasakaalustumisel ja kanna nad tabelisse! Korruta koormise suurus temale vastava õla ja tasakaalustava tungi suurus temale vastava õla pikkusega! Mida paned tähele?

Katsete tulemuseks on: kang on tasakaalus, kui koormise ja tema õla korrutis võrdub tasakaalustava tungi ja tema õla korrutisega.

Kasutades 37. joonisel tarvitatud koormise ja tungi tähistust võime eelmise lause lühidalt üles kirjutada nõnda:

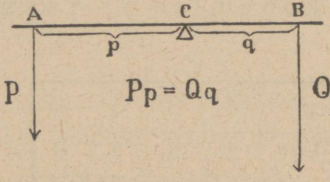
$$P \cdot AC = Q \cdot BC.$$

Lahenda nüüd ülesanne: kui tugevasti rõhub kang kivi ülespoole otsas B (37. joon.)? Seejuures tuleb silmas pidada, et kang rõhub kivi niisama tugevasti kui kivi kangi.

1. Missugused peavad olema kangi tasakaalu korral võrdsete koormiste puhul vastavad õlad?
2. Sa tahad oma raskusega üles tõsta kivi, mis kaalub 500 kg. Missugune peab olema õlgade pikkuste vahekord kangil?
3. Koormise 120 kg tõstmiseks kasutatakse kangi, mis jaguneb toetuspunktis osadeks 2 : 5. Leia tasakaalustava tungi suurus, kui ta on rakendatud kangi pikema õla otsa.

30. Tungi moment. Nimetame tungi suuruse ja ta õla korrutise tungi momendiks. Seda lühendatud väljendusviisi tarvitades võime kangi tasakaalu tingimuse sõnastada

järgmiselt: kang on tasakaalus, kui mõlemal kangi poolel rakendatud tungide momendid on võrdsed, s. o.



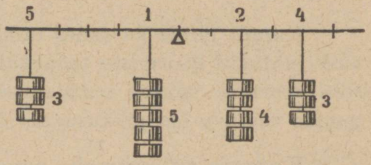
38-a. joon. Kangi tasakaal.

$$Pp = Qq.$$

Sellest võrdusest järeldub:

$$\frac{P}{Q} = \frac{q}{p},$$

s. o. **tasakaalu korral on tungi suurused pöördvõrdelised õlgade pikkustega.**

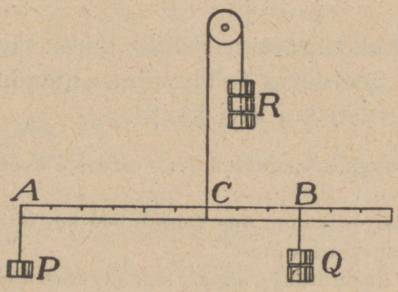


39. joon. Mitme tungi moment.

Juhul, kui mitu (kolm ja rohkem) rööptungi on rakendatud kangile, siis kang on tasakaalus, kui tungide momentide summa, mis püüab pöörata kangi ühes suunas, võrdub tungide momentide summaga, mis püüab pöörata kangi vastassuunas. Tõesta seda katseliselt!

Kas 39. joon. kujutatud kang on tasakaalus?

31. Rööpsete ühesuunaliste tungide liitmine. Kangil rakendatud tungid $P = 1$ kg ja $Q = 2$ kg on rööpsed (40. joon.). Kui kang on tasakaalus, siis läheb komponenttungide P ja Q resultant R läbi toetuspunkti C. Resultandi suuruse leiame katseliselt, nagu kujutatud 40. joonisel. Katse näitab, et



40. joon. Rööpsete tungide tasakaal.

$$R = P + Q =$$
$$= 1 \text{ kg} + 2 \text{ kg} = 3 \text{ kg}. \quad (1)$$

Rakenduspunkti C asukoha leiame kangi tasakaaluseaduse abil. Selle järgi tasakaalu korral

$$P \cdot AC = Q \cdot BC. \quad (2)$$

Valemid (1) ja (2) ongi aluseks ülesannete lahendamisel rööpsete ühesuunaliste tungide liitmise kohta. Resultandi suund on muidugi sama komponentide suunaga.

Kokkuvõttes võime eelmisest katsest järeldada: **kahe ühesuunalise rööpse tungi resultant võrdub komponentide summaga ning jagab komponentide rakenduspunktide vahe pöördvõrdeliselt komponentide suurustega.**

1. Kangi pikkus on 40 cm. Tema otstes mõjuvad ühesuunalised rööpsed tungid $P = 3$ kg ja $Q = 5$ kg. Leia resultandi R suurus ja rakenduspunkti asukoht.

2. Veekandja kannab kaelkookudega vett, täis pang kummaski otsas. Leia rõhumise suurus õlale, arvestades ka tühjade pangede ja kookude raskust.

3. Isa ja poeg kannavad vahepuus, mille pikkus 1,8 m, viljakotti (48 kg). Mitu kg tuleb kanda isal ja mitu kg pojal, kui koti kaugus pojapoolsest otsast on 135 cm?

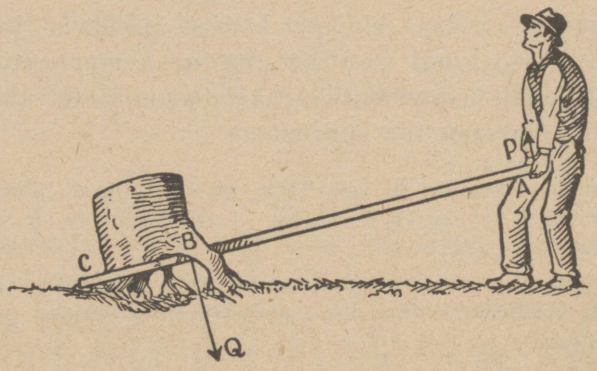
4. Heinaline kannab kepiga seljas leivakotti, mille raskus on 6 kg. Kepi eespoolne ots on tagapoolsest 3 korda pikem. Kui suur on kepi rõhumine õlale?

32. Ühepoolne kang. Kangide liigitamine. Sagedasti kasutatakse kangi 41. joonisel näidatud kujul. Kännukaaluja rõhub kangi, mis toetub punktis C, otsas A ülespoole P kg tugevuselt; känd omakorda surub kangi punktis B allapoole Q kg tugevuselt. Missuguseil tingimusil on tungid P ja Q tasakaalus?

Kirjeldatud kangi nimetatakse ühepoolseks, sest tungid on rakendatud ühel pool toetuspunkti C. Vareminikirjeldatud kang (37. joon.) oli kahepoolne, sest seal olid tungid rakendatud kahel pool toetuspunkti. Antud ühepoolse kangi juures on tungi P õlaks AC ja tungi Q õlaks BC. Katsed näitavad, et ühepoolse kangi tasakaalu korral kehtib sama seadus kui kahepoolsegi kangi tasakaalu puhul, s. o. kangile rakendatud tungide momendid on võrdsed:

$$P \cdot AC = Q \cdot BC.$$

Tõesta seda ühepoolse kangi abil 42. joonisel kujutatud viisil! Tulemused kanna tabelisse samuti, nagu seda tegime kahepoolse kangi puhul (lk. 39).

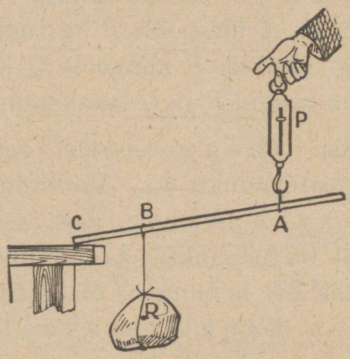


41. joon. Kännu kaalumine kangi abil.

1. Mis liiki kangid on järgmised riistad: tangid, pihid, käru, käärid, ukselink, kaevuvinn, pumbaraud, tule- ja pähklitangid, päsmer, lõualuu, inimese käsi, pliiats kirjutamisel, aer sõudmisel jne.? Kus on nende riistadega töötamisel toetuspunkt ja õlad?

2. Mis kasu on kaelkookudest? Kas nendega on kergem kanda?

3. Kummal on 43. joonisel kujutatud vahepuus kandmine kergem ja umbes mitu korda?



42. joon. Ühepoolne kang.



43. joon. Vahepuus kandmine.

4. Kuidas tuleb asetada asi kanderaamile, et ühel oleks kolm korda kergem kanda kui teisel? Kummal on 44. joonise järgi kergem kanda ja umbes mitu korda?

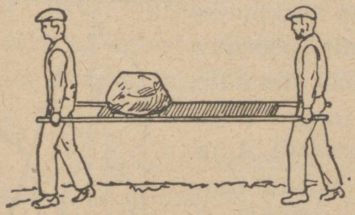
5. Mis liiki kang on harilik kangkaal? Mispärast on kangkaalul õlgade pikkused võrdsed? Missuguse raskusega vihid on vajalikud, et kaaluda asju igasuguses raskuses?

6. Kuulus vanaaja teadusmees Archimedes olevat öelnud: „Andke mulle toetuspunkt — ma tõstan üles Maa!" Kas on see ütlus millegagi põhjendatud?

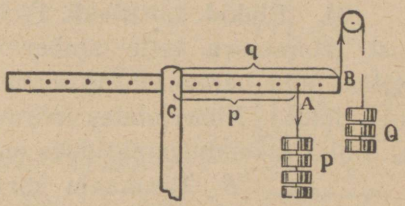
7. Selgita, kas 45. joonisel kujutatud kang on tasakaalus.

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

9. Kaalu üks õlg on 15 cm, teine 15,1 cm pikk. Müüja kaalus niisuguse kaaluga ostjale 2 kg suhkrut. Kumb võitis ja kui palju, kui suhkur oli lühema õlaga vaekausil?



44. joon. Kanderaamil kandmine.



45. joon.

33. Töö kangil. Tasakaalusta võimalikult pikkade õlgadega kangil koormised $P = 2$ kg ja $Q = 1$ kg. Nüüd nihuta kangil koormise Q rakenduspunkti näiteks 12 cm võrra kaugemale. Seetõttu koormis P tõusis ülespoole 6 cm võrra. Tee 5 säärast mõõtmist ja kanna tulemused tabelisse järgmiselt:

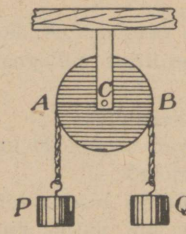
Koormis $P = 2$ kg	langes					
	tõusis	6 cm				
Koormis $Q = 1$ kg	tõusis					
	langes	12 cm				

Vaatle tähelepanelikult tabelis saadud arve! Kuidas oleneb koormiste tõus või langus koormiste suurusest? Kuidas kangi õla pikkusest?

Arvuta nüüd raskustungi töö koormiste nihkumisel üles ja alla eelmise tabeli andmete põhjal. Missugune on tasakaalu korral kangil kulutatud (koormis langeb alla) ja saadud (koormis tõuseb üles) töö vahekord?

Katsed näitavad, et **kulutatud töö võrdub alati saadud tööga,** kui jätta arvestamata kaotused hõõrdumise tõttu. See

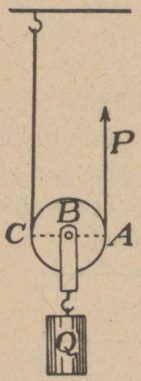
põhilause kehtib mitte üksnes kangi, vaid ka iga teise masina (kaldpind, plokk, kiil, kruvi) ja mehhaanilise seadise kohta. Järelikult me ei võida kangi abil midagi töö hulga mõttes. Küll aga on tegelikult suure tähtsusega asjaolu, et kangi abil on meil võimalik väikese tungiga tasakaalustada suurt, ja ümberpöördult. Sel teel saame oma nõrga jõuga ületada suuri raskusi.



46. joon. Plokk.

34. Plokid. Liitplokk. Plokk on keskpunktist läbimineva telje ümber vabalt pöörduv ketas, mille äärele tehtud soonest nöör üle käib (46. joon.). Nööri otstes mõjuvad tungid P ja Q, mille rakenduspunktideks on vastavalt A ja B. Tasakaalu korral peavad tungide momendid toetuspunkti C suhtes olema võrdsed, s. o.

$$P \cdot AC = Q \cdot BC.$$



47. joon. Liikuv plokk.

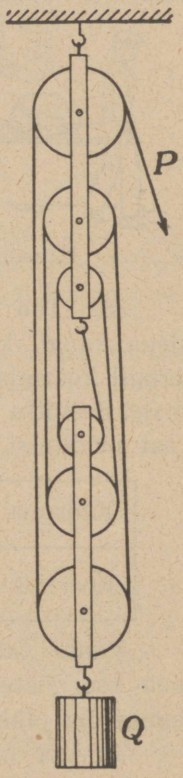
Et $AC = BC$ kui ketta raadiused, siis

$$P = Q,$$

s. o. tasakaalu korral on plokisse mõjuvad tungid võrdsed.

Kirjeldatud plokki nimetatakse liikumatuks, sest ploki telg toetub liikumatult kinnistatud pidemele. Annab aga pide ühes kettaga vabalt üles ja alla liikuda, siis nimetatakse niisugust plokki liikuvaks (47. joon.). Liikuva ploki puhul ripub koormis Q kahe nööri otsas, tähendab, kumbki neist kannab poole koormise Q raskusest. Järelikult

$$P = \tfrac{1}{2} Q,$$



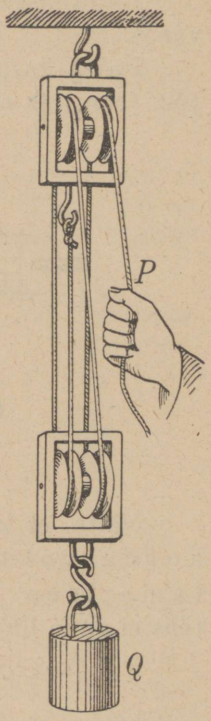
48. joon. Liitplokk ehk tali.

s. o. liikuv plokk on tasakaalus, kui nööri vabas otsas mõjuv tung võrdub pidemesse mõjuva tungi poolega.

Nagu näha, võidame liikuva ploki abil tungi suuruse poolest 2 korda, muidugi niisama palju kaotades tee pikkuse poolest, nii et töö hulk jääb samaks.

Suurema võidu saamiseks tungi suuruse poolest tarvitatakse nn. liitplokke ehk talisid. 48. joon. kujutab 3 liikumatu ja 3 liikuva ploki ühendust. Et siin koormis Q ripub 6 nööri otsas, mis kõik on ühteviisi pingul, siis on $P = \frac{1}{6} Q$.

Harilikult asetatakse liitploki kummagi poole plokid samale teljele (49. joon.). Mitu korda võidame tungi suuruse poolest 49. joon. kujutatud tali kasutamisel?



49. joon. Tali.

1. Mis kasu on liikumatust plokist, kui ta ei anna mingit võitu tungi suuruse poolest?

2. Veskis on tarvis laele vinnata 3 kotti rukkeid (144 kg). Selleks tarvitatakse 4-st plokist koosnevat tali. Kui tugevalt vähemalt tuleb nöörist tõmmata?

35. Pöör. Pöör koosneb rattast ja võllist, mis annab alusel vabalt pöörduda. Ümber võlli ja ratta käivad vastupidises suunas nöörid, millede otsas on rakendatud tungid P ja Q (50. joon.).

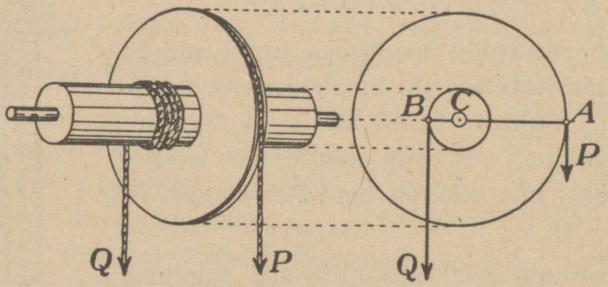
Pööra tasakaalu tingimusi võime kangi abil kergesti seletada. Kujutame tungid P ja Q mõjumas samas tasapinnas, siis saame kahepoolse kangi, mille toetuspunktiks on C ja õlgadeks võlli ja ratta raadiused CA ja CB.

Tasakaalu korral peab $P \cdot AC = Q \cdot BC$. Tähendab, pöör on tasakaalus, kui võllisse ja rattasse mõ-

juvad tungid on pöördvõrdelised pööra võlli ja ratta raadiustega.

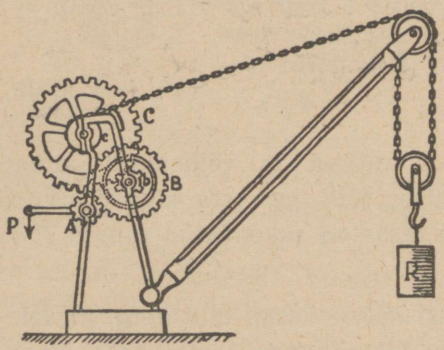
Ratta asemel tarvitatakse sagedasti võlliga ühendatud vänta.

Pööra kasutatakse meil harilikult kaevust vee vinnamisel (52. joon.) ja nooda tõmbamisel.



50. joon. Pöör.

Näita, et kõigi lihtmasinate kohta kehtib seadus: Mitu korda võidame tungis, nii mitu korda kaotame tees ja ümberpöördult. Sellest järgneb, et **töös ei anna lihtmasinad võitu ega kaotust,** kui mitte arvestada kaotusi hõõrdumise tõttu.



51. joon. Kraana.

1. Kaevupööra võlli läbimõõt on 20 cm, vända pikkus 50 cm. Kui tugevasti vähemalt peab vändast lükkama veepange ülesvinnamisel?

2. Pööra võlli raadius on 0,15 m, ratta raadius 0,6 m. Missuguse tungiga on võimalik võlli nööri otsas rippuvat 180 kg koormist tasakaalustada? Kuidas mõjub siin hõõrdumine?

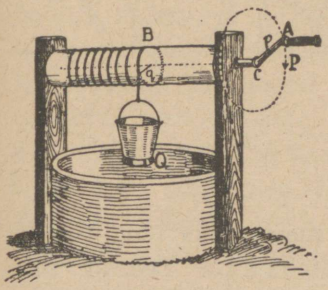
36. Hammasrattad.

Sageli tarvitatakse pöörade ühendust nn. hammasrataste näol. Sel teel saavutatakse veel suuremat võitu tasakaalustava tungi suuruse poolest. 51. joonisel on kujutatud pöörade ühendus, mida kut-

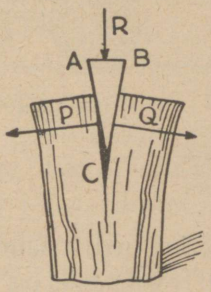
sutakse kraanaks. Seda kasutatakse suurte koormiste tõstmiseks ehituste juures ja laevade laadimisel ning tühjendamisel. Vaatle tähelepanelikult joonist ja määra, mitu korda on tasakaalustav tung P tõstetavast koormisest R väiksem.

Missuguste ühenduste kaudu toimub jalgratta ümbervedamine?

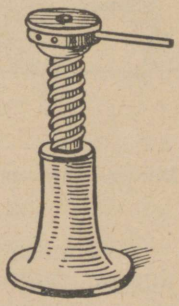
37. Kiil, kruvi. Kiilu kasutatakse tugeva küljerõhu tekitamisel puuja kivilõhkumisel, laudade ligiajamisel põrandapanekul. Kruvid leiavad rakendamist asjade ühendamisel (puu- ja rauakruvid), tugeva rõhumise



52. joon. Vinn.



53. joon. Kiil.



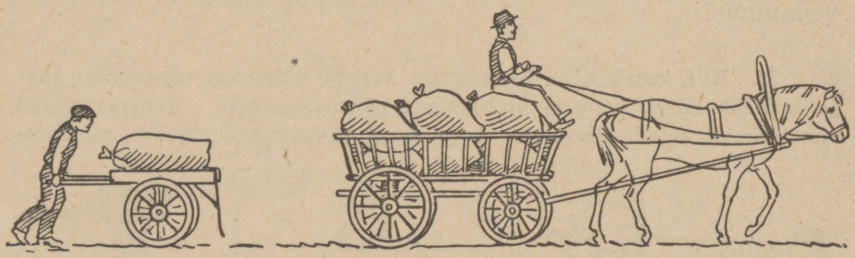
54. joon. Tungraud.

tekitamisel (tungraud, raamatuköitmispress) ja laevade ning lennukite liikumapanemisel (propeller). Vaatle 53. ja 54. joon. kujutatud kiilu ja tungrauda ning katsu seletada nende töötamist.

Võimsus ja energia.

38. Võimsus. Masinate, nagu iga teisegi tööjõu tarvitamisel peame teadma, kui suur on antud masina või tööjõu **võimsus,** s. o. tööhulk, mida masin või tööjõud teeb 1 sek. jooksul. Kui masin teeb igas sekundis 75 kgm tööd, siis ütleme, et selle masina võimsus on **1 hobusejõud (HJ).** Tugeva hobuse võimsus on 1 HJ, inimese võimsus aga umbes 8 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$.

Saksa masinatel on võimsus märgitud tähtedega PS (Pferdestärke), inglise omadel aga tähtedega HP (horse-power). Kuna 1 PS = 1 HJ = 75 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$, on 1 HP pisut suurem kui 1 HJ, nimelt: 1 HP = 1,0139 HJ.



55. joon.

Inimese võimsus $\approx 8 \frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$. $1 \text{ HJ} = 75 \frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$.

Võimsus näitab, kui palju suudab masin teha tööd 1 sek. jooksul, kui masin *tõepoolest töötab*. Tehtud töö hulga arvutamiseks korrutame võimsust sekundite arvuga, mille jooksul masin töötas. Näiteks, kui masin võimsusega 2 HJ töötas 20 min., siis on tehtud töö hulk $20 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 75$, s. o. 180 000 kgm. Tasu makstakse ainult tehtud töö, mitte võimsuse eest.

Võimsust, kus masin *igas sekundis* teeb 1 džauli tööd, nimet. **vatiks (W). Tuhat vatti on 1 kilovatt (kW). 1 HJ = 736 W.**

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

Meelespidamise hõlbustamiseks pane tähele, et sümbolid kW ja kWh on tuletatud sama põhimõtte järgi kui näiteks kg (kilo-gramm) ja km (kilo-meeter). Siin **k** asendab sõna *kilo* — *tuhat*, **W** — sõna *vatt* (tuletatud inglise füüsiku James *Watt'i* nimest) ja **h** — sõna *tund* (ladina keeli *hora*).

1. Mitme inimese tööjõu asendab aurukatel, mille võimsus on 6 HJ?
2. Narva kose võimsus on ligikaudu 75 000 HJ. Mitu töömeest suudavad teha 8-tunnise tööpäeva puhul niisama palju tööd kui Narva kosk?
3. Mitu korda on hobuse võimsus suurem inimese võimsusest?

4. Kui palju aega kuluks S.-Munamäe otsa tõusmiseks (relat. kõrgus 45 m), kui seda teha võimsusega 8 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$?

5. 1 kilovatt-tund el.-voolu tööd maksab 16 penni, inimese tööjõud aga 30 penni tund. Kumb tööjõud on sel puhul odavam, oletades, et töölise võimsus on 8 $\frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$?

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

Mehhaanikas eristatakse kahte liiki energiat: **kineetilist** ehk **liikumisenergiat** ja **potentsiaal-** ehk **asendienergiat.** Kineetilist energiat omavad liikuvad kehad, potentsiaalset energiat — pinguletõmmatud vedru, ülestõstetud keha jne.

40. Energia jäävuse seadus. Töötavaid kehi tähele pannes näeme, et tööd tehes väheneb keha energiatagavara, ta võime edaspidi tööd teha muutub järjest väiksemaks. Nii näiteks heinaniitja kulutab niites oma energiat ja ta peab vahete-vahel sööma ning puhkama, et energiat koguda, samuti ka hobune koorma vedamisel; kellavedru kaotab kellavärgi ümbervedamisel pikkamisi oma pingul-

oleku ning me peame aeg-ajalt vedru uuesti üles käänama, kui ei taha, et kell jääks seisma.

Kas siis töötamisel kulutatud energia hävib? Ei. Iga töö tulemusena ilmub kuski uus energia tagavara, kas sama või mõnda teist liiki: keha liikumapanemiseks ärakulutatud töö tulemusena saame selle keha liikumisenergia, keha tõstmiseks kulutatud töö tulemusena saame ülestõstetud keha potentsiaalenergia, hõõrdumise ületamise tulemusena — soojusenergia jne.

Kui võrrelda töötegemisel äratarvitatud energia hulka selle tööhulgaga, mis ilmub töö tulemusena, siis leiame, et mõlemad energiahulgad on võrdsed, s. o. mõlemate nende energiahulkade täielisel tööks muundamisel saaksime niisama palju tööd. Selles seisnebki nn. **energia jäävuse seadus:**

Seevõrra kui loodusnähtusi on uuritud, pole seni kuski tähele pandud energia hävimist, vaid ainult ta muundumist ühest liigist teise, kusjuures tekib alati ekvivalentne ehk samaväärne teise liigi energia hulk.

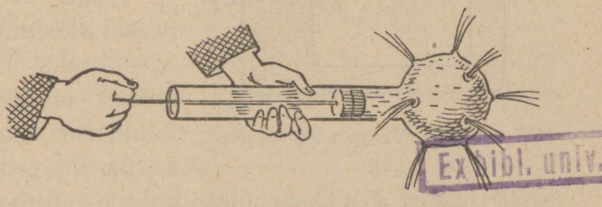
1. Mispärast vasar ja alasi tagumisel soojaks lähevad, samuti saeleht saagimisel, puur puurimisel, traat painutamisel jne.?
2. Jälgi energia muundumist päikesekiirte energiast elektrivalguseni!
3. Mis juhtuks siis, kui Maa oma liikumisel ümber Päikese jääks äkitselt seisma või kui kaks taevakeha põrkaksid kokku? Millest on tingitud raudteerongide kokkupõrke purustav jõud?
4. Millega seletada kummipalli tagasipõrkamist?

Vedelikud ja gaasid.

Rõhumisnähtusi vedelikes.

41. Vedelikkude üldomadusi. Vedelikud (nagu vesi, piiritus, petrooleum) koosnevad osakesist, mis on üksteise suhtes kergesti liikuvad. Seepärast p u u d u b vedelikel o m a k i n d e l k u j u ning vedelik võtab alati selle a n u m a k u j u, milles ta asub. Vastandina gaasidele p o l e vedelikud kuigi suurel määral k o k k u s u r u t a v a d, neil on oma k i n d e l r u u m a l a. Ka ei püsi vedeliku o s a k e s e d paigal, vaid nad on a l a l i s e s l i i k u m i s e s, mis järeldub näiteks segunemis- ja aurumisnähtusist. Osakeste kergest liikuvusest järeldub ka, et vedeliku vaba pind on alati r õ h t u s, s. o. risti raskustungiga. Kontrolli seda nurklaua ja loe abil!

42. Rõhumise edasiandumine vedelikus. Pascal'i seadus. Rõhumise all mõistetakse tungi rakendamist kehale pinna kaudu. Näiteks tool rõhub põrandat toolijala ja põranda kokkupuutumise pinnal, maja sein rõhub oma raskusega maja alusmüüri jne. Üldse võivad tahked kehad anda edasi rõhumist peaaegu ainult teatavas suunas. Kuidas vedelikud rõhumist edasi annavad, seda näitab meile järgmine katse (56. joon.).


Ex bibl. univ.

56. joonis. Rõhumise edasiandumine vedelikus.

Õõnes kera on ühendatud toruga, milles käib tihedalt edasi-tagasi kolb. Täidame riista veega ja rõhume kolviga. Kera augukesist purskuvad nüüd veejoad igas suunas laiali. Kõik joad on ühetugevused; see näitab, et kolvi rõhumine vees andub edasi igas suunas ühteviisi. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste vedelikkudega. Tähendab,

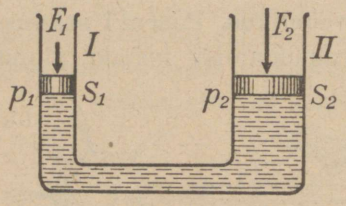
kõik vedelikud annavad rõhumist edasi igas suunas ja ühteviisi.

Selle vedelikkude põhiomaduse avastas prantsuse teadusmees Pascal (1623—1662), mispärast seda ka **Pascal'i seaduseks** nimetatakse.

1. Kuidas annavad rõhumist edasi herned, haavlid, viljaterad salves, linaseemned jt.? Katsu võrdluseks nende nähtustega selgitada rõhu edasiandumist vedelikes!

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

43. Vesipress. Pascal'i seadus järgneb vedeliku osakeste kergest liikuvusest. Seejuures tuleb silmas pidada, et *edasiantav rõhumine on võrdeline pindalaga*. Kui näiteks vedeliku 1 cm²-sele pinnale rõhub tung 1 kg, siis 10 cm²-sele pinnale andub see rõhumine edasi juba 10 kg tugevuselt, jne. Sel põhimõttel on ehitatud ja töötab nn. *vesi-* ehk *hüdrauliline press*.

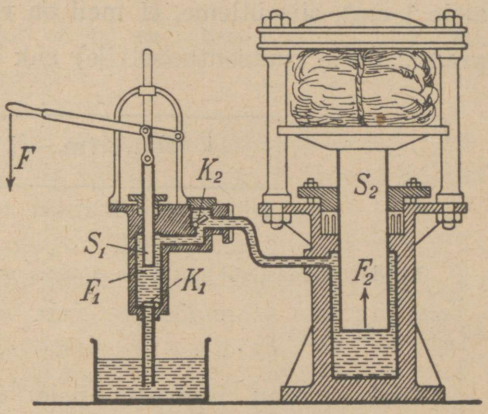


57. joon. Vesipressi skeem.

Olgu 57. joon. antud vesipressi skeemis II silindri läbilõige S_2 näiteks 100 korda suurem I silindri läbilõikest S_1. Siis ka tasakaalustav tung F_2 peab olema 100 korda suurem I silindris mõjuvast tungist F_1. Igale pinnaühikule mõjuvate tungide suurused (p_1 ja p_2) on aga tasakaalu korral mõlemas silindris võrdsed. Tahame näiteks II silindri kolviga tekitada hästi suurt rõhumist, siis peame sellele vastavalt silindrite ristilõikepindade suhte $\left(\frac{S_2}{S_1}\right)$ valima hästi suure.

Rõhumise suurendamiseks väiksemas silindris (I) kasutatakse kangi. Rõhumist edasiandvaks vedelikuks võib olla iga vedelik. Harilikult kasutatakse selleks õlisid.

Vesipressiga võib saavutada õige suuri rõhumisi (kuni 15000 tonni). Seepärast kasutatakse vesipressi ehitusmaterjalide tugevuse proovimisel, kohedate ainete (puuvill) kokkupressimisel, trükimatriitside valmistamisel jne.



58. joon. Vesipress.

Vaatle tähelepanelikult 58. joon. kujutatud vesipressi ehitust ja leia joonisest F_2 suurus, kui $F_1 = 50$ kg.

44. Rõhumise mõõtmine. Tahketel kehadel on omadus alal hoida oma kuju ja ruumala, ühel suuremal, teisel väiksemal määral. Seepärast kasutataksegi tahkeid kehi tungi mõju edasiandmiseks, olgu see näiteks labida *varre*, vankri *aisa* või masina *vända* näol.

Tungi mõju edasiandmisel pole oluline üksnes edasiantava *tungi suurus*, vaid samuti *pindala suurus*, millele tung mõjub. Näiteks suuskadel püsime lumel, ilma suuskadeta vajume sisse; lamades võime püsida koguni nõrgal jääl, püsti olles aga vajume läbi jää vette; pliiatsi tömbi otsaga vastu paberit rõhudes ei jää sinna jälge, terava otsa puhul aga tekib väike auguke; kitsa rehviga ratas lõhub teed rohkem kui laia rehviga; karkudel kõndides jäävad järele väikesed ümmargused augud, hariliku kõndimise puhul mitte.

Et rõhumise tulemus oleneb mitte üksnes rõhuva tungi suurusest, vaid ka pindalast, mille kaudu see tung rakendub, siis tuleb rõhumisest kõneldes alati anda mõlemad: *tungi*

suurus ja pindala. Harilikult antakse tungi suurus kg-des ja pindala cm^2-tes. Kui näiteks tung 1 kg mõjub pindalale 1 cm^2, siis ütleme, et meil on **rõhk 1** $\frac{kg}{cm^2}$ (loe: üks kilogramm ühele ruutsentimeetrile) ehk **1 tehniline atmosfäär.**

$$1 \text{ tehn. atm.} = 1 \frac{kg}{cm^2}$$

Kuidas lugeda rõhku, mille suurus on: $3 \frac{g}{cm^2}$; $0{,}5 \frac{t}{m^2}$; $12 \frac{kg}{cm^2}$; $10 \frac{mg}{mm^2}$; $25 \frac{kg}{dm^2}$.

Teades rõhu suurust, pole raske arvutada kogurõhumise suurust mõnele antud pindalale. Kui näiteks on teada, et aururõhk katlas on 12 tehn. atmosfääri, s. o. 12 $\frac{kg}{cm^2}$, siis 1 ruutdetsimeetrile (100 cm^2) rõhub $100 \cdot 12$ ehk 1200 kg ja 0,5 ruutdetsimeetrile $0{,}5 \cdot 1200$ ehk 600 kg.

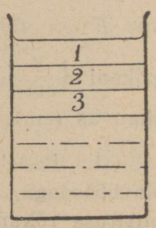
Praktikas esineb tarvidus vahel rõhku suurendada, vahel vähendada. Esimesel puhul vähendame pindala suurust, millele tung mõjub (naaskel, nõel, kiil, terariistade lõiketerad), teisel puhul tuleb suurendada rõhumispindala. Kui näiteks autol on vaja sõita liivasel teel (kõrves), siis kasutatakse selleks hästi laiapinnalisi kumme. Eriliselt suurel määral on rõhumispindala suurendamine rakendamist leidnud traktorite ja tankide ehitamisel. Traktori või tanki raskus ei toetu otseselt maapinnale, vaid erilistest tugevatest terastaldadest (kilpidest) koosnevale lindile. Sedaviisi saavutatakse rõhumispindala suurenemine ja ühes sellega rõhu vähenemine, mis võimaldab traktoril või tankil liikuda mööda hoopis pehmet, muidu täiesti läbipääsematut pinda.

1. Telliskivi mõõtmed on: 24, 12 ja 6 cm ning erikaal 1,6 $\frac{g}{cm^3}$. Määra selle telliskivi rõhk horisontaalsele pinnale lapiti, küliti ja otseti asendis!

2. Täiskasvanud inimene (75 kg) toetub põrandale 3 dm^2 suurusel pinnal. Leida rõhk $\frac{kg}{cm^2}$ -tes!

3. Naaskli otsa läbimõõt on 0,2 mm. Leia rõhk $\frac{kg}{cm^2}$ -tes, kui rõhuda naasklile 0,6 kg tugevuselt.

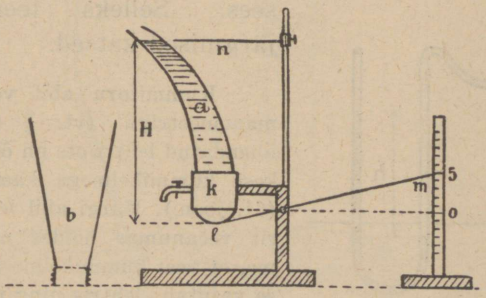
45. Vedeliku rõhumine anuma põhjale. Võtame püstseintega anuma (59. joon.) ja täidame veega. Lahutame vee anumas mõttes üksikuiks rõhtsaiks kihtideks. Kiht 1 rõhub oma raskusega kihti 2; kiht 2 annab kihile 3 edasi 1. kihi rõhumise (Pascal'i seadus), samuti ka oma raskuse rõhumise. Nõnda edasi arutades järeldame, et anuma põhjale mõjub rõhumine vee kogu raskuse suuruses. Sama mõttekäik käib iga püstseintega anuma ning iga teise vedeliku kohta.



59. joon. Rõhumine põhjale.

Vaatame nüüd, kuidas oleneb rõhumine anuma põhjale anuma kujust. Selleks teeme järgmise katse (60. joon.).

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



60. joon. Rõhumine põhipinnale ei olene anuma kujust.

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

Sellest katsest järeldame, et **vedeliku rõhumine põhjale ei olene anuma kujust,** vaid ainult põhipinna ja ta

sügavuse suurusest ning vedeliku erikaalust. Rõhumine põhjale võrdub alati selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on anuma põhi ja kõrguseks põhja keskmine sügavus.

Lühidalt võime seda üles kirjutada nõnda:

$$F = eSH,$$

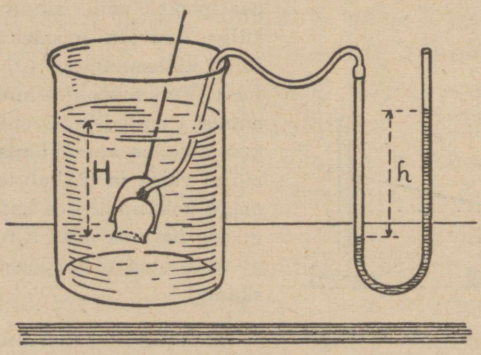
kus F on rõhumise suurus kogu põhipinnale grammides, e — vedeliku erikaal $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$, S — anuma põhipinna suurus (cm^2) ja H — põhipinna sügavus (cm).

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

2. Mensuur on täidetud 20 cm kõrguseni väävelhappega. Leia rõhk põhjale!

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

46. Rõhumine vedeliku sees. Vaatame nüüd, millest oleneb rõhumine vedeliku sees. Selleks teeme järgmised katsed.



61. joon. Rõhumine vedeliku sees.

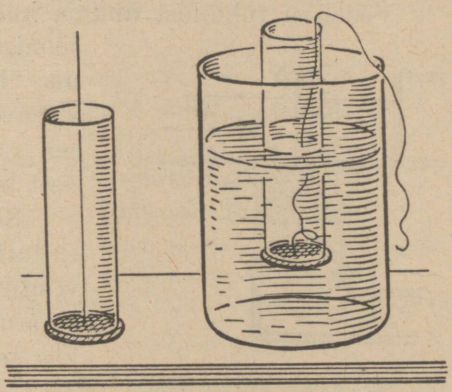
Kummitoru abil vesimanomeetriga (vt. § 63) ühendatud lehtri ots on õhukese kummikelmega kaetud (61. joon.). Hargi abil lehtrit veeanumas hoides näeme, et vesi kummikelme sisse vajutab; lehtris ning manomeetri ühendustorus olev õhk tiheneb ja lükkab tasakaalustamiseks manomeetri lahtises harus vee kõrgemale.

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

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

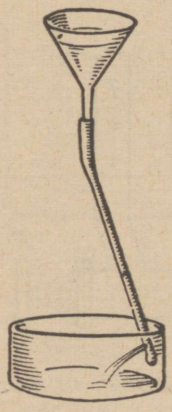
b) **ei olene** 1) sellest, mis sihis antud pind on asetatud, kui aga keskmine sügavus ei muutu, ega 2) **anuma kujust.**

Rõhumise suuruse üle vedeliku sees aitab otsustada järgmine katse (62. joon.).

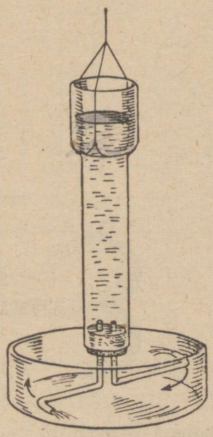


62. joon. Rõhumine vedeliku sees.

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



63. joon.



64. joon. Segneri ratas.

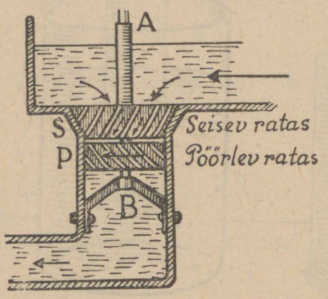
Sama nähtus kordub ka teiste vedelikkudega. Tähendab, rõhumine vedeliku sees (F) antud pindalale (S) võrdub selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on antud pindala (S) ja kõrguseks (H) aluse keskmine sügavus, s. o.

$$F = eSH.$$

47. Vedeliku rõhumine anuma küljele. Et vedelik Pascal'i seaduse põhjal annab edasi rõhumist igas suunas

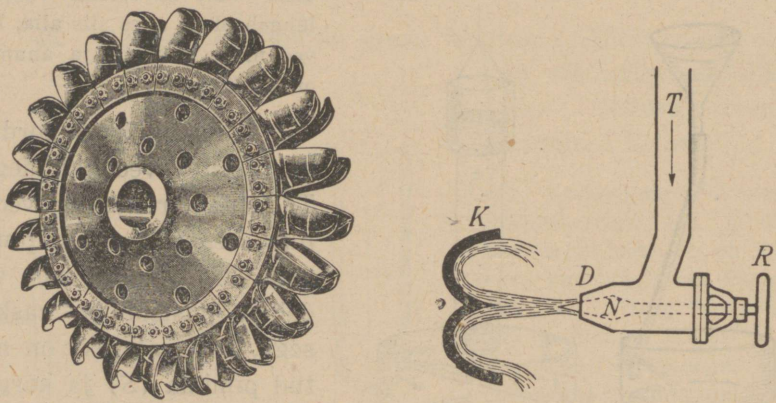
ja ühteviisi, siis väljendab eelmine valem ka rõhumist anuma küljele.

Vedeliku rõhumist anuma küljele näitavad ka 63. ja 64. joonisel kujutatud katsed. Mõlemas hakkab anum liikuma vee väljavoolamise suunale vastupidises suunas. Viimane neist riistadest kannab **Segneri ratta** nime.



65. joon. Vesiturbiin.

Segneri ratta põhimõttel on ehitatud tööstuses tarvitatavad **vesiturbiinid** (65. joon.). Ülespaisutatud vesi juhitakse turbiini, kus ta üksikuiks tugevaiks jugadeks jaguneb ja alt välja voolates turbiini pöörlema paneb. Turbiin võimaldab langeva vee jõudu põhjalikumalt kasutada kui vesirattad. Seepärast tarvitataksegi kõigis suuremais ja paremais tööstusis vesirataste asemel turbiine. Eestis töötavad eriti



66. joon. Peltoni vesiturbiin.

tugevajõulised turbiinid (1200 HJ) Narva kosele ehitatud vabrikuis. Vee langemine on siin keskmiselt 8,5 m.

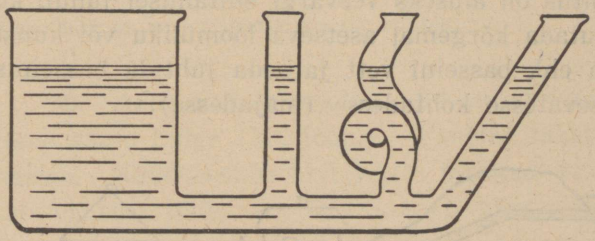
Väikese veehulga ja suure rõhumise puhul (100 m ja enam) kasutatakse vesiturbiine 66. joon. näidatud kujul. Tugev

silindriline veejuga juhitakse vastu rõhttelje ümber pöörleva turbiiniratta lusikataolisi kühvleid. Veejuga annab oma kineetilise energia turbiinirattale ja paneb ta pöörlema. Vee juurdevoolu reguleeritakse nõela *N* abil.

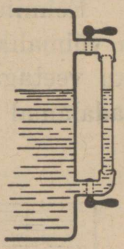
Peale vesiturbiinide tarvitatakse veel aurturbiine. Siin paneb turbiini pöörlema turbiinist väljavoolav aur.

1. Ehita endale Segneri ratas lambiklaasist (lisaks kork, klaastoru, niit)!
2. Leia vee rõhk atmosfäärides kõige sügavamas merepõhjas!
3. Kala tõusis järve põhjast 6 m veepinnale lähemale. Kui palju vähenes rõhumine kala keha välispinnale, mille suurus on 1,5 dm^2?
4. Kui suure rõhumise all on inimese keha (välispind $\sim$ 2 m^2) vees 1,5 m sügavusel?

48. Ühendatud anumad. Katse näitab, et ühendatud anumais, mis täidetud sama vedelikuga, on vedeliku vaba pind (nivoo) alati rõhtus (67. joon.), sest muidu poleks ka anumaid ühendava toru läbilõikes rõhumine mõlemalt poolt ühesuurune.



67. joon. Ühendatud anumad.



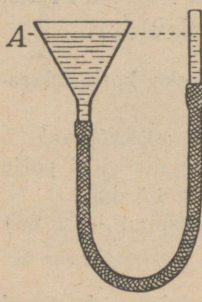
68. joon. Aurukatla veeklaas.

Seleta ühendatud anumate omaduse põhjal järgmiste riistade ja seadiste tarvitamist: aurukatla veeklaas (68. joon.), loodimisriist ehk nivelliir, purskkaev ja kohvikann.

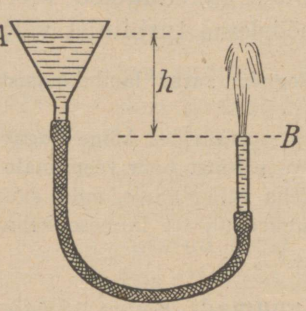
49. Veevärk. Vett leidub meil vabas looduses igal pool: järvedes, jõgedes ja allikates. Sellest hoolimata on meie majapidamiste ning tööstuste veega varustamine küllaltki kulukas ja keeruline ülesanne. Vaatame, kuidas seda tehakse.

Ühendame klaaslehtri kummitoruga ja täidame veega, nagu 69. joon. näha.

Ühendatud anumate omaduse põhjal on vee tase mõlemal pool toru otsas (*A* ja *B*) ühekõrgusel. Kui laseme toru otsa *B* madalamale (70. joon.), siis purskub vesi otsast *B* välja ja seda tugevamini, mida madalamale asetada toru *B* ots, võrreldes veetasemega lehtris *A*. Seejuures püüab vesi otsast *B* purskuda samale kõrgusele, kui asub veetase lehtris *A*. Purske tugevus oleneb *A* ja *B* nivoode vahest *h*.

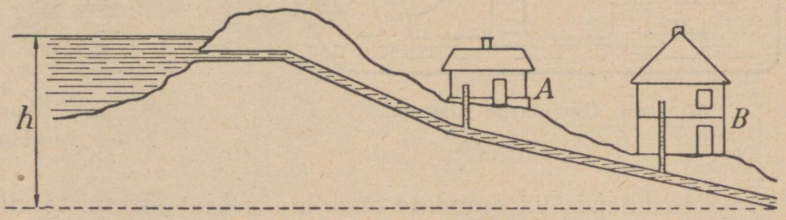


69. joon.



70. joon.

Eelmine nähtus on aluseks veevärgi ehitamisel juhul, kui on võimalik kasutada kõrgemal asetseva loomuliku või kunstliku veetagavara ehk basseini vett ja seda juhtida basseinist madalamal asetsevatesse kohtadesse (majadesse).



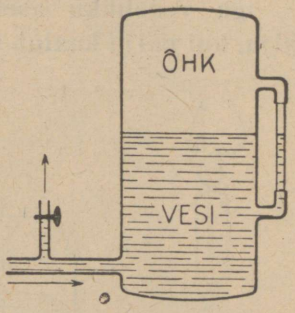
71. joon. Vee juhtimise skeem.

Nii näiteks saab Tallinna linn oma vee Ülemiste järvest, mis asetseb Tallinna all-linnast umbes 30 m kõrgemal.

Kui säärane kõrgemalasetsev loomulik veetagavara puudub, siis tuleb pumbata vesi kunstlikult kõrgemale ehitatud

reservuaaridesse ehk veetornidesse, kust torustiku kaudu vesi tarvitaja kätte juhitakse. Sel põhimõttel on korraldatud veevarustus näiteks Tartus, Viljandis, raudteel ja paljudes eramajapidamistes.

Kõrgemal asetseva veereservuaari asemel tarvitatakse sageli ka madalal asetsevat kinnist reservuaari ehk hüdrofoori (72. joon.), millest kokkusurutud õhk vee igale poole laiali surub.



72. joon. Hüdrofoor.

1. Kuidas on ehitatud teie kooli veevärk?

2. Kus on veerõhumine torustikus suurem: kas majas A või majas B (71. joon.)?

3. Kui nivoode vahe $h = 20$ m, kui kõrge (teoreetiliselt) purskkaevu saaksime siis teha? Mispärast tegelikult vesi purskub märksa madalamale?

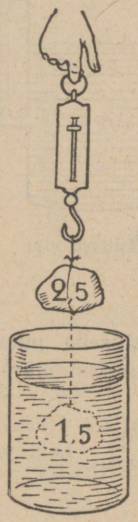
4. Vee rõhumine veevärgi kraani otsas on $1{,}5\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. Leia vee nivoo kõrgus reservuaaris kraani suhtes!

50. Archimedese seadus. Seome kivi niidi otsa ja riputame kaalu külge (73. joon.). Paneme tähele, kui palju kaal näitab. Nüüd laseme kivi vette; tasakaal kaob ning kaal näitab vähem; tähendab, kivi kaalub vees vähem kui õhus, ta kaotab vees osa oma kaalust.

Kaalu kaotuse suuruse üle otsustamiseks üldjuhul (74. joon.) arutame järgmiselt. Kui vette asetatud keha L muunduks veeks, siis tasakaal ei muutuks, sest ümberolev vesi hoiaks ta ülal. Tähendab, keha L raskusest kannab vesi niipalju, kui palju kaalub selle keha poolt välja tõrjutud vesi. Selle väite katseliseks tõestuseks määrame keha kaalukaotuse näiteks kilogrammides ja väljatõrjutud vee ruumala kuupdetsimeetrites ning võrdleme saadud arve. Väiksemate kehade puhul tuleb kaalukaotus ja ruumala määrata vastavalt grammides ja kuupsentimeetrites.

Eeltoodud arutlus on õige iga keha ja iga vedeliku kohta; tähendab,

iga vedelikku asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub selle keha poolt välja tõrjutud vedelik.



73. joon. Kivi kaalub vees vähem kui õhus.



74. joon. Kaalu kaotus võrdub üleslükkega.

Selle seaduse avastas kreeklane **Archimedes;** seepärast nimetatakse seda seadust ka Archimedese seaduseks.

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

Sõnasta Archimedese seadus üleslükke abil!

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

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

3. Kui palju kaaluks 10-grammine kullatükk elavhõbedas?

4. Valaskala kaalub 30 tonni. Leia tema keha ligikaudne ruumala!

5. Seest õõnes raudpomm kaalub 3 kg ja püsib vees tasakaalus. Leia õõnsuse ruumala!

51. Ujumine. Olgu antud keha kaal õhus P ja keha poolt välja tõrjutud vedeliku kaal (üleslüke) Q, siis on Archimedese seaduse põhjal keha kaal vedelikus $P - Q$. Vaatleme, missugused juhud võivad esineda, kui keha lasta vabalt vedelikku:

a) $P > Q$, s. o. keha kaal õhus on suurem kui üleslüke. Siis P ja Q resultant $(P - Q)$ on suunatud allapoole ja keha vajub põhja — upub.

b) $P = Q$, keha kaal õhus võrdub üleslükkega, nende resultant $(P - Q)$ on 0 ning keha on vedelikus igas kohas tasakaalus.

c) $P < Q$, s. o. üleslüke on suurem keha kaalust õhus. Sel juhul on P ja Q resultant $(Q - P)$ suunatud alt ülespoole ning keha ujub pinnal. Ka siin võrdub keha kaal väljatõrjutud vedeliku kaaluga.

Värske kanamuna abil on kerge vees (lisandada soola!) näidata kõiki kolme tasakaalujuhtu. Tee seda!

Eeltoodust selgub, mispärast määratu rasked raudlaevad kõigi masinate ja koormaga püsivad veepinnal. Oma suure kerega suruvad laevad välja hulga vett. Väljasurutud vee kaal võrdub üleslükkega, mis hoiab laeva veepinnal.

Laeva suurust hinnatakse tonnides. Kuid laevatonn ei tähenda meetermõõdustiku tonni. Laevatonn on 100 inglise kuupjalga ehk 2,8 kuupmeetrit. Kui näi-



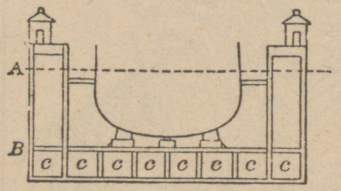
75. joon. Archimedes (287—212 e. Kr.), suuremaid vanaaja teadusmehi. Rahvuselt kreeklane, sündis ta Sürakuusa linnas Sitsiilias ja elas seal kogu aja. Archimedes olevat ehitanud kuni 40 mitmesugust uut masinat. Ta on kangide ja teiste lihtmasinate tasakaalu seaduse ning vedeliku üleslükke seaduse avastaja; ka määras ta esimesena π suuruse ja arvutas ringi pindala. Kui roomlased piirasid Sürakuusat, aitas Archimedes mitmesuguste uute masinate abil edukalt kaitseda oma kodulinna. Kolmeaastase piiramise järel langes Sürakuusa siiski roomlaste kätte ja Archimedes sai surma rooma sõduri käe läbi. Räägitakse, et parajasti enne surma Archimedes olevat uurinud mingisugust joonist liival. Rooma sõdurile, kes tuli teda tapma, olevat Archimedes hüüdnud: „Ära astu mu ringidele!“

teks laev surub välja 280 kuupmeetrit vett, siis on selle laeva suurus 100 tonni.

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

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

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



76. joon. Ujuv dokk.

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

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

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

52. Areomeetrid. Vedeliku erikaalu kiireks leidmiseks tarvitatakse nn. a r e o m e e t r e i d. Archimedese seaduse põhjal teame, et keha on vedelikus tasakaalus, kui keha kaal võrdub väljatõrjutud vedeliku kaaluga. Sama keha langeb kergemas vedelikus sügavamale kui raskemas. Niisiis võime otsustada vedeliku erikaalu üle selle põhjal, kui sügavale vajub temas antud keha. 77. joonisel kujutatud areomeeter polegi muud, kui sellekohaselt valmistatud ja vastava skaalaga varustatud keha, mille suurem või väiksem sissevajumine vedelikus näitab meile erikaalu.



77. joon. Areomeeter.

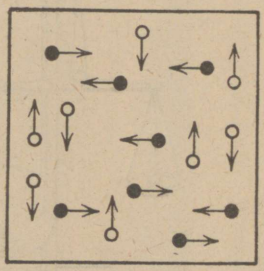
Skaala valmistatakse järgmiselt. Areomeeter asetatakse esiti ühte, siis teise vedelikku, millede erikaalud on teada, ning märgitakse skaalale, kui sügavalt see vajub vedelikku. Sel teel saadud kriipsude vahe skaalal jaga-

takse võrdseteks osadeks vastavalt antud vedelikkude erikaalude vahele.

1. Mispärast seisab areomeeter vedelikus püsti ega vaju küljeli?
2. Kui areomeetri toru on ühtlane, kas vastavad siis võrdseile erikaalu muutusile võrdsed kriipsuvahed skaalal?
3. Kuidas on võimalik valmistada areomeetrit katseklaasist?

Rõhumisnähtusi gaasides.

53. Gaaside üldomadused. Gaasidel (õhk, süsihappe- ning valgustusgaas) samuti kui vedelikelgi puudub kindel kuju. Nad koosnevad väikestest osakestest, molekulidest, millede vahel ei ole märgata sidet. Gaasi molekulid on alalises liikumises, mis järeldub gaaside segunemisnähtustest (samasse kinnisesse anumasse kaks erisugust gaasi juhtides saame nende ühtlase segu; lõhnade levimine, karm, valgustusgaas jne.).



78. joon. Gaasi molekulid on alalises liikumises.

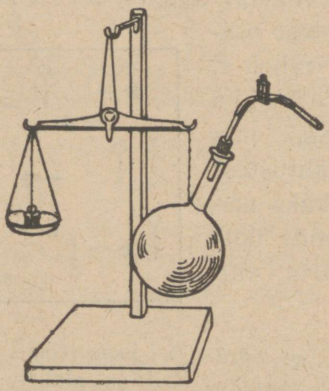
Gaasimolekulide liikumise kiirus on võrdlemisi suur: nii näiteks 0° C juures on vesinikumolekuli kiirus 1700 $\frac{m}{sek}$, hapnikumolekulil $\sim$ 450 $\frac{m}{sek}$ jne. Võrdluseks peame meeles, et kahurikuuli kiirus on umbes 900 $\frac{m}{sek}$.

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

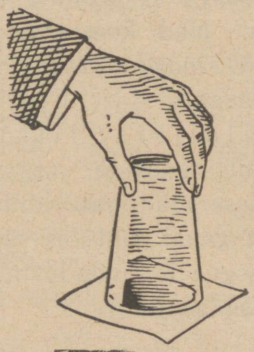
Samuti kui vedelik võib gaas tasakaalustada ainult ta pinnaga risti, mitte aga puuteliselt rakendatud tunge; ka rõhumist annavad gaasid edasi igas suunas ja ühteviisi (Pascali seadus), mida on kerge näidata 56. joonisel kujutatud riistaga, tarvitades vee asemel suitsu.

Nimeta mõned gaaside, vedelikkude ja tahkete kehade ühised ning erilised omadused!

54. õhu kaal. Aineosakesed, milledest gaasid koosnevad, tungivad samuti maa poole kui tahkete ja vedelate kehade



79. joon. Õhu kaalumine.



80. joon. Õhu rõhumine ei lase veel klaasist välja voolata.

aineosakesed. Tähendab, gaasid omavad kaalu, neid võib kaaluda, ehkki tahkete ja vedelate kehadega võrreldes on gaasid väga kerged.

Õhu kaalutavust võime näidata järgmise katse abil (79. joon.).

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

Täpsed mõõtmised näitavad, et **1 liiter õhku** kaalub normaaltingimustes (temp. 0°, rõhum. 76 cm) **1,293 grammi** (~ 1,3 g).



81. joon. See pilt on võetud Otto von Guericke raamatust „Uued Magdeburgi katsed tühja ruumi kohta“ ja kujutab õhurõhumise pidulikku demonstreerimist Saksa Riigipäeva liikmeile Regensburgis a. 1654.

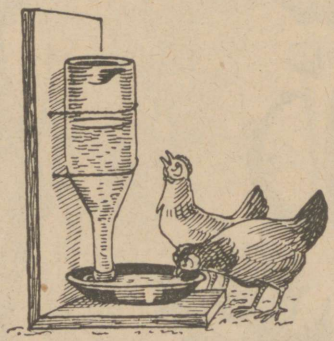
1. Mitu kg kaalub klaasitäis õhku normaaltingimustes?
2. Mitu korda on õhk normaaltingimustes veest kergem?
3. Kui palju kaalub õhk sinu keha ruumala suuruses?

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

Nagu nägime, on Pascali seadus kehtiv ka gaaside kohta ning gaasidel on raskus; seepärast kõik korrapärasused, mis



82. joon. Magdeburgi poolkerad.



83. joon. Kanade jooginõu.

leidsime varemini rõhumise kohta vedeliku sees, kehtivad täies ulatuses ka gaaside kohta. Neist võime järeldada õhu kohta: Ülemiste kihtide raskuse mõjul kokkusurutud õhk rõhub iga keha, millega ta kokku puutub, ja mitte ainult ülalt alla, vaid igas suunas. Samuti kui vedelikuski, oleneb õhu rõhumise suurus kõrgemal oleva õhusamba raskusest.

Õhu rõhumist tõestavad järgmised katsed.

1. Täidame klaasi ääreni veega, katame papitükiga ja pöörame ümber (80. joon.). Vesi ei voola välja, ka siis mitte, kui tugevasti raputada ja klaas küljeli pöörata.

2. Magdeburgi poolkerasid (vt. 82. joon.), mis tihedalt kokku pandud ning õhust võimalikult tühjaks pumbatud, võib lahti tõmmata ainult tugeva tõmbega.

3. Plekktoos, millest õhku välja pumbatakse, langeb raginaga kokku; õhukeste seintega kummitoru aga, kui temast õhku välja pumbatakse, surutakse õhu rõhumise mõjul kokku paelaks.

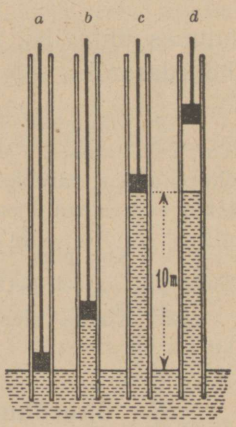
4. Täida pudel veega, pööra ümber ja aseta otsapidi vette! Vesi ei voola pudelist välja. Mispärast? Mis juhtub siis, kui puurida pudeli põhja auk?

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

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

7. Seleta, kuidas töötab 83. joon. kujutatud kanade jooginõu!

56. Torricelli katse. Nähtuste hulka, mis seletuvad õhurõhumise abil, kuulub ka vee tõusmine pumbatorus, kus tõusva kolvi taha jääb tühi ruum, mis täitub veega. Vanad kreeklased ja roomlased oletasid selle nähtuse seletuseks, et „loodus kardab tühja ruumi", milline seletus püsis Galilei päevini.

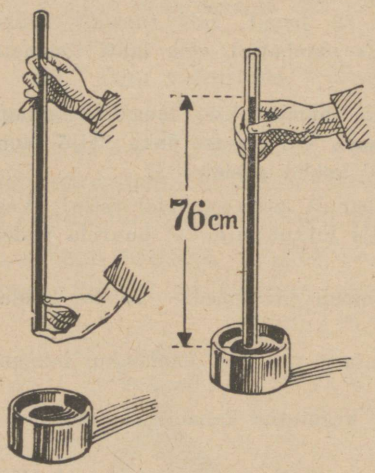


84. joon. Vee tõus pumbatorus.

A. 1640 leidis Toscana hertsog, kes Firenze lähedal ehitas endale sügavat kaevu, et vesi ei tõuse pumbatorus kõrgemale kui umbes 10 m veepinnast (84. joon.). Imelikule nähtusele seletuse saamiseks pöörduti elatanud Galilei poole, kes arvas, et vee tõusmise põhjuseks pumbatorus on õhurõhumine. Galilei suri (a. 1642) enne, kui ta suutis oma arvamusi katseliselt tõestada. Selle töö viis lõpule Galilei õpilane Torricelli.

Torricelli mõttekäik oli järgmine: Kui õhu rõhumine suudab hoida ülal veesamba, mille kõrgus 10,3 m, siis peab elav-

hõbedasamba kõrgus olema 13,6 korda väiksem, s. o. 10,3 m : 13,6 ≈ 76 cm, sest elavhõbeda erikaal on vee omast 13,6 korda suurem. Selle tõestuseks tegi Torricelli a. 1643 katse, mis praegugi kannab tema nime (85. joon.).



85. joon. Torricelli katse.

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

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

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

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

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

57. Õhurõhumise suurus. Torricelli katse annab lihtsa abinõu õhurõhumise suuruse määramiseks, nimelt: õhurõhumine võrdub tema poolt tasakaalustatud elavhõbeda-samba rõhumisega. Olgu näiteks elavhõbeda-samba kõrgus Torricelli katses 76 cm, siis võrdub elavhõbeda rõhumine iga cm^2 peale elavhõbedast püstsamba raskusega, mille alus 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 rõhk **1033** $\frac{g}{cm}$ ehk 1,033 $\frac{kg}{cm^2}$.

Õhu rõhku, mis tasakaalustab 76 cm kõrguse elavhõbedasamba, nimet. **normaalrõhumiseks** ehk **füüsikaliseks atmosfääriks (Atm).**

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

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

3. Arvuta atmosfääri kõrgus, eeldades, et õhu tihedus on igal pool niisama suur kui maapinna läheduses?

4. Õhurõhu suurus (p mm elavh. s. k.) mitmesuguses kõrguses merepinnast (h km) on keskmiselt järgmine:

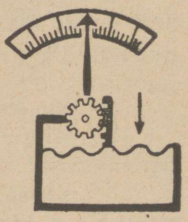
h km	0	10	20	30	40	50
p mm	760	217	51	9,3	1,24	0,11

Joonesta nende andmete põhjal graafik, mis näitab õhurõhu suuruse olenevust kõrgusest, võttes 1 cm rõhumise kujutamiseks püstteljel 1 mm.

Leia saadud graafiku põhjal õhurõhk Maa kõige kõrgema mäe tipus (Mount Everest, 8840 m)! Kuidas on lugu hingamisega sellel kõrgusel?

5. Mitme m võrra merepinnast kõrgemale tõustes väheneb Torricelli katses elavhõbeda-samba kõrgus 1 mm võrra, oletades, et õhk on igal pool ühtlase tihedusega?

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

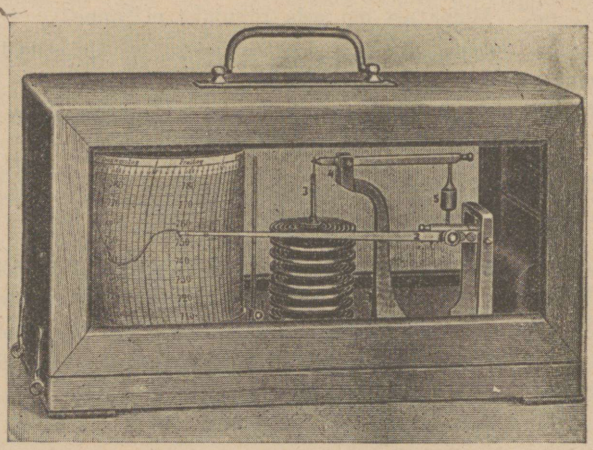


86. joon. Aneroidbaromeeter.

Igapäevases elus on väga laialt tarvitusel nn. **aneroid-** ehk **metallbaromeetrid** (86. joon.). Nende oluliseks osaks on õhutühi metallkarbike, mille kaas on tehtud hästi vetruvast plekist. Õhurõhumise suurenedes paindub kaas veidi sissepoole, rõhu-

mise vähenedes aga ümberpöördult. Karbi kaane võrdlemisi väikesed edasi-tagasi nihkumised suurendatakse kangide ja hammasrataste süsteemi abil meile kergesti tähelepandavaiks osuti liikumisteks astmikul. Aneroidi astmik varustatakse jaotistega, mis vastavad elavhõbe-baromeetri omile.

Riista, mis järjest kirjutab õhurõhumise iga momendi kohta, nimet. barograafiks (87. joon.). See pole muud midagi, kui üleskirjutamis-vahenditega varustatud metall-baromeeter.



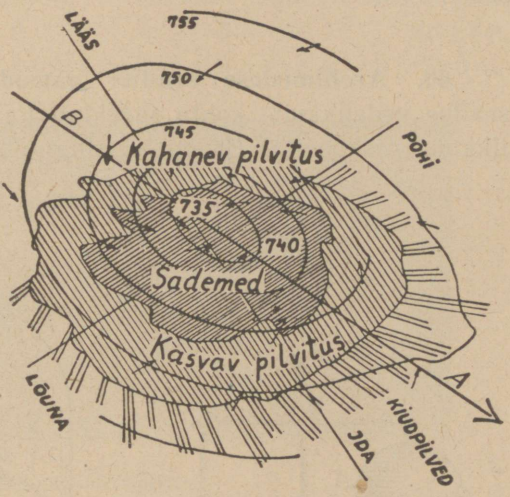
87. joon. Barograaf.

Metallbaromeetri näitamist tuleb vahete-vahel reguleerida, sest pleki elastsus muutub aja jooksul. Normaalbaromeetriks seejuures on elavhõbe-baromeeter.

1. Nimeta aneroid-baromeetri head ja halvad küljed!
2. Mitu korda on petrooleumbaromeeter tundlikum elavhõbe-baromeetrist?
3. Mitme mm võrra muutub petrooleumbaromeetri kõrgus baromeetrit 1 m kõrgemale või madalamale asetades?
4. Milline elavhõbeda-samba kõrgus baromeetris vastab rõhule 1 tehniline atmosfäär?

59. Baromeetri kasutamine. Varemini (§ 57) nägime, et maapinnast kõrgemale tõustes õhurõhumine väheneb. Nende

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



88. joon. Madalrõhkkonna ehitus.

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

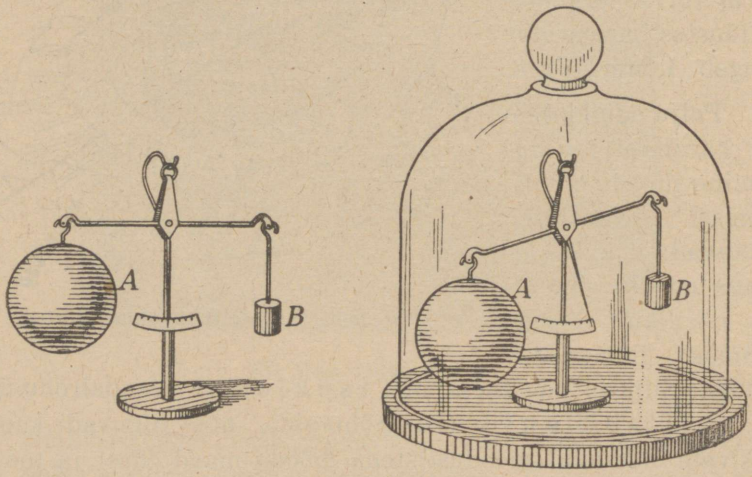
Vaatle lähemalt 88. joon. kujutatud madalrõhkkonna (tsükloni) ehitust. Nool *BA* näitab tsükloni edasiliikumise, väikesed nooled tuule suunda. Tsükloni idapoolses osas puhuvad võrdlemisi soojad, läänepoolses osas jahedad tuuled. Mispärast?

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

2. Kui palju peaks baromeeter S.-Munamäe otsas (317 m) vähem näitama kui merepinnal (Pärnus)?

3. Mispärast õhurõhumine õõnsaid asju (pudeleid, klaase jne.) ära ei purusta? Kuidas suudab inimene ületada tema kehale mõjuvat õhurõhumist?

60. Archimedese seadus gaaside kohta. Archimedese seadus vedelikkude kohta järeldub Pascali seadusest ja vedelikkude raskusest. Et samad tingimused on täidetud ka gaa-



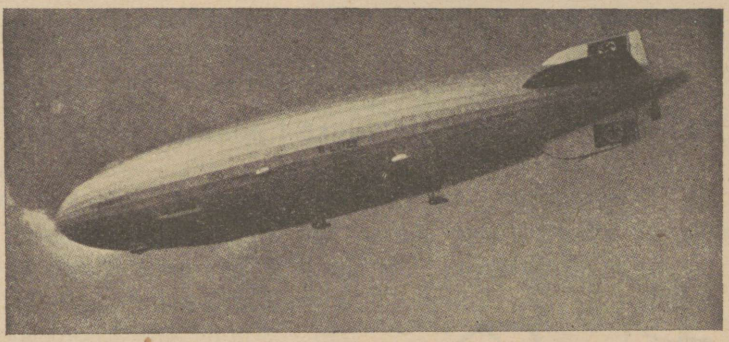
89. joon. Baroskoop.

side suhtes, siis peab Archimedese seadus olema kehtiv ka gaaside kohta, s. o. **iga gaasi asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub selle keha poolt väljatõrjutud gaas.**

Katseliselt võime näidata Archimedese seaduse kehtivust gaaside kohta nn. baroskoobi abil (89. joon.). Ruumalalt suur keha (õõnes keha *A*) on väikesel kangkaalul õhus tasa-

kaalustatud väikese keha abil (viht *B*). Asetame niisuguse riista õhupumba kupli alla ja hakkame hõrendama õhku. Siis kaob tasakaal ning suurem keha langeb alla, tähendab, suurem keha on absoluutselt raskem. Mispärast nad siis õhus kaalusid ühepalju?

Järeldusena Archimedese seadusest gaaside kohta võime öelda (nagu ujumise puhul vedelikes): iga keha, mis kaalub rohkem kui selle keha poolt väljatõrjutud gaas, langeb selles gaasis alla; keha,



90. joon. Tsepeliin.

mis kaalub vähem kui selle keha poolt väljatõrjutud gaas, tõuseb selles gaasis üles. On aga keha ja gaasi kaalud sama ruumala puhul võrdsed, siis püsib keha selles gaasis tasakaalus. Sel gaaside omadusel põhineb õhupallide (aerostaat) ja õhulaevade (tsepeliin) ehitus. Kergest tugevast materjalist (alumiinium, siid jne.) tehtud suured õõnsad kehad täidetakse gaasiga, mis õhust kergem ja seepärast õhus tõuseb üles, nagu vesinik $\left(\text{erikaal } 0{,}09\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$, valgustusgaas $\left(\text{erikaal } 0{,}75\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$ jne. Õhupallide leiutajad vennad Montgolfier'd (a. 1783) tarvitasid selleks kuuma õhku.

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

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

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

4. Kas on rahva naljal „kumb raskem: kas nael tina või nael villu" mingit füüsikalist alust?

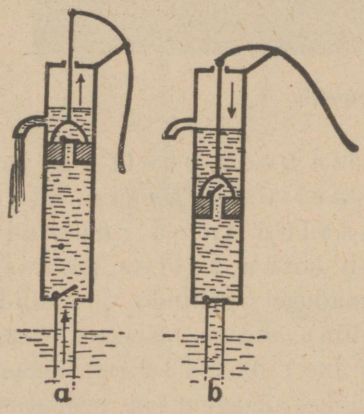
5. Seleta, milles seisneb sisse- ja väljahingamine ning joomine!

6. Mount Everesti tipul on õhurõhumine ainult umbes 25 cm! Mitu korda minutis tuleks seal sisse ja välja hingata, et niisama palju hapnikku kopsudesse juhtida kui maapinnal?

7. Prof. Piccard stratosfääri uurimisel 1931. a. kasutas õhupalli, mille gaasiballooni mahtuvus oli 14 000 m^3. Kui suur oli sel puhul õhu üleslüke maapinna lähedal ($p = 760$ mm; $t^0 = 0^0$)?

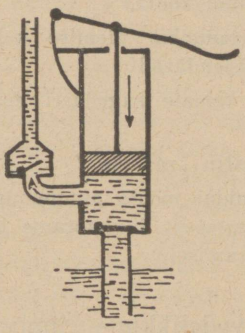
Mõningaid gaaside omadustel põhinevaid riistu.

61. Veepumbad. a) Vee väljavõtmiseks kaevust tarvitatakse nn. imevat pumpa. Selle ehitus ja töötamine selgub 91. joonisest. Ümmarguses torus liigub tihedalt edasi-tagasi kolb ehk pumbakann. Kolvi sees on auk, mille katab pealt kinni klapp. Allpool kolbi on teine klapp. Mõlemad klapid käivad lahti ainult ühele poole, nimelt vee liikumise suunas. Kolbi üles tõstes läheb pealmine klapp kinni, õhk kolvi all hõreneb ja välisrõhumise mõjul tungib vesi alumist klappi avades kolvile järele. Vesi, mis on kolvi peal, voolab kolvi tõstmisel torust välja. Kolvi allavajutamisel tõmbab tagasivoolav vesi alumise klapi kinni, ülemine aga avaneb ning vesi surutakse kolvi peale. Sedaviisi kolbi üles ja alla liigutades tõstame õhurõhumise mõjul alumise klapi peale tõusnud vett pumbatorust välja.

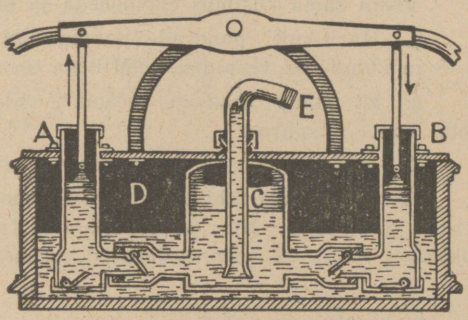


91. joon. Imev pump.

b) Suruva pumba (92. joon.) ehitus ja töötamisviis on sarnane imeva pumba omaga, ainult kolb on ilma klapita. Suruvat pumpa tarvitatakse vee juhtimiseks reservuaaridesse, mis on pumpamiskohast kõrgemal või kaugemal.



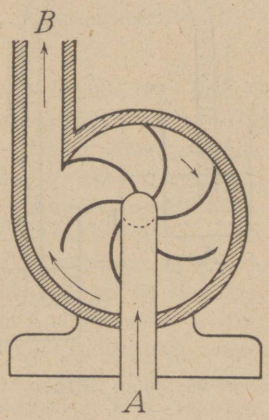
92. joon. Suruv pump.



93. joon. Tuletõrje-prits.

c) Tuletõrje-prits (93. joon.) on kahe suruva pumba ühend. Selgita joonise põhjal ta ehitust ja töötamist!

d) Tsentrifugaalpump. Tehnikas on laialt tarvitusel nn. tsentrifugaalpumbad. Siin pöörleb metallsilindris kiiresti (kuni 50 tiiru sekundis) trummel, mis on varustatud kühvlitega (94. joon.). Need panevad trumlis oleva vee kiiresti ringi liikuma. Inertsi tõttu püüavad ringiliikuvad veeosakesed puutuja sihis edasi liikuda ja tekitavad seetõttu rõhumist silindri seinale. Et väljavoolutoru *B* on ühendatud silindriga puuteliselt, siis kiiresti ringi liikuv vesi paiskub seetõttu torru *B*. Toru *A* on ühendatud silindri keskosaga, kus rõhumine on väiksem kui äärtes. Õhurõhumise toimel tungib pumbatav vesi toru *A* kaudu silindrisse.



94. joon. Tsentrifugaalpumba skeem.

Tsentrifugaalpumpadel on rohkesti paremusi võrreldes harilikkude kolbpumpadega. Pöördliikumine võimaldab pidevat töötamist, kuna kolbpumpade töötamine on tõukeline. Pidev töötamine aga annab tsentrifugaalpumbale suure võimsuse (kuni 5000 l sekundis). Tsentrifugaalpumbal puuduvad klapid või ventiilid. See asjaolu võimaldab kasutada tsentrifugaalpumpa ka sogase vee (sisaldab prügi, muda,

liiva, väikesi kivikesi) pumpamisel, kus muidu kolbpumbad ära ummistuksid. Tsentrifugaalpumpadega võib suruda vett kuni 80 m kõrgusele.

1. Kui kõrgele veepinnast võiks panna teoreetiliselt veepumba ülemise klapi?

Vasta sama küsimus elavhõbeda ja petrooleumi kohta!

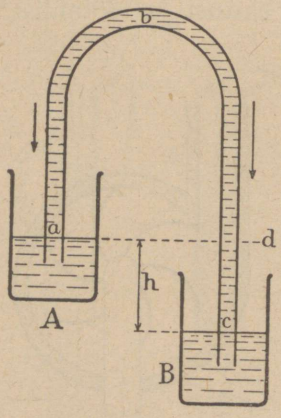
2. Harilikult panevad pumbameistrid veepumba ülemise kolvi 7—8 m kaugusele veepinnast. Millega on see põhjendatud?

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

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

5. Seleta, mis tähtsus on pumbaraual ja kuidas mõõta pumpamisel tehtud töö hulka. Mitu korda võidame tungi suuruselt ja kaotame tee pikkuselt 91. ja 92. joon. kujutatud pumbaga töötamisel?

62. Sifoon. Sifooni tarvitatakse vedelikkude ümbervalamiseks ühest anumast teise (95. joon.), eriti siis, kui ei saa anumat paigalt nihutada või kui tahetakse vedelikust ümber valada ainult teatavat kihti.



95. joon. Sifoon.

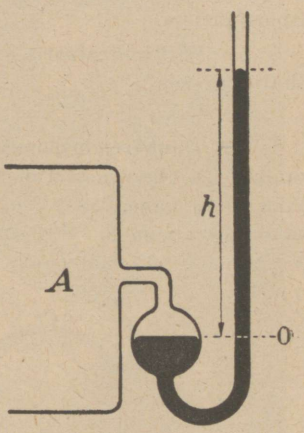
Sifooni tegevus seletub järgmiselt. Olgu toru *abc* täidetud veega. Vesi hakkab torus voolama siis, kui temasse mõjuv rõhumine pole tasakaalustatud. Läbilõikes *a* mõjub alt üles anuma *A* kaudu õhurõhumine miinus veesamba *ab* rõhumine; läbilõikes *c* aga anuma *B* kaudu õhurõhumine miinus veesamba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

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

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

Vasta sama küsimus elavhõbeda ja piirituse suhtes!

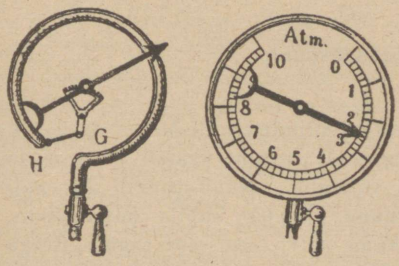
63. Manomeetrid. Manomeetreid tarvitatakse gaaside ja auru rõhumise suuruse määramiseks. Lihtsaim neist on lahtiste otstega kõver toru veega ehk nn. vesimanomeeter, nagu nägime § 46. Kui tahame tema abil määrata näiteks valgustusgaasi rõhumist linna võrgus, siis ühendame toru ühe haru gaasitoruga ja vaatame, kui palju tõuseb vesi teises (lahtises) harus kõrgemale. Olgu vee nivoode vahe *h* cm, siis võrdub valgustusgaasi rõhumine õhurõhumisega pluss *h* cm kõrguse veesamba rõhumine.



96. joon. Lahtine elavhõbemanomeeter.

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 muutumatuks (96. joon.). Elavhõbe-manomeeter on nii-öelda normaalmanomeeter, millega võrreldakse teisi manomeetreid.

Tööstuses tarvitatakse harilikult metall-manomeetreid (97. joon.). Nende ehitamine põhineb õhukeste seintega kõverakskäänatud metalltorukeste omadusel korrapäraselt oma kuju muuta (deformeeruda), kui muutub rõhumine nende sees. Rõhumise suurenedes läheb toru veidi sirgemaks, sest toru välispind on sisepinnast suurem ja seetõttu välispinnale mõjuv rõhumise kogutung suurem kui sisepinnale; rõhumise vähenedes tekib vastupidine nähtus. Kangikeste abil tehakse toru otsa nihkumised nähtavaks osuti liikumiseks astmikul. Muidugi toimetatakse metall-manomeetri kaliibrimist mõne teise, nn. normaalmanomeetri abil.



97. joon. Metall-manomeeter.

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

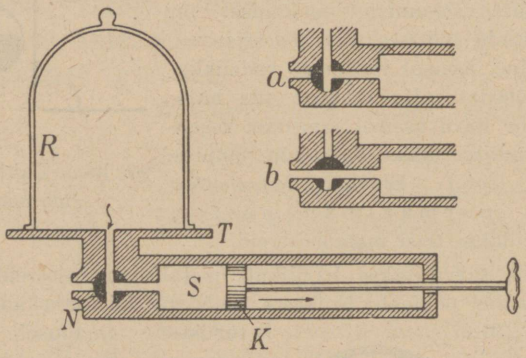
2. Nimeta petrooleum-manomeetri head küljed võrreldes vesimanomeetriga (soovitav tarvitada *radix alcannae* abil punaseks värvitud petrooleumi).

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

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

5. Vesi hüdrofooris on 2,5 atm. rõhumise all. Kui kõrgele surub siis hüdrofoor vee?

64. Õhuhõrenduspump. Hõrenduspumba abil hõrendame õhku antud ruumis. Ta tegevus selgub 98. joon. kujutatud skeemist. Kuppel R, milles õhku hõrendame, lasub lihvitud taldrikul T ja on ühendatud kraani N kaudu silindriga S. Silindris liigub edasi-tagasi umbne kolb K. Kraanist N on tehtud läbi kaks auku: esimene ühendab kuplit silindriga



98. joon. Õhuhõrenduspump.

(seis *a*), teine, kraani 90° võrra pöörates, silindrit välisõhuga (seis *b*). Pumpamine (hõrendamine) toimub järgmiselt: avame kraani (seis *a*) ja tõmbame kolvi väljapoole niipalju kui võimalik. Nüüd tungib õhk paisudes kuplist kolvi taga olevasse ruumi, jäädes kuplis hõredamaks. Kääname kraani kinni (seis *b*) ja lükkame kolvi teise otsa tagasi. Seega surume kõik õhu silindrist välja. Pöörame uuesti kraani seisu *a* ja tõmbame kolvi välja, hõrendades seega uuesti õhku kuplis, jne. Iga väljatõmbega muutub õhk kuplis hõredamaks. Sedaviisi kolbi edasi-tagasi liigutades võime viia õhu kuplis vajaliku hõreduseni, kuid kuplit õhust täitsa tühjaks teha me ei saa.

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

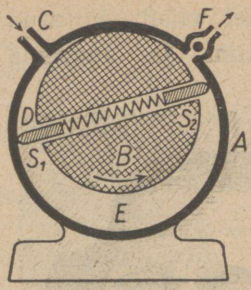
Praegusajal on tarvitusel mitmel teisel viisil ehitatud õhupumbad, mis annavad palju kiiremini ja suurema hõrenduse. Moodsatest hõrenduspumpadest on tähtsam pöörlev õlipump (100. joon.), mis leiab laialdast kasutamist tehnikas. Pöörleva õlipumba peaosaks on silindriline kapsel, millesse on paigutatud ekstsentriliselt metallsilinder, mis on varustatud kahepoolselt toimiva siibriga. Eriline vedru surub siibri õhutihedalt vastu kapsli sisemist seina. Tihedust siibri ja kapsli seina vahel kindlustab pumbas olev õli. Nagu juurdelisatud joonisest näha, imeb pump metallsilindri pöörlemisel vasemal pool oleva toru kaudu õhku sisse, teise, paremal pool oleva toru kaudu surub pump õhku välja.



99. joon. Otto von Guericke (1602—1686), õhuhõrenduspumba leiutaja. Noorena õppis Otto von Guericke mitmes ülikoolis õigusteadust, füüsikat ja matemaatikat. Pärast oli ta Magdeburgi linnapea. Leiutas õhuhõrenduspumba (a. 1650) ja korraldas õhurõhumise demonstreerimiseks rea huvitavaid katseid, milledest väga tuntud on katse nn. Magdeburgi poolkeradega. Ehitas elektri hõõrdumismasina (pöörlev väävlikera) ja näitas esimesena, et samanimelised elektrilaengud tõukavad teineteist eemale.

65. Õhu suruv pump. Tahame õhku mõnesse kinnisesse anumasse rohkem koguda, kui see hariliku rõhumise juures toimub iseendast, näit. jalgratta kummide täitmine, priimus, õhupost jne., siis tarvitame selleks õhu suruvat pumpa. Näitena vaatame, kuidas töötab jalgrattapump (101. joon.).

Metalltorus liigub umbne kolb, milleks on kolvi varre otsa kinnitatud nahatükk. Kui kolvi välja tõmbame, siis hõreneb õhk kolvi taga ja välisõhk tungib sinna toru seina ja kolvi naha vahelt. Kolbi sisse lükates tiheneb kolvis olev õhk ja surub kolvi naha vastu metalltoru seina, nii et õhk sealt vahelt läbi

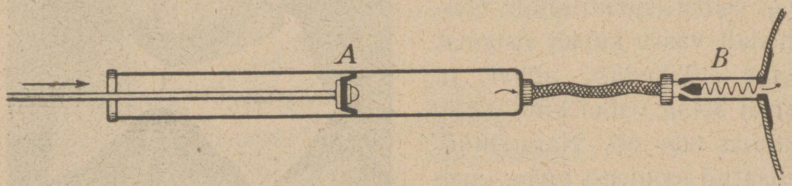


100. joon.
Pöörlev õlipump.

välja ei pääse. Rõhu suurenedes surume kolviga õhu läbi ventiili jalgrattakummi.

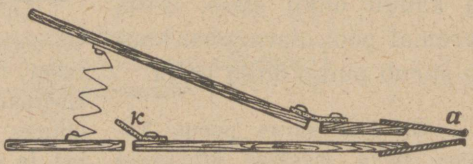
Samal põhimõttel töötab ka suruv pump õhu pumpamiseks priimusesse. Vahe seisneb vaid selles, et siin puudub ventiil ja selle aset täidab toru otsas olev priimuse reservuaari poole avanev klapp.

Tugevajõulisi suruvaid pumpasid, mida tarvitatakse tehastes suurõhu saamiseks, nimetatakse kompressoriteks. Nende töötamine toimub juba aurumasina või mõne mootori jõul.



101. joon. Jalgrattapump.

66. Lõõts. Lõõts on samuti õhu suruv pump. Teda tarvitatakse tugeva õhuvoolu saamiseks sepapajas, mesilas jne. Lõõts 102. joon. koosneb kahest liikuvast lauast, mis küljelt ühendatud nahaga. Torust *a* voolab õhk välja; klapi *k* kaudu, mis avatud sissepoole, tungib õhk lõõtsa sisse. Laudu laiali tõmmates avaneb klapp ja lõõts läheb õhku täis; laudade kokkulükkamisel sulgub klapp ja õhk surutakse torust välja.



102. joon. Lõõts.

Soojus.

Temperatuuri mõõtmine.

67. **Temperatuuri mõõtmine.** Ümberolevaid asju katsudes tunneme, et nad on oma soojusastmelt kas kuumad, palavad, soojad, leiged, jahedad või külmad. Nimetame keha soojusastet ta temperatuuriks.

Teatavais piires võime ligikaudu otsustada kehade temperatuuri üle otsese kokkupuutumise, kompimise abil, näiteks käega katsudes. Sagedasti võime aga temperatuuri määramisel otsese kokkupuute teel kehaga raskesti eksida, mis selgub järgmisest lihtsast katsest.

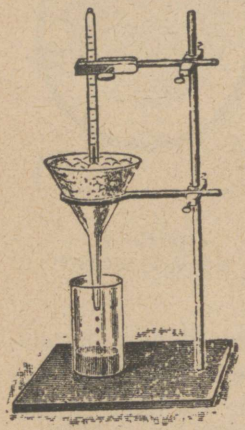
Võtame kolm klaasi: ühes on külm, teises leige ja kolmandas soe vesi. Pistame vasema käe külma, parema käe aga sooja vee klaasi. Natukese aja pärast pistame mõlemad käed leige vee klaasi. Nüüd tunneb vasem käsi leiges vees sooja, parem külma.

Eelmisest katsest näeme, et käe tunne temperatuuri määramisel pole alati õige. Ka mõjuvad väga külmad (vedel õhk) ja soojad (kuum raud) kehad meie temperatuurimeelele ühteviisi „põletavalt", tekitades valu. Täpsemaks temperatuuri määramiseks tarvitatakse sellekohaseid riistu, mida nimetatakse soojamõõtjaiks ehk termomeetreiks. Nende ehitus põhineb kehade omadusel paisuda soojenemise mõjul.

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

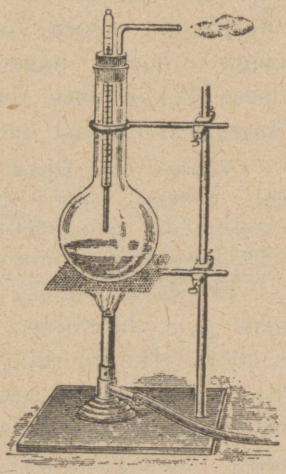
68. **Termomeetri ehitamine.** Peenikesele ühtlasele klaastorule puhutakse ühte otsa kerakujuline või pikergune nupp

ehk anum. Anum ja osa torust täidetakse puhta kuiva elavhõbedaga. Nüüd kuumutatakse elavhõbedat niipalju, et ta paisudes täidaks toru lõpuni, ja sulatatakse siis toru ots kinni. Jahtumisel kokku tõmbudes jääb elavhõbeda asemele torus tühi ruum. Soojendamisel paisub elavhõbe ja ta sammas pikeneb; jahtumisel tekib vastupidine nähtus. Tähendab, elavhõbedasamba pikkus termomeetri torus on seotud temperatuuriga ja suureneb temperatuuri tõusuga. Temperatuuri kõrguse ja elavhõbedasamba pikkuse olenevuse ligemaks määramiseks varustatakse termomeeter skaala ehk astmikuga, mis toimub järgmiselt.



103. joon. Termomeetri nullpunkti määramine.

Võtame termomeetri ja asetame ta sulavasse jäässe (103. joon.). Niikaua kui jää sulab, seisab elavhõbe termomeetri torus ühel ja samal kõrgusel. Sellest järeldame, et jää sulamistemperatuur on jääv. Märgime elavhõbedasamba otsa asukoha kriipsuga. See on termomeetri üks **jääv** ehk **põhipunkt** ja nimetatakse **jää sulamispunktiks.** Nüüd võtame termomeetri ja asetame ta keeva vee auru (104. joon.). Elavhõbe torus järjest tõuseb ja jääb viimaks seisma seni kui vesi keeb, tähendab, ka vee keemistemperatuur on jääv. See on termomeetri **teine jääv** ehk **põhipunkt** ja seda nimetatakse **vee keemispunktiks.** Jäävate punktide vahe jagatakse võrdseiks osadeks. Selle järgi, mitmeks võrdseks osaks me jagame keemis- ja sulamispunktide vahe, saame mitmesugused termomeetri skaalad ehk astmikud.



104. joon. Termomeetri keemispunkti määramine.

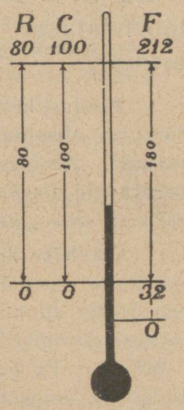
Kuidas muutuks temperatuuri muutudes vedelikusamba kõrgus termomeetri torus sel juhul, kui toru aine paisuks vedelikust rohkem?

69. Termomeetri skaalad. Praegusajal on tarvitusel jäävate punktide vahe jagamisel pügalaiks 3 viisi: Celsiuse, Réaumuri ja Fahrenheit'i oma (105. joon.).

Celsius jagas jäävate punktide vahe **100 võrdseks osaks,** mida nimetatakse **kraadideks** ehk **pügalaiks** (°). Celsiuse järgi on jää sulamispunkti temperatuur 0°, vee keemispunkti temperatuur 100°.

Réaumur (loe: reomüür) jagas sama vahe **80 võrdseks osaks,** järelikult on Réaumuri järgi jää sulamispunkti temperatuur 0°, vee keemispunkti oma aga 80°.

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



105. joon. Termomeetri skaalad.

Réaumuri skaala tarvitamine on kõrvale jäämas, Fahrenheiti skaalat tarvitatakse Inglismaal, tema asumail ja Ameerikas, Celsiuse skaalat teaduslikes töis ja enamikus kultuurimais. Ka Eestis on Celsiuse skaala ametlikult kehtiv alates 1. jaan. 1929.

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

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

tähendab,

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Väljenda Réaumuri kraadides: +30° C; +22,5° C; —20° C; —273° C.
2. Väljenda Celsiuse kraadides: +24° R; +30° R; —8° R; —75° R.
3. Väljenda Fahrenheiti kraadides: +32° R; —6° R; —20° R; —15° C; +50° C; —8° C; —273° C.
4. Kui kõrge on inimese keha normaaltemperatuur R ja C skaala järgi?
5. Mispärast ei tarvitata termomeetrivedelikuna vett, vaid enamasti elavhõbedat?
6. Vedela õhu temperatuur on —190° C. Kui palju see on R ja F järgi?

70. Maksimum- ja miinimum-termomeeter. Kõige kõrgema ja madalama temperatuuri märkimiseks teatava aja, näiteks öö-päeva jooksul tarvitatakse nn. maksimum- ja miinimum-termomeetreid.

Ka inimese kehasoojuse mõõtmiseks tarvitatav termomeeter on maksimum-termomeeter. Temal on toruke reservuaari juures õige peenike ning kõveraks käänatud, nii et elavhõbe paisudes küll tõuseb, jahtudes

aga iseendast alla ei lange, vaid katkeb ja jääb endises kõrguses torukeses peatuma. Ainult tugevasti raputades langeb elavhõbe uuesti alla. — Inimese keha normaaltemperatuur on umbes +37° C.

71. **Soojuse mehhaaniline teooria.** Selle teooria põhjal on iga keha aineosakesed ehk molekulid alalises liikumises, mille kiirusest oleneb keha temperatuur. Tõuseb keha temperatuur, siis hakkavad selle keha molekulid kiiremini liikuma, jahtudes toimub vastupidine nähtus.

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

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

Kehade paisumine soojendamisel.

72. **Paisumisest üldse.** Igapäevase elu tähelepanekuist teame, et kõigil kehadel, olgu nad tahked, vedelad või gaasilised, on ühine omadus soojenemisel paisuda, jahtumisel aga kokku tõmbuda. Näiteid: raudteeröövad päikesepaistel, vesi kohvimasinas, petrooleum pudelis, õhk põies ning kummipallis kuuma ahju ääres jne. Too veel näiteid kehade paisumise kohta!

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

Tahketel kehadel võime kõiki kolme paisumisliiki tähele panna, kuna vedelikkude ja gaaside puhul võib kõnelda ainult ruumpaisumisest.

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

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

1. Mispärast aetakse raudrehv rattale pealepanemisel kuumaks, samuti raudtalad seinte kokkutõmbamisel?

2. Kuidas saab kinnijäänud klaaskorki kergemini ära võtta?

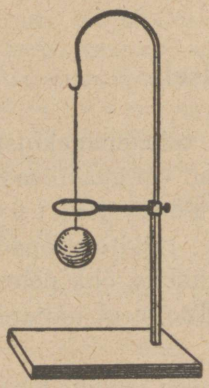
3. Mispärast jäetakse silla otste ja raudteeröö baste vahele väikesed vahed?

4. Mispärast kange külmaga jää praguneb?

5. Tulle visatud kastanid ja pähklid lõhkevad. Mispärast?

6. Klaasanumad lõhkevad sagedasti kuuma vee sissekallamisel. Mispärast?

73. Tahkete kehade joonpaisumise koefitsient. Katsed näitavad, et kõik kehad ei paisu temperatuuri tõusmisel ühteviisi. Kõige suuremal määral paisuvad gaasid, siis vedelikud ja kõige vähem tahked kehad. Kuid ka tahked kehad on väga erisuguse paisumisega. On leiutatud koguni sulameid, nagu terasnikkel ehk invaar (64 Fe, 36 Ni), kus paisumist peaaegu üldse ei ole märgata.

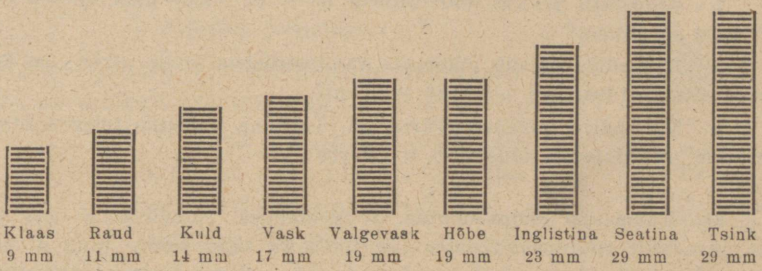


106. joon. Metallkera paisub soojendamisel igas suunas.

Tahke keha paisub mitte ainult ühes, vaid igas suunas. Seda näitab meile lihtne katse metallkerakesega (106. joon.), mis harilikus temperatuuris igas asendis rõngast vabalt läbi mahub, kuumaksaetuna mitte; ära jahtudes või rõnga soojenedes aga jällegi rõngast läbi mahub.

Katsed näitavad, et soojendamisel sama kraadide arvu võrra keha pikeneb (ligikaudu) niisama palju, s. o. keha pikenemine on võrdeline keha temperatuuri juurdekasvuga. Nii näiteks pikeneb 10 meetri pikkune raudvarb temperatuuri tõusmisel iga 10^0 võrra (10^0—20^0; 50^0—60^0 jne.) 1,1 millimeetrit.

Keha pikenemise suurus oleneb keha esialgsest pikkusest, temperatuuri juurdekasvust ja ainest. Antud aine joonpaisumise iseloomustamiseks on võetud tarvitusele nn. **joonpaisumise koefitsient.** Nimetame aine joonpaisumise koefitsiendiks arvu, mis näitab, kui suure osa oma pikkusest pikeneb sellest ainest keha soojendamisel 1° C võrra.



107. joon. 10-meetrise varva paisumine soojendamisel 100° võrra.

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

Meile tuntud kehade võrdlevat joonpaisumist näitab 107. joon., kus on üles tähendatud 10-meetrise varva pikkuse juurdekasv soojendamisel 100° võrra.

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

Tabeleis antakse harilikult keskmised joonpaisumise koefitsiendid, mis on õiged kitsamas temperatuuride vahemikus (0°—100°).

Joonpaisumise koefitsiendid.

Alumiinium	0,0000244	Marmor	0,0000117
Hõbe	0,0000195	Nikkel	0,0000151
Inglistina	0,0000225	Plaatina	0,0000092
Invaar	0,0000023	Raud	0,0000111

Jää	0,0000507	Seatina	0,0000293
Klaas	0,0000091	Tsink	0,0000292
Kuld	0,0000143	Valgevask	0,0000192
Kuusepuu: pikuti	0,0000037	Vask	0,0000171
„ risti	0,0000584		

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

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

3. Kui palju paisub pikemaks raudteerööbas, mille pikkus on 8 m, temperatuuri tõusmisel -20^0-st $+30^0$-ni?

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

74. **Ruum- ja pindpaisumine.** Soojendamisel paisub keha igas suunas, järelikult suurenevad paisumise tõttu ka keha ruum- ning pindala. Ruum- ja pindpaisumist iseloomustavad vastavad ruum- ja pindpaisumise koefitsiendid, mida defineeritakse samuti kui joonpaisumise koefitsientigi. Matemaatiline arutlus näitab, et keha ruumpaisumise koefitsient võrdub kolmekordse ja pindpaisumise koefitsient kahekordse joonpaisumise koefitsiendiga.

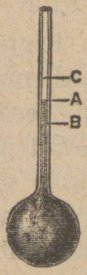
1. Plekk-katus temperatuuri kiiresti muutudes (suvel õhtuti ja hommikuti) ragiseb. Millest see tuleb?

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

3. Raudplekist anuma mahutavus 15^0 juures on just 3 liitrit. Kui suur on sama anuma mahutavus 95^0 juures?

75. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine. Vedelikel puudub kindel kuju, seepärast võib kõnelda vedelikkude puhul ainult ruumpaisumisest. Olgu peenikese toruga varustatud anum täidetud vedelikuga kriipsuni *A* (108. joon.). Oletame, et soojendame esiti ainult anumat, ilma et soojus edasi anduks vedelikule. Soojendamise mõjul paisub anum, ta mahutavus suureneb ja vedelik langeb kriipsuni *B*. Toru ruumala *AB* mõõdab anuma mahutavuse juurdekasvu. Nüüd oletame, et ka vedelik soojeneb anuma temperatuurini. Seetõttu tõuseb vedelik torus kriipsuni *C* (vedelik paisub rohkem kui tahke keha). Toru ruumala *BC* mõõdab vedeliku ruumala juurdekasvu. Tõe-

poolest toimub anuma kui ka vedeliku paisumine enam-vähem kõrvuti ja me võime kindlasti tähele panna ainult mõlema paisumise mõjul tekkinud muutust — vedeliku näivat paisumist, mis mõõtub toru ruumalaga *AC*. Nagu 108. joon. näha.

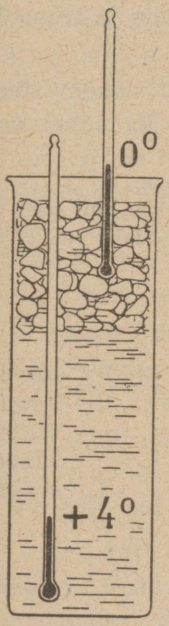


108. joon. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine.

$$BC = AB + AC,$$ s. o. vedeliku

tõeline paisumine = näiv paisumine + + anuma paisumine.

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



109. joon. Veel on 4° C juures kõige suurem erikaal.

76. Vee paisumise iseärasus. Vee paisumist uurides selgub, et vesi soojendamisel igas temperatuuri vahemikus ei paisu, vaid vahel otse ümberpöördult soojendamisel tõmbub kokku. Seda vee omadust võime katseliselt näidata järgmiselt.

Võtame kõrge anuma (109. joon.), täidame veega ja jahutame vett anumas, pannes ülalt jääd (lund) veepinnale. Jälgime kogu aja vee temperatuuri muutumist ülal ja all. Vaatluse resultaadid tähendame üles tabelina. Vesi jääga kokku puutudes jahtub, muutub tihedamaks ja langeb alla. Toimub aeglane jahedamate ja soojemate osade segunemine, mida tõendab mõlema termomeetri langemine. On alumised veekihid kuni 4° C jahtunud, ei lange temperatuur enam, millest järeldame, et ses temperatuuris on vee erikaal kõige suurem, järelikult ruumala kõige väiksem. Edaspidisel vaatlusel näeme, et ülemine termomeeter järjest langeb ja võib minna 0°-ni, mis laseb järeldada vee väiksemat tihedust (suuremat ruumala) ses temperatuuris võrreldes 4°-ga.

Eelmisest katsest selgub, et kõige suurem tihedus, järelikult ka kõige väiksem ruumala on veel 4° C juures. Selles seisnebki vee paisumise iseärasus.

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

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

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

Vedelikkude ruumpaisumise koefitsiendid.

Bensiin	0,00138	Petrooleum	0,00095
Eeter	0,00166	Piiritus	0,00104
Elavhõbe	0,00018	Tärpentiin	0,00097
Glütseriin	0,00051	Vesi	0,00043
Oliiviõli	0,00072	Väävelhape	0,00055

1. Kui palju muutub vaaditäie piirituse (500 liitri) ruumala temperatuuri muutumisel —10°-st +20°-ni?

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

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

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

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

77. Gaaside paisumine. Gay-Lussac'i seadus. Õhuga täidetud mängupallid lähevad sooja käes hästi pingule, samuti õhuga täidetud põis sooja ahju läheduses. Kuumal päikesepaistel jalgratta kummid lõhkevad vahel. Mida tõestavad eelmised nähtused?

Võtame pika kaelaga keedupudeli ja asetame ta kaela otsapidi vee alla (110. joon.). Soojendame keedupudelis olevat õhku kätt küljes hoides või peale puhudes. Siis näeme, et õhk hakkab keedupudelist mullidena välja tungima. Sellest järeldame, et õhk soojenedes paisub ja enam endiselt keedupudelisse ei mahu. — Jahtudes aga tõmbub õhk keedupudelis kokku, tema ruumala väheneb, ja siis tungib vesi keedupudeli kaela.



110. joon. Õhk soojendamisel paisub.

Katsed teiste gaasidega annavad meile samad tulemused. Tähendab, gaasid, samuti kui tahked ja vedelad kehad, soojenedes paisuvad ning jahtudes tõmbuvad kokku.

Gaasidel, samuti kui vedelikel, ei ole kindlat kuju, seepärast võime kõnelda gaaside puhul ainult ruumpaisumisest. Ka oleneb antud gaasihulga ruumala rõhust. Seepärast tuleb rõhumise mõju kõrvaldamiseks gaasi paisumise käsitlemisel jätta rõhumine kogu aeg samaks.

Mitmesuguste gaaside paisumist uurides leidis prantslane Gay-Lussac [loe: ge-lüssa'k] esimesena (a. 1802), et jääva rõhumise puhul paisuvad kõik gaasid ühteviisi, ja nimelt nõnda, et temperatuuri tõusmisel 1^0 C võrra suureneb gaasi ruumala

0,00366 ehk $\frac{1}{273}$ osa võrra oma ruumalast 0° C juures. Seega on siis $\frac{1}{273}$ kõikide gaaside kohta ühine ruumpaisumiskoefitsient.

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

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

millest järeldub:

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

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

2. Kui suur on antud õhuhulga ruumala —25° juures, kui +20° puhul on sama õhuhulga ruumala 240 cm³?

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

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

5. Kui palju kaalub normaalrõhumisel klassitäis õhku (9×6×4 m) 15° puhul?

Soojushulga mõõtmine.

78. Vahe soojushulga ja temperatuuri vahel. Kui näiteks 1 liitri vee keema ajamiseks kulub 5 min., siis 2 liitri vee keema ajamiseks samadel tingimustel kulub 10 min. Või jälle, kui 1 kuum kivi vette visatult tõstab selle veehulga temperatuuri 45° võrra, siis kahe samasuguse kivi mõjul tõuseb selle veehulga temperatuur ligi 2 korda rohkem. Sääraseist katseist selgub, et me võime kõnelda soojushulgast kui teatavast suurusest, mis andub ühest kehast teise ja mida võib mõõta.

Tuleb kindlasti teha vahet temperatuuri ja soojushulga mõiste vahel. Esimene näitab keha soojuse astet, mille üle

meie ka enda otsese tunde abil saame otsustada, teine näitab kehas olevat soojusenergiat, mille otseseks tajumiseks meil puudub meel.

Nagu vesi voolab alati kõrgemalt nivoolt madalamale, hoolimata sellest, kui palju on vett ühel või teisel nivool (ka tilk langeb merre!), samuti liigub ka soojusenergia kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehha. Soojusenergia liikumise suuna määrab temperatuur, mitte soojuse hulk. Inimese kehas on kahtlemata vähem soojust kui järves või jões, kus supleme. Et aga inimese keha temperatuur on järve temperatuurist kõrgem, voolab soojus meie kehast vette, me kaotame soojust ning meil hakkab jahe.

79. **Soojushulga mõõtmine.** Soojushulga (energia) mõõtmisel on võetud ühikuks see soojushulk, mille 1 g vett juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1° C võrra. Nimetame selle soojushulga **gramm-kaloriks** ehk lihtsalt **kaloriks (cal,** ladina keeles: *calor* — soojus). **Kilogramm-kalor** ehk **kilo-kalor (kcal)** on 1000 gramm-kalorit ja vastab soojushulgale, mis 1 kg vett juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1° C võrra.

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

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 cal soojust
250 „ „ „	„ 1° C	„ „	250 „ „
250 „ „ „	„ 10° C	„ „	250 · 10 „ „

Tähistades otsitava soojushulga Q-ga, saame:

$$Q = 250 \cdot 10 \text{ cal} = 2500 \text{ cal} = 2{,}5 \text{ kcal}.$$

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

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

1. Kui palju kulub soojust, et 150 g vett soojendada 10°-st 25°-ni?

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

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

4. 5 liitrit vett andis ära jahtudes 60 kcal soojust. Kuidas muutus vee temperatuur?

5. 15 g vett, mille temp. 20°, saab 0,3 kcal soojust juurde. Kui kõrgele tõuseb vee temperatuur?

6. 1 m^3 vee soojendamiseks kulutati 2500 kcal soojust. Kui palju tõusis vee temperatuur?

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

8. Mitu g vett võib soojendada 300 cal arvel 15° võrra?

9. Mitu liitrit vett kaotab jahutamisel 12° võrra 90 kcal soojust?

10. Kuidas saab määrata soojushulka, mille annab hõõglamp 5 min. jooksul?

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

Nimetame keha **soojusmahutavuseks** seda soojushulka, mis keha juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1° C võrra.

Kui näiteks rauatüki temperatuuri tõstmiseks 1° C võrra kulub 15 cal, siis on selle rauatüki soojusmahutavus 15 cal, jne.

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

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

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

Klaasi erisoojus on 0,17 cal, järelikult 1^0 C võrra jahtudes kaotab teeklaas $0{,}17 \cdot 200$ cal, 60^0 võrra jahtudes $0{,}17 \cdot 200 \cdot 60$ ehk 2040 cal.

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

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

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	Seatina	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	Tärpentiin	0,51
Glütseriin	0,50	Vesi	1,00

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

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

3. Missugust mõju avaldab vee erisoojus kliima kujunemisele?

4. 300-g-se seatinatüki soojendamiseks 15^0-st 35^0-ni kulub 186 cal soojust. Kui suur on seatina erisoojus?

5. Kui suur soojusmahutavus on teeklaasil, mis kaalub 120 g?

6. Hõbelusikas kaalub 70 g. Kui suur on ta soojusmahutavus?

7. 500 g vaske jahtus 100^0-st 28^0-ni. Kui palju kaotas ta soojust?

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

Sulamine.

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

Vee jahutamisel toimub nähtus vastupidises järjekorras, nimelt: vesi jahtub soojuse kaotusel 0°-ni ja hakkab siis edaspidisel soojuse kaotusel muutuma jääks — tahkuma. Kogu tahkumise kestel on vee temperatuur sama, nimelt 0°. Temperatuuri langemine algab alles siis, kui kõik vesi on muutunud jääks.

Samuti kui jää sulamine ja vee tahkumine toimub ka kõigi teiste kehade oleku muutumine tahkest vedelaks ja ümberpöördult, nimelt:

1) iga keha hakkab sulama (tahkuma) kindlal, sellele kehale omasel sulamis- (tahkumis-) temperatuuril;

2) sulamistemperatuur on ühesugune tahkumistemperatuuriga;

3) sulamine (tahkumine) kestab niikaua, kuni soojust juurde tuleb (kaob);

4) kogu sulamise (tahkumise) kestel on keha temperatuur jääv.

Mitte kõik kehad ei sula nõnda kui jää. Kui näiteks klaaspulka soojendada gaasipõleti leegis, siis ta ei muutu vedelaks äkitselt, vaid läheb temperatuuri tõusmisel järjest pehmemaks, kuni lõpuks jõuab vedela olekuni. Sel klaasi omadusel on suur tähtsus klaasitööstuses, sest ta võimaldab välja töötada klaasist väga mitmekujulisi asju. Sarnaselt klaasiga sulavad (tahkuvad) mitmed teised kehad, nagu või, rasv, vaha, pigi, kummi jne.

82. Aine sulamissoojus. Nagu nägime, kestab jää sulamine niikaua, kui soojust juurde tuleb. Termomeeter seda soojuse juurdevoolu aga ei näita, sest kogu sulamise kestel on temperatuur jääv. Kuhu jääb siis soojusenergia, mis sulamisel kulutatakse, kuid mis ei suurenda keha temperatuuri? Kõik see energia kulub tahke keha molekulide vahel olevate sidemete lõhkumiseks, nn. sisemiseks tööks, sest tahke keha molekulid on palju tugevamini üksteisega seotud kui vedeliku molekulid.

Soojusenergia hulka, mis kulub selleks, et 1 g antud ainet sulamistemperatuuris tahkest olekust muuta vedelaks, nimetatakse selle aine **sulamissoojuseks.** Nii näiteks on jää sulamissoojus **80 grammkalorit.**

Tahkumisel toimub vastupidine nähtus. Sulamiseks kulutatud energia saab vabaks ja andub edasi ümberolevaile kehadele. Et looduses energia ei hävi, siis on loomulik, et sulamiseks kulutatud energia hulk tahkumisel jälle täiel määral vabaneb.

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



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

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

Sulamistemperatuurid ja -soojused.

Aine	Sulamis-temperatuur	Sulamis-soojus	Aine	Sulamis-temperatuur	Sulamis-soojus
Alumiinium . .	657°	102	Raud (puhas). .	1528	49
Eeter	—132	—	Seatina . . .	327	6,3
Elavhõbe . . .	—39	2,8	Tsink	419	26,6
Hõbe	961	24	Vaha	63—64	42,3
Inglistina . . .	232	14,6	Vask	1083	42
Jää	0°	80,0	Väävel . . .	113	9,4
Kuld	1063	16			
Nikkel	1451	65	Hapnik	—219	3,3
Parafiin . . .	50—55	35,1	Lämmastik . .	—210	6,1
Piiritus	—130	—	Süsihappegaas .	—56,3	45,3
Plaatina . . .	1764	27	Vesinik	—258	14

Kui tugevasti vesi jääks muutudes paisub, näitab katse raudpommiga (111. joon.), mille õõnsus täidetakse veega, siis kruvitakse kõvasti kinni ja asetatakse jahutavasse segusse. Jääks muutudes paisub vesi nii tugevasti, et pomm lõhkeb. — Samuti kui kõik teised kehad tõmbub jää kokku jahtudes ja paisub soojenedes.

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

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

2. Millisel ainel on käesoleval leheküljel toodud tabelis kõige kõrgem (madalam) sulamistemperatuur ja kõige suurem (väiksem) sulamissoojus?

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

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

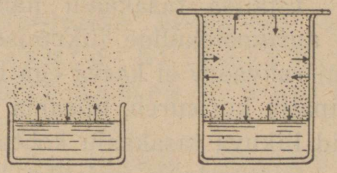
5. Missugused ained annavad paremini valada: kas need, millede ruumala tahkumisel suureneb, või need, millede ruumala väheneb? Mispärast raha ei valata, vaid pressitakse („lüüakse")?

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

7. Kui palju kulub soojust selleks, et ära sulatada 500 g seatina, mille temperatuur on 15°?

Aurustumine ja niiskus.

84. **Aurustumine lahtises anumas.** Me teame, et kuivas ruumis vesi lahtisest anumast (112. joon., *a*) kaob pikkamisi ära. Eetri ja piirituse ärakadumine toimub hoopis kiiremini. Seletuseks ütleme, et vesi (eeter, piiritus jne.) on ära aurunud, gaasilisse olekusse läinud. Niisiis nimetame aurustumiseks aine aeglast muutumist vedelast olekust gaasilisse, kusjuures see muutumine toimub vedeliku pinnal ja igasuguses temperatuuris. Aurustumisel gaasilisse olekusse läinud vedelikku (vett) nimetame auruks.



112. joon. Aurustumine lahtises ja kinnises anumas.

Mõned tahked kehad (lumi, kamper, jood jne.) võivad minna otsekohe, ilma vedelaks muutumiseta, tahkest olekust gaasilisse. Me nimetame niisugust kehade omadust lenduvaiks.

Molekulaarhüpoteesi põhjal võime aurustumist seletada järgmiselt. Vedelikumolekulid on alalises liikumises ja selle keskmine kiirus oleneb temperatuurist. Et vedelikumolekulid asetsevad üksteisele väga lähedal, siis on sagedad kokkupõrked möödapääsematud. Need pinna lähedal olevad vedelikumolekulid, millede kiirus keskmisest kiirusest suurem, võivad (tähtis on ka liikumise suund) ületada molekulide vahel mõjuvad ja neid koos hoidvad tungid ning sedaviisi pääseda vedelikust välja ruumi, mis on vedeliku kohal. Niisiis moodustavad vedeliku auru need peaasjalikult suurema kiirusega vedelikumolekulid, mis vedelikust välja pääsevad.

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

85. **Aurustumine kinnises anumas.** Kui aurustumine toimub kinnises anumas (112. joon., *b*), siis ei pääse aurumolekulid vedeliku peal olevast ruumist eemale, vaid kogunevad kõik sinna piiratud ruumi. Aurumolekulide arv suureneb järjest, kuid lõpuks tekib nn. **liikuv tasakaal**, s. o. seisund, kus vedelikust väljunud (auruks muutunud) mole-

kulide arv võrdub aurust vedelikku tagasi läinud molekulide arvuga. Nüüd antud ruumi selles temperatuuris aurumolekule enam ei mahu. Me ütleme, et **ruum** on aurust **küllastatud** ehk **aur** on **küllastunud.**

Liikuva tasakaalu nähtus esineb mitte üksnes vedeliku- ja aurumolekulide liikumises, vaid väga sagedasti ka mujal. Kui rahvaarv ei kasva ega kahane, siis on siin liikuv tasakaal: niipalju kui sureb, niisama palju sünnib asemele jne. Too näiteid liikuva tasakaalu kohta!

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

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

Katsed näitavad, et küllastunud auru rõhumine oleneb vedeliku ainest ja auru temperatuurist ning suureneb temperatuuri tõustes. Nii on 20^0 C juures küllastunud auru rõhumine piiritusel ligi 2,5 korda, eetril aga 25 korda suurem kui veel. Keemisel võrdub vee küllastunud auru rõhumine õhurõhumisega, s. o. 76 cm Hg.

1. Mispärast kuivab pesu tuule käes palju paremini kui vaikses õhus?
2. Seleta, milles seisneb lehviku tarvitamise jahutav mõju!
3. Jäämäed meres on sagedasti ümbritsetud uduga. Mispärast?
4. Seleta, millest tuleb järvede ja soode auramine (udu).
5. Hommikune udu kaob harilikult enne lõunat. Mispärast?

87. õhu niiskus. Vabalt veepinnalt, nagu mered, järved, jõed jne., aurustub vahetpidamatult vett (niiskust) õhku. Seepärast on õhus alati suuremal või väiksemal määral veeauru. Lihtsad katsed näitavad, et see on tõepoolest nõnda: kloorkalt-

sium imeb endasse õhus olevat veeauru ja läheb seetõttu varsti märjaks; kallame soojas toas väljastpoolt hästi ärakuivatatud veeklaasi külma vett, siis läheb klaas väljastpoolt niiskeks; aknad „higistavad", jne. Nimetame **õhu absoluutseks niiskuseks** ühes kuupmeetris olevat veeauru hulka, mõõdetud grammides, **relatiivseks niiskuseks** aga antud ruumis oleva veeauru hulga suhet selle veeauru hulgaga, mis samas temperatuuris seda ruumi küllastaks.

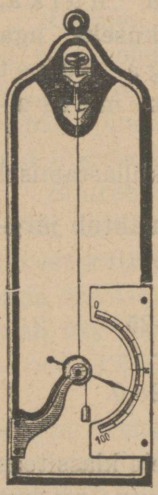
Mõõtmised näitavad, et absoluutne niiskus küllastamisel (A $\frac{g}{m^3}$) suureneb temperatuuri tõusuga, nagu see nähtub järgmisest tabelist:

t^0	—5	0	+5	10	15	20	25
A $\frac{g}{m^3}$	3,2	4,8	6,8	9,4	12,8	17,3	23,0

Kui näiteks teame, et 20° C juures sisaldab meie klassitoas olev õhk igas kuupmeetris 8,65 g veeauru (absoluutne niiskus antud olukorras), küllastuse puhul samas temperatuuris (20° C) sisaldab aga iga kuupmeeter 17,3 g veeauru (absoluutne niiskus küllastumisel), siis on relatiivne niiskus $\frac{8,65}{17,3}$ ehk $\frac{1}{2}$. Harilikult väljendatakse relatiivne niiskus %-des (meie juhul ½ — 50%); siis näitab relatiivne niiskus küllastuse määra, s. o. mitu % moodustab õhus juba olev veeauru hulk sellest, mis sinna antud temperatuuris maksimaalselt mahuks.

Tegelikus elus on suure tähtsusega õhu relatiivse niiskuse teadmine, sest see määrab, kas antud temperatuuris veeauru õhku veel mahub või mitte. Ja sellest oleneb õieti õhu „kuivus" harilikus mõttes. Tervishoiuliselt on meile kõige soodsam, et õhu relatiivne niiskus oleks 50—60%, seepärast tuleb tähele panna relatiivset niiskust haigemajades, elutubades jne. Ka taimemajades peab valitsema taimekasvule paras relatiivne niiskus. Relatiivsest niiskusest oleneb suurel määral ka sademete tekkimise võimalus.

88. **Hügromeetrid.** Riistu, millede abil määratakse õhu niiskuse suurust, nimet. h ü g r o m e e t r e i k s. Niiskushulga suurenemist ja vähenemist õhus vaadeldakse nn. niiskusenäitajate ehk h ü g r o s k o o p i d e abil.



113. joon. Juushügroskoop.

Üks lihtsam neist on kujutatud 113. joon. Tema ehituse aluseks on nähtus, et juuksekarv imeb niiskust sisse ja läheb selle mõjul pikemaks, õhu kuivenedes aga tõmbub uuesti kokku. Juuksekarv on mässitud telje ümber, millega ühenduses on osuti. Juuksekarva pikkuse muutumine paneb osuti ühes või teises suunas liikuma, mis numbrilaual näitab märgitud niiskusmäära protsentides.

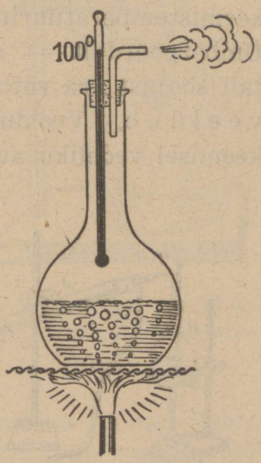
1. Kuidas on võimalik tarbe korral õhu relatiivset niiskust toas suurendada?
2. Mispärast ei ole kaste alati ühteviisi tugev?
3. Me tarvitame sagedasti kõnekäändu „kaste l a n g e b maha". Kas on see õige?
4. Klassi (9 · 6 · 4 m^3) õhu relat. niiskus 15° juures on 60%. Kui palju kaalub kogu klassis olev veeaur?
5. Mitu kuupmeetrit ruumi on võimalik küllastada 20° juures 344 g vee arvel?
6. 15° juures on õhu relatiivne niiskus 55%. Leia absoluutne niiskus!
7. Õhus 25° juures olev niiskushulk suudaks küllastada seda õhku 15° juures. Leia relatiivne niiskus!

Keemine.

89. **Keemisnähtus ja -seadused.** Võtame keedupudelisse vett ja hakkame teda soojendama (114. joon.). Vees on alati õhku. Soojendamise mõjul hakkavad lahkuma veest kõige esiti õhumullikesed ning sadestuvad anuma seintele. Edasi, kui soojendamine toimub alt, põhjast, siis tõusevad soojenenud veeosad kui vähem tihedad pinnale ja nende asemele langevad pinnalt jahedamad veeosad. On vesi sedaviisi segunedes 100° C soojaks saanud, hakkab ta edaspidisel soojuse juurdevoolami-

sel **keema**, s. o. kiiresti auruks muutuma ehk auruma, kusjuures aurumullikesed tekivad igal pool vee sees, iseäranis seal, kus soojuse juurdevool on kõige tugevam.

Enne vee täielise keemise algust on kuulda põhjast iseäralist kihinat. Tugeva soojuse juurdevoolu mõjul tekivad põhjas aurumullikesed, kuid veidi kõrgemale tõustes jahtuvad nad ja surutakse kokku õhu ning vee rõhumise mõjul. Alles siis, kui kogu vesi on jõudnud keemis- ehk aurumistemperatuurini, võrdub küllastunud veeauru rõhumine õhurõhumisega ja mullikesed tõusevad vabalt veepinnale. Seepärast võime täpsemalt vee keemistemperatuuriks (keemispunktiks) nimetada seda temperatuuri, millel küllastunud veeauru rõhumine võrdub välisrõhumisega.



114. joon. Vesi keeb 100° C juures.

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

1) iga vedelik hakkab keema kindlal, sellele kehale omasel keemistemperatuuril;

2) keemistemperatuur on ühesugune veeldumistemperatuuriga;

3) keemine kestab niikaua, kuni soojust juurde tuleb;

4) kogu keemise kestel on temperatuur jääv.

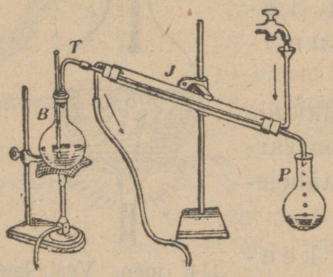
Soojushulka, mis läheb vaja, et 1 g antud ainet keemistemperatuuril vedelast olekust muuta auruks, nimetatakse selle aine aurumissoojuseks. Vee aurumissoojus on 540 kalorit grammi kohta normaalrõhumisel.

Veeaur on nähtamatu. Kui aga veeaur jahtudes tiheneb väikesteks veepiiskadeks ning seetõttu saab meile nähtavaks,

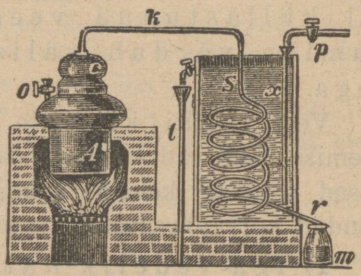
siis ei ole see enam veeaur, vaid t o s s ehk u d u. Kus on 114. joonisel veeaur ja kus toss?

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

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



115. joon. Destillatsioon.



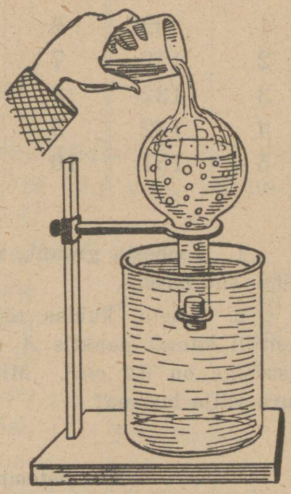
116. joon. Destilleerimisaparaat.

Katse näitab, et keemisel muutub auruks ehk aurub ainult puhas vedelik, kuna kõik vedelikus lahustunud kõvad ained sinna alles jäävad. Sellel auru omadusel põhineb üks vedelikkude p u h a s t a m i s e ehk d e s t i l l a t s i o o n i viise (115. joon.). Keedupudelis *B* on puhastatav vedelik, mille aur torus *T* veeldub jahutajast *J* läbi minnes ja voolab anumasse *P*. Suuremal mõõdul destilleeritud vee saamiseks tarvitatakse sellekohaseid seadiseid, nagu näha 116. joon.

Seleta, kuidas töötab 116. joon. kujutatud destilleerimisaparaat.

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

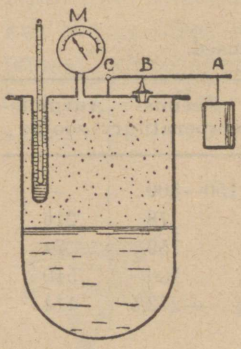
Vahel, näiteks suhkrutööstuses, on vaja veest lahti saada, ilma et selleks kõrget temperatuuri tarvitataks. Niisugusel juhul toimub destilleerimine madala rõhu abil.



117. joon. Rõhumise vähenedes langeb keemistemperatuur.

91. Keemistemperatuuri olenevus rõhumisest. Rõhumise vähenedes vee keemistemperatuur märksa langeb, mida on kerge näidata järgmise katse abil.

Võtame keedupudeli, täidame umbes pooleni veega ja ajame keema. Laseme mõne minuti keeda, nii et aur keedupudelist endaga kõik õhu ühes kaasa viiks ja keedupudelis oleks vee kohal ainult aur. Nüüd korgime keedupudeli kõvasti kinni, pöörame ümber ja pistame kaela otsapidi vee alla (117. joon.). Keemine jääb kohe seisma, sest lõppes soojuse juurdevool. Temperatuur langeb varsti alla keemistemperatuuri. Külma vett peale kallates jahutame keedupudelis olevat auru, millest osa veeldub; selle läbi väheneb auru rõhumine veele ja vesi hakkab uuesti keema. Lume või jää abil tublisti jahutades võime sedaviisi vee keemistemperatuuri kuni kolme-, neljakümne kraadini alla viia.



118. joon. Papin'i katel.

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

Välisrõhu suurendamisel tõuseb keemistemperatuur. Selle täpseks uurimiseks tarvitatakse nn. Papin'i katelt (118. joon.), mis on tugevate seintega kinnine katel, varustatud termomeetri ja manomeetriga. Sääraste mõõtmiste põhjal on määratudki keemistemperatuuri (t^0 C) olenevus rõhust $\left(p\,\frac{kg}{cm^2}\right)$, nagu seda näeme järgnevas tabelis. Jälgi seda!

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

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

2. Seleta, kuidas töötab Papin'i katla kaitseventiil. Oletame, et ventiili kangil punktis *A* rippuv koormis kaalub 1 kg ja kaitseventiili ristilõige on 0,2 cm². Mitme-atmosfäärilisel rõhumisel hakkab ventiil auru välja laskma?

Keemistemperatuurid ja aurumissoojused.

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

1. Mis vahe on aurumise ja aurustumise vahel?

2. Kui palju vabaneb soojust 20 g veeauru veeldumisel keemistemperatuuris?

3. Seleta, kuidas saadakse soolajärvedes soola aurustumise teel.

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

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

6. Kas saavad hästi suurel tulel munad rutemini keenuks kui väikese tulega keetes?

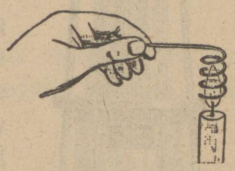
7. Kui palju kulub soojust, et 50 g —10°-st jääd auruks muuta 100° C juures?

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

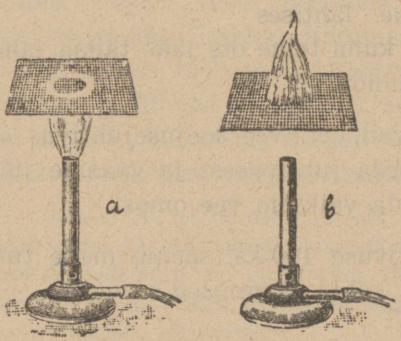
9. Kui kõrgele tõuseb 500 g 15°-se vee temperatuur, kui temas veeldub 25 g 100°-st veeauru?

Soojuse levimine.

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



119. joon. Vask on hea soojusejuht.



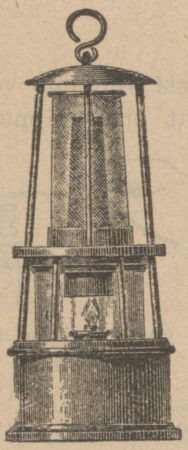
120. joon. Leek püsib ühel pool vaskvõrku.

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

Puu on halb soojusejuht, seda teab igaüks tuletiku tarvitamisest. Kuidas?

Väga hea soojusejuht on vask. Rõngasse käänatud vasktraati küünla leegil hoides (119. joon.) kustub küünal. Põhjuseks on asjaolu, et soojus leegist vasktraati mööda laiali

kandub ja jahutab põleva gaasi niivõrra ära, et leek kustub. Sellel vase omadusel põhineb vaskvõrgu tarvitamine, et gaasi leeki hoida ühel pool võrku (120. joon.); esimesel juhul (*a*) on gaas süüdatud altpoolt, teisel juhul (*b*) ülaltpoolt võrku.



121. joon. Davy kaitselamp.

Vaskvõrgu suur juhtivus leiab kasutamist ka Davy kaitselambi ehitamisel (121. joon.). Lambi leek on ümbritsetud tiheda vaskvõrguga. Kui kaevanduses on kogunenud plahvatavat gaasi, siis tekivad väikesed kahjutud plahvatused võrgu sees ja annavad märku hädaohtlikust seisukorrast.



122. joon. Vesi on halb soojusejuht.

Vesi on halb soojusejuht; seda näitab lihtne katse: täidame katseklaasi veega ja soojendame teda lahtisest otsast (122. joon.). Sedaviisi võime lahtises otsas vee koguni keema ajada, kuna teine ots jääb täitsa jahedaks ja teda võib vabalt käes hoida.

Täpsed mõõtmised näitavad, et vee soojusejuhtivus on umbes 700 korda väiksem hõbeda juhtivusest ja gaaside juhtivus keskmiselt umbes 25 korda väiksem vee omast.

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

Hõbe	100	Raud	12	Männipuu risti	0,0088
Vask	94	Seatina	8,3	Saepuru	0,015
Kuld	74	Elavhõbe	2	Vilt	0,0087
Alumiinium	50	Jää	0,21	Puuvill	0,093
Valgevask	27	Klaas	0,046	Vesi	0,136
Inglistina	15	Männipuu pikuti	0,03	õhk	0,005

1. Kuidas võiksime kujutella soojuse levimist juhitavuse 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?

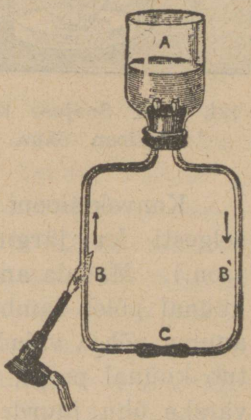
4. Mis kasu on talveaknaist?

5. Missugune soojusejuht on Maa koor?

6. Tuha all ei kustu söed niipea. Mis võime sellest järeldada?

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

93. Soojuse konvektsioon. Katseklaasis vett alt soojendades näeme, et vesi hakkab ka pealt kohe soojaks minema, sest soojenedes veeosad paisuvad, nende tihedus väheneb ja nad tõusevad üles. Ülestõusnud veeosade asemele langevad ülalt alla jahedad suurema tihedusega veeosad. Nii kandub soojus segunedes laiali ja kõigil veeosadel katseklaasis on alati enamvähem ühtlane temperatuur. Et vee liikumist katseklaasis parem oleks tähele panna, lisame vette peenikest puupuru, mis veega ühes hakkab liikuma ja sellega vee liikumise teeb meile nähtavaks. Veel selgema pildi vee liikumisest soojendamisel saame, kui sama katset teeme sellekohase anumaga, nagu näha 123. joon.

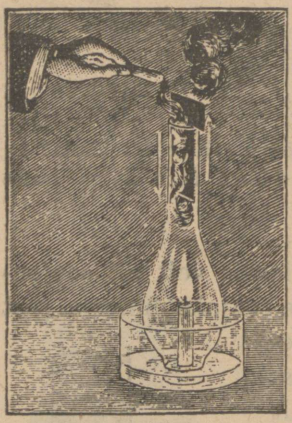


123. joon. Soojuse konvektsioon vees.

Anum *A* on täidetud veega nii, et toru *BCB'* otsad oleksid kaetud. Lisandame veele anumas *A* veidi tinti või mõnd teist värvainet, et vedeliku liikumine oleks paremini näha. Toru *B* väikese leegiga soojendades saame vee liikumise noole suunas. Mispärast?

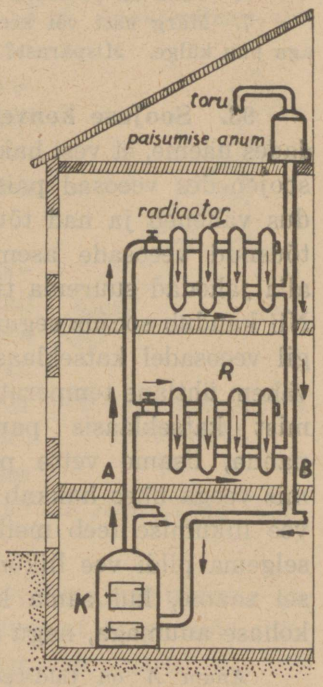
Niisugust soojuse levimise viisi, kus soojus aine osakestega ühest kohast teise kantakse, nimetatakse soojuse e d a s i k a n d u m i s e k s ehk k o n v e k t s i o o n i k s. Mõistagi, et konvektsioon on võimalik kehades, millede osad üksteise suhtes annavad kergesti liikuda, s. o. vedelais ja gaasilistes kehades, kuid mitte tahkeis.

Näiteks soojuse konvektsiooni kohta õhus on meil soojuse levimine köetud ahjust, kus soe õhk ahju juures üles tõuseb, lae alt mööda tuba laiali valgub, seinte ääres jahtudes pikkamisi alla langeb ja alt ahju juurde tagasi liigub. Samuti kui uks või aken, mis külma ruumi lahutab soojemast, paokile teha, võime, põlevat küünalt ülal ja all ukse või akna ääres hoides näha, et soe õhk voolab ülalt jahedamasse ja külm õhk alt soojemasse ruumi.



124. joon. Soojuse konvektsioon õhus.

Konvektsiooni õhus näitab meile selgesti ka järgmine katse (124. joon.). Madala anuma põhjal seisev küünal põleb lambiklaasi sees. Kui anuma põhja valada veidi vett, kustub küünal peagi, sest vesi takistab värske õhu juurdevoolu. Nüüd jagame lambiklaasi ülemise osa papitükiga pooleks. Küünalt uuesti süüdates ei kustu ta enam, sest nüüd voolab värske õhk kui korstnast ühelt poolt sisse ja põlemisproduktid teiselt poolt välja. Seda õhuvoolu on suitsu abil kerge tähele panna.



125. joon. Vesiküttе skeem.

Vesiküttе ehitus selgub 125. joon. antud skeemist. Keldrikorral asetsevast katlast *K* lähevad torud mööda maja laiali ja tulevad jälle katlasse tagasi. Kuum vesi liigub konvektsiooni tõttu mööda torusid ringi ja nn. r a d i a a t o r i t e kaudu annab soojust ruumidesse.

Jälgi skeemi põhjal vee ringkäiku vesiküttes!

Konvektsioon etendab suurt osa looduses kui ka igapäevases elus. Tuuled, merehoovused, ventilatsioon, vesiküte jne. on kõik konvektsiooninähtused.

1. Mispärast saepuruga täidetud vaheseinad juhivad soojust halvemini kui ainult õhuga täidetult?
2. Mispärast kaetakse jääkeldris jää suvel õlgede või saepuruga?
3. Tuulise ilmaga on külm iseäranis lõikav? Mispärast?
4. Kuidas on jää abil jahutamisel kasulikum toimetada: kas panna jahutatav keha jää alla või jää peale?

94. Kiirgamine. Küdeva lahtise ahjusuu juures seistes tunneme, et ahjus hõõguvaist sütest meile alatasa voolab soojust. Hõõguvate süte soojus ei levi sel juhul konvektsiooni kaudu, sest õhuvool on suunatud toast ahju. Ka juhitavuse abil ei saa me nähtust seletada, sest konvektsioonivool ahju suunas hävitab täiesti juhitavuse abil õhus levinud soojuse mõju. Sellest järeldame, et peale juhitavuse ja konvektsiooni peab olema veel mõni viis soojusenergia levimiseks. Juhitavuse ja konvektsiooni puhul levib soojus aineliste vahendite kaudu; Päikese ja Maa vahel maailmaruumis puuduvad niisugused ainelised vahendid, kuid siiski tungib soojusenergia vabalt läbi maailmaruumi Päikeselt Maani. Nimetame soojuse levimist sel teel, nagu see toimub küdevast ahjust, Päikeselt jne., kiirgumiseks. Mitte ainult helendavad kehad, nagu Päike, hõõguvad söed, põlev lamp jne., ei kiirga soojust, vaid ka tumedad kehad, nagu ahi, triikraud, teemasin jne. Üldse iga keha saadab endast soojuskiiri välja, s. o. kiirgab.

Soojuskiirguse hulk, mis keha välja saadab, oleneb peale keha temperatuuri ja aine veel suurel määral kiirgava keha pinna ehitusest ja värvusest. On arusaadav, et kare pind kiirgab rohkem soojust kui sile, sest esimesel juhul on kiirgamispindala suurem. Olenevuse kohta värvusest teeme järgmise katse.

Võtame kaks täitsa ühesugust plekkanumat (~ ½ l). Ühe anuma välispinna värvime mustaks või katame nõega, teise pinna jätame puhtaks (valge plekk). Valame mõlemasse ühepalju kuuma vett (~ 70°). Laseme veel jahtuda mõlemas anumas samasuguseis tingimusis ja jälgime kogu aeg vee temperatuuri, tehes mõõtmisi näiteks iga 2 min. tagant.

Vaatlused näitavad, et mustaks värvitud või nõetatud seintega anumas jahtub vesi kiiremini kui valgete seintega anumas. Tähendab, *must pind kiirgab välja sama aja jooksul rohkem soojust kui valge pind.* Ka ümberpöördud juhul, soojuse kiirguse neelamisel, *on musta pinna neelamisvõime tunduvalt suurem valge pinna neelamisvõimest.*

Lihtsad tähelepanekud (missugused?) näitavad, et soojus kiirgub *sirgjooneliselt.* Ka võib kiirguv soojus *keskkonnast läbi minna, ilma et ta seda keskkonda soojendaks.* Näiteks Päikese kiired võivad õhust läbi tungida, ilma et õhk läheks seejuures tunduvalt soojemaks. On ju õhk ülemistes kihtides ka kõige palavamal suvepäeval väga külm.



126. joon. Termospudel.

Praktiliselt on sageli väga tähtis säilitada pikemat aega keha temperatuuri. Nii ollakse näiteks majapidamises toiduainete säilitamisel huvitatud, et püsiks kas niisama madal (toiduainete säilitamine) või jällegi niisama kõrge temperatuur (kohvi, tee kaitsemine jahtumise vastu, keedukast). Üheks sääraseks riistaks on **termospudel,** mis on õieti kahekordsete hõbetatud seintega klaasanum, kus seinte vahel on õhutühi ruum (126. joon.). Õhutühi ruum kaitseb termospudelit soojuse kaotuse vastu juhitavuse ja konvektsiooni teel, kuna seinte hõbetamine on kaitseks soojusekiirguse vastu. Kaitseks katkimineku vastu on termospudelid harilikult ümbritsetud plekk-kestaga.

1. Mispärast kantakse Lõunamaal valgeid rõivaid?

2. Kevadisel päikesepaistel sulab lumi kõige esiti kohast, kus on peale langenud puru. Mispärast?

3. Prof. Piccard kasutas stratosfääri uurimisel 1931. a. õhupalligondlit (õhukindlalt suletav alumiiniumist kuul), mille üks pool oli värvitud mustaks, kuna teine pool oli poleeritud pinnaga. Selline konstruktsioon võimaldas reguleerida gondli sisemuse temperatuuri. Kuidas?

Soojusenergia ja töö.

95. Päike energia allikana. Päikesekonstant. Kõige tähtsamaks Maa soojuse ja üldse kogu energia allikaks on **Päike.** Suure kuuma kerana (raadius 109 Maa raadiust ja tem-

peratuur ~ 6000° C) saadab Päike kiirgamise teel vahetpidamatult määratu hulga energiat maailmaruumi laiali; Maa peale langeb ainult väike osa (~ $\frac{1}{2 \cdot 10^9}$) sellest energiast. Ka ei jää kõik Maa peale langenud Päikese energia siin püsima, vaid suurem osa peegeldub (pilved, veepind jne.) ning kiirgub Maa pinnalt maailmaruumi laiali.

Kogu meie ja looduse elu on tingitud Päikeselt saadud energiast. Päikese kiired on Maa peal esinevate liikumiste algpõhjuseks. Päikese kiirte soojus tõstab merest vee õhku ja kannab ta tuulte abil mööda maad laiali, niisutades põlde, tekitades allikaid, jõgesid, koski ning jugasid jne. Taime- ja loomakasv on võimalik ainult Päikese elustavate kiirte mõjul, ka maapõuest väljakaevatavad põletusained, nagu kivisüsi, põlevkivi jne., on endiste aegade energia pärand.

Päikeselt saadava energia hulga üle võime otsustada nn. päikese- ehk solaarkonstandi abil. Päikesekonstandiks nimet. soojushulka, mis langeks Maa pinnal Päikese kiirtele risti vastu asetatud 1 cm²-sele pinnale 1 minuti jooksul, oletades, et õhkkond läbiminevaist Päikese kiirtest midagi ära ei neela. Sellekohased täpsed mõõtmised näitavad, et päikesekonstandi suurus on ~2 grammkalorit (õigemini 1,94). Et meil võimalik ei ole õhkkonna neelavat mõju kõrvaldada, siis jõuab paremal juhul (Päike on seniidis ja õhk selge ning tolmuvaba) ainult 0,8 sellest soojusest merepinnani, kuna 0,2 jääb õhku. Mida madalamal on Päike, seda pikem on ta kiirte tee õhkkonnas ja seda vähem soojusenergiat saab Maa pind.

96. Põletusained ja nende kütteväärtused. Põletusained, nagu puu, kivisüsi, turvas, petrooleum, valgustusgaas jne., sisaldavad suurel hulgal energiat, mis põlemisel muundub soojusenergiaks.

Nii näiteks tekib 1 kg puusöe ärapõlemisel, s. o. süsiniku ja hapniku ühinemisel süsihappegaasiks (CO_2), ~ 8000 kilokalorit soojust. Veel rohkem soojust tekib vesiniku ühinemisel hapnikuga ehk veeks põlemisel, kus tekib iga kg vesiniku ärapõlemisel ~ 34 000 kilokalorit soojust. Kütteainete põlemisel

tekkinud soojust võime lugeda igapäevases elus peale Päikese kõige tähtsamaks soojusallikaks. Ka meie kehas tekib soojus toiduainete pikaldase põlemise, s. o. õhuhapnikuga ühinemise tagajärjel.

Põletusainete hindamisel tuleb silmas pidada nende k ü t t e v ä ä r t u s t, s. o. soojushulka, mis tekib 1 kg selle aine täielisel ärapõlemisel. Toome järgnevas tabelis tähtsamate põletusainete küttevääртused kg-kaloreis.

Bensiin, petrooleum	10 000
Kivisüsi	7 000—8 000
Piiritus	6 360
Puu, õhukuiv (20—25% niiskust) . .	~3 000
Puusüsi põlemisel CO_2-ks	8 100
„ „ CO-ks	2 430
Põlevkivi (15% niiskust)	3 350
Turvas (25% niiskust)	3 280
Valgustusgaas	10 000
Vesinik veeks põlemisel	34 000

1. Ahjutäis kasepuid kaalub 35 kg. Kui palju soojust tekib selle puudehulga täielisel ärapõlemisel? Kui palju sellest soojushulgast kulub puudes oleva vee (25%) auruks muutmiseks?

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

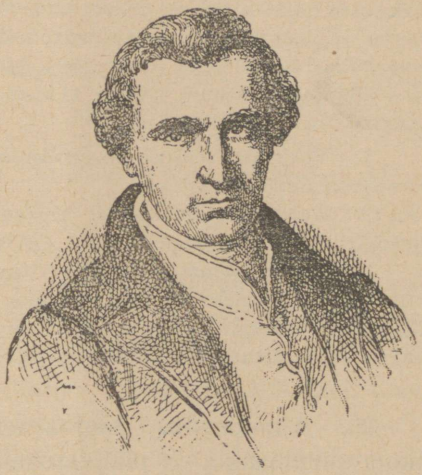
3. Jõõpre rabas on ~ 116 miljonit tonni põletusturvast. Mitme kuupmeetri kasepuude väärtusele see vastab, kui selle turba küttevääртuseks arvata 3400 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ ja üks kuupmeeter kasepuid kaalub 580 kg?

97. Töö muundumine soojuseks. Mehhaanilist tööd võime kergesti muundada soojuseks. Selleks on meil igapäevasest elust küllalt näiteid. Hõõrume peopesi kiiresti teineteise vastu, siis tunneme, et nad lähevad soojaks, sest hõõrdumise ületamiseks kulutatud töö muundub soojuseks. Kahe kuiva puutüki teineteise vastu hõõrumisel võime saada tuld. Sel teel saadi tuld vanasti ja veel koguni hilise ajani metsrahvaste

juures. 127. joon. kujutab sellekohast puuri, mida eskimod tarvitasid tule saamiseks. Alasi läheb tagumisel kuumaks, väikesed kosmilised kehakesed, sattudes Maa õhkkonda, lähevad vastu õhku hõõrdudes kuumaks, hakkavad helendama ja põlevad sagedasti hoopis ära; jalgratta kum-



127. joon. Eskimod puurivad tuld.



128. joon. James Watt (1736—1819).

misid õhuga täites läheb pump kuumaks, traadi painutamisel painutamiskoht jne. Neist näiteist selgub, et mehhaaniline töö muundub kergesti soojuseks.

1. Too veel näiteid mehhaanilise töö soojuseks muundumise kohta!
2. Meie esivanemad tarvitasid tule saamiseks nn. tulerauda. Seleta selle tarvitamist!
3. Seleta lähemalt 127. joon. kujutatud eskimote tulesaamise viisi!

98. Soojuse mehhaaniline ekvivalent. Nägime, et mehhaaniline töö võib muunduda soojuseks. Täpsema sideme kulutatud töö hulga ja sellest tekkinud soojuse hulga vahel leidsid esimestena sakslane Robert Mayer (1814—1878) ja inglane James Prescot Joule (1818—1889). Suure hulga täpsete katsete tulemusena võib öelda, et töö muundumisel soojuseks on alati **427 kgm** ühevääriline ehk ekvivalentne **1 kilokaloriga**, seepärast nimetatakse 427 kgm soojuse (1 kilokalori) mehhaaniliseks ekvivalendiks.

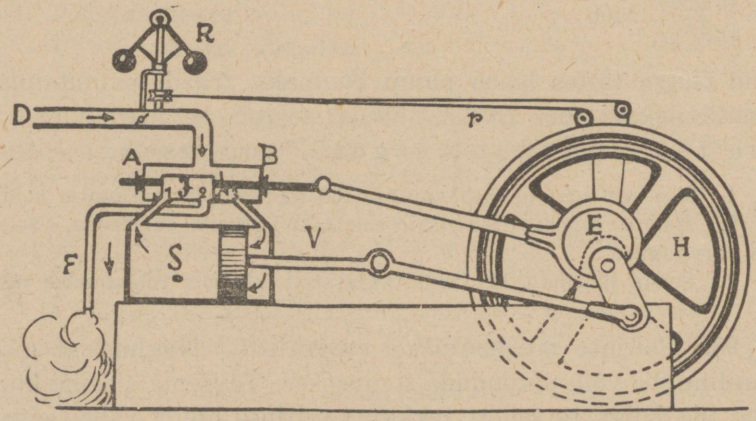
Lihtsamal kujul võib toimetada soojuse mehhaanilise ekvivalendi ligikaudset määramist järgmiselt. Pikas papptorus on teatav hulk tinahaavleid. Toru püsti hoides ja äkki ümber pöörates langevad haavlid teise otsa. Seejuures muundub langemisel kulunud raskustungi töö soojuseks ja haavlite temperatuur tõuseb. Sedaviisi haavleid mitu korda edasi-tagasi valades ja ära mõõtes toru pikkuse, haavlite massi ja algning lõpptemperatuuri, võime saadud andmeist arvutada soojuse mehhaanilise ekvivalendi. Kuidas?

1. Väljenda soojuse mehhaaniline ekvivalent ergides ja töö soojuse ekvivalent kalorites!

2. Kui suure igapäevase söekaevanduse-toodanguga (tonnides) on üheväärline Narva kose energia (75 000 HJ)?

3. Eesti aastast energiatarvitust hinnatakse umbes $50 \cdot 10^6$ kilovatt-tundi. Mitmeks aastaks jätkuks Jõõpre raba energia tagavaradest kogu Eesti energiatarvituse täitmiseks (vt. § 96)? Kui palju suudaks Narva kosk täita meie üldisest energiatarvitusest?

99. Aurumasin. Soojusenergia muundub tööks peaasjalikult aurumasina ja plahvatusmootori abil.



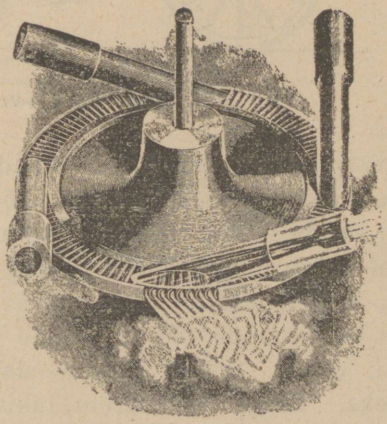
129. joon. Aurumasina skeem.

Aurumasina töötamine selgub skemaatiliselt 129. joonisest. Toru *D* mööda juhitakse aur katlast aurukarpi *AB*, millest väljuvad kolm toru: torud 1 ja 3 ühendavad aurukarpi aurusilindriga *S*, toru 2 kaudu juhitakse läbitöötatud aur masinast välja. Aurukarbis liigub tihedalt edasi-tagasi

jaotaja *J*, ühendades kord 1., kord 3. toru kaudu aurukarpi aurusilindriga. Silindris *S* liigub tihedalt edasi-tagasi kolb.

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

Jaotaja edasi-tagasi nihkumine toimub automaatselt hooratta võlli külge kinnitatud nn. ekstsentriku *E* abil. Auru silindrisse pääsemist reguleerib toru *D* küljes olev tsentrifugaalregulaator *R*, mis on rihma *r* abil hooratta võlliga ühendatud. Hakkab hooratas kiiremini käima, tõusevad regulaatori *R* kerakesed kõrgemale, seega ühtlasi torus *D* olevat plaati rohkem risti asetades. Pääseb aga katlast vähem auru silindrisse, väheneb aururõhumine ja hooratas hakkab aeglasemalt käima. Hooratta aeglasema käigu puhul mõjub regulaator vastupidiselt.



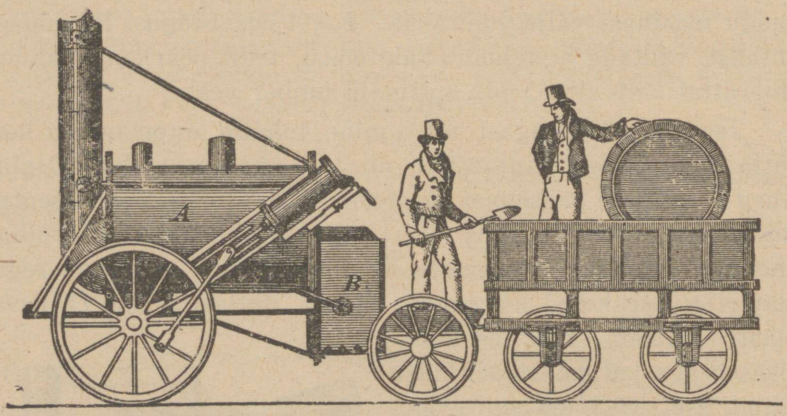
130. joon. Aurturbiin.

Esimese seda laadi aurumasina ehitas inglane James Watt a. 1765.

Aurturbiinide abil muudetakse tööks kuuma auru kineetilist energiat. Aurukatlast suure kiirusega (umbes 1000 $\frac{m}{sek}$) väljavoolav aur juhitakse otseselt töötava ratta kühvlitele, milledele ta oma kineetilise energia edasi annab ja ratta pöörlema paneb.

100. **Aurumasinate ajaloost.** Aurujõudu hakati kasutama töötegemiseks juba XVII sajandil. Kuid esimesed aurumasinad olid väga puudulikud; seetõttu ei leidnudki nad laialdasemat kasutamist. Alles inglane James Watt [loe: džeimz uott] esimesena ehitas a. 1765 aurumasina enam-vähem sel kujul, nagu me tunneme teda praegu.

Alguses tarvitati aurumasinat söekaevandusest vee pumpamiseks. Ühel ajal sellega tehti katseid rakendada aurujõudu vankrite (koormate) vedamiseks. Need katsed ei tahtnud



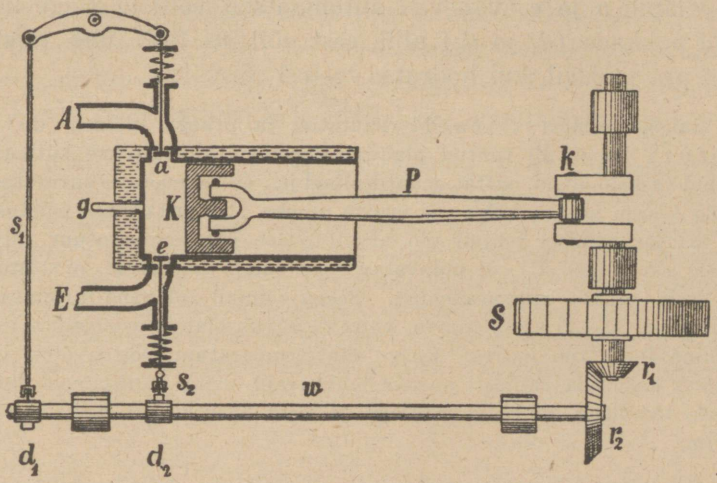
131. joon. Rocket-vedur, ehitatud a. 1829.

hästi õnnestuda. Raudrööpaid ei julgetud tarvitusele võtta, sest oldi arvamisel, et siis hõõrdumine on liiga väike ja vedur ei suuda liikuda edasi. Hammasrataste tarvitamine, nagu see on mägiraudteil, oleks tulnud liiga keerukas ja kallis. Alles a. 1813 õnnestus ühel inglise inseneril katsete varal näidata, et hõõrdumine veduri rataste ja siledate rööbaste vahel polegi nii väike. Sellest jätkub edasiliikumisel toetuspunkti saamiseks. Seega oli suurem takistus raudtee arenemisel kõrvaldatud ja esimene raudtee (Stocktoni ja Darlingtoni vahel) avati Inglismaal a. 1825. Esimese raudtee ja veduri ehitajaks oli inglane George Stephenson [loe: džoodž stiivnsn]. 131. joon. kujutab G. Stephensoni poolt a. 1829 ehitatud vedurit nimega Rocket [loe: rokit, tähendab raketti], mis püsis hulk aega

tarvitusel. Aurujõu kasutamine laevade liikumapanemiseks teostati enne raudteede avamist. Siin on suured teened ameeriklasel Robert Fulton'il (1765—1815). Juba a. 1807 ehitas ta aurulaeva, mis pärast hakkas korralikult ühendust pidama Hudsoni jõel Albany ja New Yorki linna vahel.

Kirjelda 131. joonisel kujutatud vedurit ja võrdle teda praegusaja veduritega.

101. Plahvatusmootori töötamine selgub 132. joon. kujutatud skeemist. Jahutajaga ümbritsetud silindris liigub edasitagasi umbne kolb *K*, mille varb *P* paneb pöörlema hooratta *S* võlli. Toru *E* kaudu juhitakse plahvatusaine (õhu ja petrooleumi-, bensiini- või piirituse-auru segu) silindrisse ja toru *A* kaudu äratarvitatud ained sealt välja. Üks töötamisperiood koosneb 4 osast ehk nn. taktist.



132. joon. Plahvatusmootori skeem.

1) Kolb liigub silindri põhjast paremale poole, klapp *e* avaneb (klapp *a* on kinni) ja plahvatusaine tungib silindrisse.

2) Kolb liigub tagasi äärmisse vasempoolsesse seisu ja surub kokku (komprimeerib) plahvatusaine-auru ehk gaasi.

Mõlemad klapid (*a* ja *e*) on kinni. Kokkusurumise mõjul soojenenud gaas süüdatakse (elektrisäde) selle takti lõpul süütetorus *g*.

3) Mõlemad klapid on kinni. Süüdatud gaas plahvatab ja tõukab kolvi suure hooga silindri põhjast välja paremale poole.

4) Klapp *e* on kinni, kuna klapp *a* avaneb. Kolb liigub paremalt poolt vasemale ja tõukab plahvatusproduktid silindrist toru *A* kaudu välja.

Edaspidised kolvi käigud korduvad endises järjekorras. Nagu näha, saab siin kolb kahe edasi-tagasi-käigu jooksul plahvatavast gaasist ainult ühe töövõimsa tõuke. Selle töö arvel toimub ka kolvi liikumine tööperioodi ülejäänud kolme takti jooksul. Mootori käimapanemiseks tuleb alguses hooratas sellekohase vända abil kiiresti pöörlema panna.

Klapid *a* ja *e* avanevad automaatselt võlli *w* külge kinnitatud nokkade (d_1 ja d_2) abil, sest võll *w* teeb ühe täistiiru sama aja jooksul, kui hooratas teeb 2 täistiiru.

Saksa inseneri Dieseli leiutatud ja praegu üldiselt diiselmootori nime all tuntud plahvatusmootoris kasutatakse kütteainena odavaid raskeid õlisid, naftat, määrdeõlisid jt. Diiselmootoris surutakse õhk 30—35 atm-ni kokku, kuhu siis erilise pumba abil pritsitakse põletusaine. Õhu kokkusurumisel tehtud töö arvel tõuseb õhu temperatuur niivõrra kõrgele (kuni 600° C), et plahvatav segu süttib iseenesest, mistõttu siin pole vaja erilist süüteseadeldist. Seega toimub põlemine diiselmootoris kõrge rõhu, 30—35 atm., juures, kuna tavalises plahvatusmootoris toimub põlemine 4—5 atm. juures. Kõrge süütetemperatuuri tõttu võibki diiselmootoris kasutada raskesti auruks muutuvaid õlisid. Diiselmootorid ehitatakse tavaliselt suure võimsusega ja neid kasutatakse laevadel, vedureil jm.

Nimeta plahvatusmootori head ja halvad küljed võrreldes aurumasinaga!

102. Soojuse tööks muundumise koefitsient. Aurumasina ja plahvatusmootori abil muundame soojusenergiat mehhaaniliseks tööks. Seejuures saame iga 1 kilokalori arvel 427 kgm tööd. Kuid kahjuks ei võimalda aurumasin ega plah-

vatusmootor kuigi suurt osa masinas tekitatud soojusest tööks muundada. Paremad aurumasinad muundavad tööks praegusajal ainult ~ 17% kütteainest tekkinud soojusest, kuna paremal juhul see protsent võiks tõusta 25-ni. Harilikud vedurid ja lokomotiivid ei muunda tööks rohkem kui 8—12%. Eelmised andmed on õiged madalarõhuliste aurumasinate kohta. Kõrgerõhulistel aurumasinail (60 atm. ja enam) on kasutegur suurem (~25%). Diiselmootorite kasutegur ulatub 35%-ni.

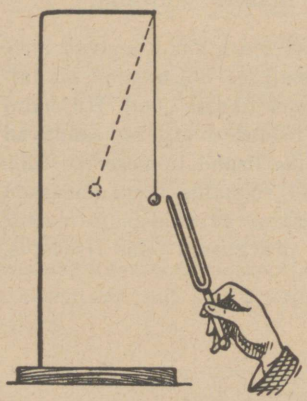
Võrdlemisi väikese soojusenergia tööks muundumise % põhjuseks ei ole niivõrra masinate puudulik ehitus, kui loodusseadus, mis ütleb: kõigil energia liikidel on kalduvus muunduda soojuseks, mis püüab levida ühtlaselt maailmaruumis. Soojuse muundamine tööks masinate abil käib selle looduse kalduvuse vastu: seepärast võimaldab meile loodus muundada soojust tööks ainult siis, kui niiöelda vastutasuks toimub sellega ühtlasi soojuse liikumine kõrgema temperatuuriga kehadest madalama temperatuuriga kehadesse (katlast jahutajasse või õhku), mis aitab kaasa soojuse ühtlasele levimisele maailmaruumis.

Aurumasinad ja mootorid kui mehhaanilise jõu allikad omavad meie praegusaja elus äärmiselt suurt tähtsust. Esialgses ühiskonnas oli inimesel ainukeseks jõuallikaks töötegemisel ta oma lihaste jõud. Hiljemini lisandus sellele loomade jõud ning veel hiljem loodusest otseselt saadavad tuule- ja veejõud. See oli siiski suhteliselt väike lisand inimese tööjõule. Alles aurumasina leiutamisega avanes inimesel võimalus tema kasutada olevat jõuhulka hiiglamääral suurendada. Seega on aurumasin ja mootor tõusnud äärmiselt tähtsaiks tegureiks meie praegusaja elus (tööstus, liiklemine, elekter jm.).

Hääl.

Hääle tekkimine ja levimine.

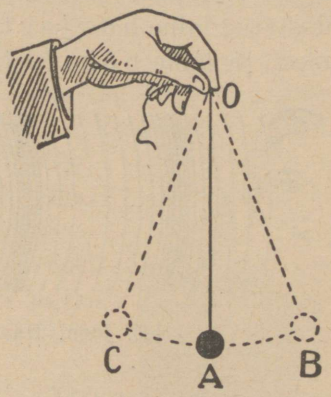
103. Hääle tekkimine ja allikad. Lüües heliharki või pingule tõmmatud viiulikeelt, hakkavad need helisema. Helisevaid kehi ehk nn. **hääleallikaid** lähemalt uurides võime tähele panna, et nad helisedes nähtavalt või nähtamatult kiiresti edasi-tagasi liiguvad. Lähendame heliseva helihargi peenikese niidi otsa seotud kergele kuulikesele: kokkupuutumisel kargab kuulike eemale. Samuti pistes heliseva helihargi vette me näeme, et ta pritsib vett laiali: järelikult liiguvad heliseva helihargi harud kiiresti edasi-tagasi, nad võnguvad. Seda võnkumist võime nähtavaks teha, kui kinnitame helihargi haru külge õhukesest plekist lõigatud teraviku ja pannes siis helihargi helisema tõmbame teraviku otsaga mööda tahmatud klaasipinda: klaasipinnal tekib laineline joon, mis kujutabki helihargi võnkumist. Seega alati on hääle allikaks mingisugune võnkuv keha.



133. joon. Võnkuv helihark.

104. Võnkliikumine. Valmistame pendli. Selleks võib olla näiteks niidi otsa riputatud tinakuul. Tasakaaluolekus on pendli niidi siht püstloodis (134. joon.). Viime pendli keha (tinakuuli) tasakaalust välja

punkti B ja laseme seal lahti: raskustungi mõjul liigub pendel tasakaaluasendisse tagasi, kuid inertsi tõttu ei jää sinna seisma, vaid liigub edasi asendisse C, mis on tasakaaluasendist A vasemal pool peaaegu niisama kaugel kui B paremal pool. Asendist C liigub pendli keha nüüd tagasi asendisse B jne. Niisugust liikumist nimetatakse võnkliikumiseks ehk **võnkumiseks.** Pendli kohta öeldakse siis: pendel võngub.



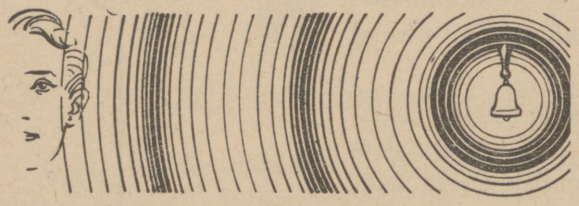
134. Pendli võnkumine.

Liikumist ühest äärmisest asendist teise ja tagasi nimetatakse **täisvõnguks;** liikumist ühest äärmisest asendist teise — **poolvõnguks.** Äärmise asendi kaugust tasakaaluasendist nimetatakse **amplituudiks** ehk **ulatuseks.** Ajavahemikku, mille kestel pendel teeb ühe täisvõngu, nimet. täisvõngu **kestuseks** ehk **perioodiks,** ajavahemikku aga, mille jooksul pendel teeb ühe poolvõngu, poolvõngu perioodiks. Teeb, näiteks, pendel ühe täisvõngu 0,5 sek. jooksul, siis on selle pendli täisvõngu kestus 0,5 sek. Tahame teada, mitu võnku teeb keha ühe sekundi jooksul ehk, teiste sõnadega, kui suur on **võnkearv** ehk **sagedus,** siis vaatame, mitu korda mahub täisvõngu kestus ühte sekundisse. Antud juhul saame: $1 : 0{,}5 = 2$, s. o. võnkearv on 2 ehk keha teeb 2 täisvõnku ühes sekundis. Ümberpöördult, on võnkearv näiteks 10, siis on täisvõngu periood 0,1 sek. Tähistades üldises kujus täisvõngu kestuse sekundites ja võnkearvu vastavalt tähtedega T ja N, leiame, et $N = \frac{1}{T}$ ehk $T = \frac{1}{N}$. Seega $T \cdot N = 1$.

1. Katsu määrata, kui suur on pendli võngu kestus, kui pendli pikkus on 1 m, 0,25 m, 4 m. Kas pendli võngu kestus oleneb pendli kehast?

2. Kus tarvitatakse pendlit?

105. Hääle levimine. Kui kivi langeb vaiksesse vette, siis kivi langemise kohast levivad veepinda mööda veelained ringikujuliselt laiali. Veelainete tekitajaks oli siin kivi, mis andis hoobi veepinnale. Veelainete kaudu levib tõukeenergia, mis kivi andis veele, mööda veepinda edasi. Iga veelaine on moodustatud laine h a r j a s t, mis ulatub kõrgemale veepinna tasemest, ja laine p õ h j a s t, mis on veepinna tasemest madalam.



135. joon. Häälelained.

Kaugust laineharja keskkohast kuni järgmise laineharja keskkohani nimetatakse **lainepikkuseks.**

Puistame veepinnale kergeid kehakesi, näiteks puu- või korgipuru. Laine levimisel veepinnal paneme tähele, et veepinnal ujuvad kerged kehakesed võnguvad üles-alla. Siit järeldame, et laine levimisel veepinnal veeosakesed ei liigu lainega kaasa, vaid võnguvad üles-alla. Nende võnkumine sarnaneb eespool-kirjeldatud pendli võnkumisega.

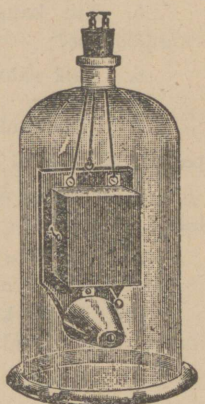
Siinkirjeldatud katses toimub võnkumine risti laine levimissuunaga. Säärast lainetust nimetatakse **ristlainetuseks.**

Nägime, et iga helisev keha on kiires võnkliikumises. Keha võnkumine andub edasi ümberolevale õhule, teda võnkuma pannes. Nii tekivad õhus häälelained. Need häälelained levivad helisevalt kehalt ruumi igale poole laiali. Satuvad nad kõrva, siis kuuleme häält.

Häälelainete tekkimist õhus võib järgmiselt seletada. Kujutleme lahtist toru, mis täidetud õhuga ja mille ühes otsas võngub mingi keha, näiteks terasplaat. Plaat, liikudes toru sissepoole, lükkab õhuosakesi edasi. Seejuures ei liigu kogu õhusammas torus edasi, vaid plaadi lähedal olev õhk surutakse kokku. Kokkusurutud õhukiht paisudes surub teise õhukihi kokku, mis omakorda surub kokku kolmanda õhukihi, jne. Liigub plaat teisele poole, siis tekib plaadi lähedal hõredam õhukiht. Sinna voolab õhk teisest kihist, kus omakorda tekib hõrendus. Nii tekivad plaadi võnkumisel torus õhu **tihendused** ja **hõrendused,** mis levivad

siis torus edasi. Need tihendused ja hõrendused moodustavadki häälelained. Hääle lained on **pikilainetus**, sest siin võnguvad õhuosakesed laine levimissuunas. Iga plaadi täisvõnk tekitab õhus seega ühe tihenduse ja ühe hõrenduse, kokku moodustavad need ühe häälelaine. Kaugus ühe tihenduse keskkohast naabertihenduse keskkohani on hääle **lainepikkus.** Ka siin ei kanta õhuosakesi häälega ühes edasi, vaid õhuosakesed võnguvad edasi-tagasi.

106. Hääle kiirus. Enne kui kuuleme veduri vilet, näeme veduri vilest välja tulevat auru. Puu- või kiviraiujat eemalt vaadeldes näeme, et kirve (vasara) löögi hääl ei kosta meie kõrva ühel ajal löögiga, vaid pisut hiljem. Need ja teised säärased tähelepanekud tõestavad, et hääl ei levi õhus silmapilkselt, vaid tarvitab seks aega. Mõõtmised näitavad, et hääle levimiskiirus õhus on 332 $\frac{m}{sek}$ ehk $\frac{1}{3}\frac{km}{sek}$, s. o. hääl levib edasi õhus igas sekundis 332 meetrit.



136. joon. Hääl ei levi õhuta ruumis.

Ülaltoodud hääle levimiskiirus õhus on õige 0^0 C juures. Temperatuuri tõusmisega suureneb hääle kiirus. Hääle levimiskiirus vedelais ja tahketes kehades on märksa suurem kui õhus. Nii näiteks on hääle kiirus vees 1450 $\frac{m}{sek}$, rauas 5100 $\frac{m}{sek}$ ja kuusepuus 5200 $\frac{m}{sek}$.

Hääl võib levida ainult elastses keskkonnas, näiteks õhus, vees, rauas jne. Harilikult kuuleme häält õhu kaudu. Kuid hääl võib levida ka teistes kehades, nagu vees, puus, rauas ja mujal. Ainult tühjas ruumis ei levi hääl. Seda selgitab järgmine katse.

Võtame elekterkõlistaja ja paneme ta õhupumba kupli alla (136. joon.). Paneme kõlistaja kõlisema. Hääl on hästi kuulda. Nüüd pumpame kupli alt õhku välja. Mida hõredamaks muutub kupli all olev õhk, seda tumedamaks läheb kõlin. On kuplialune õhust hästi tühjaks pumbatud, kaob kõlin peaaegu hoopis ära, sellele vaatamata, et vasar endiselt kõlistaja

pihta taob. See ja mitmed teised katsed näitavad, et hääle kuulmiseks on tarvis, et heliseva keha ja kuulja kõrva vahel oleks mingi aine, mis neid üksteisega seob, näiteks õhk. Tühjas ruumis häält ei ole.

1. Kui kaugele levib hääl õhus 3, 6, 10 sek., 10 min. jooksul?

2. Valguse kiirus on 300 000 $\frac{km}{sek}$. Võrdle seda hääle kiirusega!

3. Katsu mõõta hääle kiirust! Kaks vaatlejat asugu teineteisest 1 km kaugusele. Hääle ja valguse tekitajaks võib kasutada paukrevolvrit.

4. Mitu korda levib hääl vees (rauas, klaasis) kiiremini kui õhus?

5. Kui kaugel on pikne, kui müristamine kuuldub 6 sek. pärast välgulöömist?

6. Välk sähvatas 6 km kaugusel. Millal kuuldub müristamine?

7. Püssikuuli kiirus on umbes 500 $\frac{m}{sek}$. Kas jänes kuulis püssipauku, mille kuul tema silmapilkselt surmas?

8. Kuidas mõjub tuul hääle kiirusele? Kas oleneb hääle kiirus hääle kõrgusest?

9. Kas Kuu peal tekkinud plahvatuse mürin on kuulda Maa peal?

107. Hääle kõlavärv ehk tämbr. Hääli, milledel on muusikaline kõla, nagu viiuli, kandle, pasuna hääl, nimetatakse helideks ehk toonideks. Muusika teeb tegemist ainult helidega. Heli vastandeiks on müra, kära, mürin, kohin, krõbin jne. Siin pole võimalik märgata ühtegi kindlat, pikemat aega vältavat heli.



137. joon. Keele võnkumine osade kaupa.

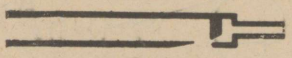
Samuti eristatakse hääli nende tugevuse järgi.

Peale kõrguse ja tugevuse erinevad hääled üksteisest veel oma kõlavärvi ehk tämbri poolest. Kõlavärvi põhjal tunnemegi inimesi häälest. Kõlavärvi selgitamiseks vaatleme keelte ja vilede helisemist. Keele võnkumist lähemalt uurides paneme tähele, et ta kinnitatud otsad püsivad paigal, keskkoht on aga tugevas võnkumises. Iga keele osake võngub seejuures risti keelega (transversaalne võnkumine). Niiviisi tekib keele põhitoon.

Kuid keel võib võnkuda ka osade kaupa. 137. joonis kujutab keele võnkumist neljas osas. Punktides *A*, *E*, *D*, *C* ja *B* on keele osad paigal, neid nimetatakse sõlmpunktideks, kuna kaks naaberosa võnguvad vastupidistes suundades. Punkte, mis seejuures võnguvad suurima amplituudiga, nimetatakse paispunktideks. Keelt võib panna võn-

kuma ka osade kaupa, kui puudutada võnkuvat keelt näpuga vastavast kohast. Võnkuvat keelt keskelt puudutades kustutame põhitooni, mille tõttu selgesti kuuldavale tuleb heli, mida annab keel võnkudes kahes osas. Helid, mis tekivad keele osade võnkumisel, on kõrgemad kui põhitoon, neid nimetatakse ülemtoonideks. Põhitooni annab võnkumine, mille puhul paispunkt asetseb keele keskel, kuna mõlemad sõlmpunktid on keele otstes. Põhitooni saadavad alati ülemtoonid.

Puhudes toru (katseklaasi, võtme, putke jne.) lahtise ava ees, kuuleme heli. Korrates seda mitmesuguste pikkustega torudega, leiame, et mida pikem on toru, seda madalam on heli.



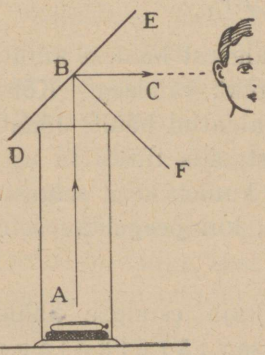
138. joon. Huulvile.

Kirjeldatud katseis ei helise torud, vaid torudes olevad õhusambad. Käega toru seinu katsudes ei märka me mingit liikumist.

Puhkpillides ehk viledes tekitatakse ei hääl sellega, et pannakse võnkuma neis olevad õhusambad.

Viledest on tähtsamad huul- ja keelvile. Oreli huulvilet kujutab 138. joonis. Puhumisel voolab õhk läbi kitsa pilu vastu teravaservalist huult, kus ta murdub. Osa õhuvoolust pääseb vile ava kaudu välja, teine osa panebki viletorus oleva õhu võnkuma.

Nagu keeltel, nii ka viledes esinevad peale põhitooni veel ülemtoonid. Hääle kõlavärv oleneb sellest, missugused kaashelid on põhitoonil.



139. joon. Hääle peegeldumine.

108. Hääle peegeldumine. Kaja. Mööda põrandapinda veerema pandud kummipall vastu seina põrgates liigub tagasi teatavas kindlas suunas. Katsu määrata katseist, missugune see on? Kuidas toimub palli tagasipõrkamine tennis-, koroona- ja piljardimängus? Kui veelained langevad vastu kindlat seina, siis heidab sein nad tagasi. Veelainete kohta öeldakse sel puhul: nad peegelduvad seinal tagasi. Samuti peegelduvad ka häälelained, kui nad langevad mingile kindlale müürile, metsaserva moodustavatele puudele jne. Seda järeldame nähtusest, et kui huigata kaugeloleva müüri või metsa ees, kostab hääl sealt **kajana** tagasi. Kaja on peegeldunud hääl.

Hääle levimissuuna muutumist võime kergesti tähele panna järgmises katses. Asetame lauale taskukella ja katame ta kõrge toruga (139. joon.). Kella tiksumise hääl tungib vabalt üles suunas *AB*. Rõhtsuunas eemal pole tiksumist kuulda.

Asetame toru avause kohale joonisel kujutatud viisil mõne tasase sileda pinna, näiteks raamatu, tahvli, lauatüki; nimetame seda peegliks. Nüüd võime kuulda taskukella tiksumist ka torust eemal rõhtsuunas *BC*.



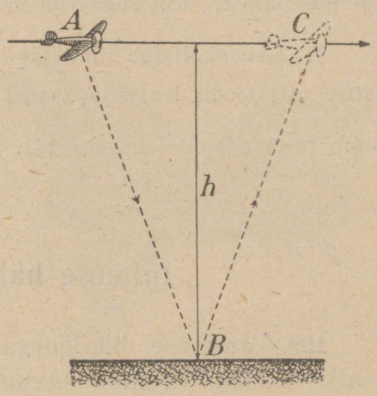
140. joon. Kõnetoru.

Häälelained, põrgates vastu peeglit *DE*, muudavad oma levimissuunda ehk peegelduvad. Katsed näitavad, et hääle peegeldumine toimub samal viisil kui kummipalligi puhul, s. o. langemissuund ja peegeldumissuund moodustavad peegli tasapinnale langemispunktis *B* tõmmatud ristjoonega *BF* võrdsed nurgad *ABF* ja *CBF*.

Peegeldunud häält võib meie kõrv esialgsest häälest ainult siis eraldada, kui nende vahel on küllalt pikk vaheaeg. Kõrv võib ühes sekundis tajuda kuni üheksa eraldatud häält. Jõuab kaja tagasi vähem kui $^1/_9$ sekundi pärast, siis liitub ta esialgse häälega. Siit järgneb, et meie kõrv kuuleb kaja selgesti ja eraldatult esialgsest häälest ainult siis, kui peegeldav sein asetseb enam kui 20 m kaugusel.

Väiksema kauguse puhul kuuleme kaja esialgse hääle pikendusena. Niisugust kaja nimetatakse järelkõlaks (vastukõla). Kinnises ruumis liitub kaja otsekohe esialgse häälega, mistõttu see muutub kõvemaks. Võrdle tasast kõnet kinnises ruumis ja väljas! Kus kohal on see paremini kuuldav? Suurtes ruumides, nagu näit. kirikutes, jõuab vastukaja hiljemini tagasi, mistõttu hääl muutub segaseks (segav vastukõla tühjades kirikutes).

Kui ruumis on järelkõla tõttu hääl segane, siis öeldakse: ruumil on halb akustika. Kaja segavat mõju võib tunduvalt vähendada ruumi otstarbeka ehituse teel. Sageli kaetakse seinad seks otstarbeks häält summutavate eesriietega, sest tähelepanekud näitavad, et kõva pind, näit. puu, kivimüür, kalju jne., peegeldavad hääleenergiat rohkem tagasi kui pehme pind, näit. riie.



141. joon. Lennuki kajaloodi skeem.

Kui peegeldav sein või müür on hääleallikast teadmata kaugusel, siis võib seda kaugust määrata, mõõtes ajavahemikku, mida tarvitab hääl sinna ja tagasi jõudmiseks.

Kirjeldatud nähtusel põhineb nn. kajalood meresügavuse ja lennuki kõrguse määramiseks. Laevapõhjas on hääleallikas, millelt levib hääl mere põhjani, kust ta tagasi peegeldub. Seks kulunud ajavahemiku märgib aparaat automaatselt üles. Nii leitud ajavahemikust ja hääle kiirusest arvutatakse meresügavus. Samuti toimub lennuki kõrguse määramine.

Hääle peegeldumise nähtusel põhinevad **kõne-** ja **kuuldetoru.** Kõnetorus muutuvad häälelained peegeldumise teel toru seintel peaaegu ühesuunalisteks, mistõttu hääleenergia hajumine on väike, sest kuuldetorru sattunud häälelained peegeldumisel toru seintel koonduvad ja seetõttu satub kõrva rohkem hääleenergiat.

1. Kus kasutatakse kõne- ja kuuldetorusid?
2. Mägedes on kaja sageli mitmekordne. Kuidas seda nähtust seletada?
3. Miks on inimestega täidetud saalis kõne selgemini kuuldav kui tühjas?
4. Kui kaugel on metsaserv, kui kaja kostab sealt tagasi 3 sek. pärast?

5. Millal on oodata kaja, kui metsaserv on hääleallikast 500 m kaugusel?

6. Merepinnal tekitatud plahvatuse hääl kostab merepõhjast tagasi 1,5 sek. pärast. Kui sügav on meri sealt kohalt?

7. Lennuk liigub rõhtsihis kiirusega 85 $\frac{m}{sek}$. Kajaloodi abil tekitatud hääl jõudis lennukile tagasi 5 sek. pärast. Kui kõrgel lendab lennuk? (Lahendamisel kasuta 141. joon. Hääle kiirus on 340 $\frac{m}{sek}$).

Inimese hääl ja kuulmine.

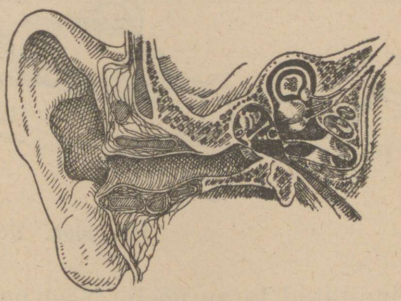
109. Inimese hääleorgan. Inimese hääleorgani tähtsamaiks osadeks on kaks vetruvat lihast, mida nimetatakse häälepaelteks. Harilikus olekus on häälepaelad lõdvad, seetõttu pääseb neist sisse- ja väljahingatav õhk vabalt läbi, häält tegemata. Rääkimise või laulmise puhul tõmbuvad häälepaelad pingule ja liginevad teineteisele, nõnda et nende vahele jääb ainult kitsas häälepilu. Nende vahelt läbiminev õhk paneb häälepaelad võnkuma. Häälepaelte võnkumine andub edasi ninas, suus, kurgus, hingelõõris ja rinnakastis olevale õhule, ka seda võnkuma pannes. Hääle kõrgus oleneb esijoones häälepaelte pingulolekust, mida võib teatavais piires muuta, samuti ka häälepaelte ehitusest (mehe hääl, lapse hääl). Hääle kõlavärv oleneb sellest, kuidas võngub kaasa hääleorganites olev õhk. Keele, hammaste ja huulte abil võib hääle kõlavärvi muuta. Et igal inimesel on hääleorganid isesugused, sellest tulebki, et igal inimesel on erisugune hääle kõlavärv.

110. Kõrv ja kuulmine. Inimese kuulmisorganiks on kõrv. Kõrv koosneb kolmest osast: välis-, kesk- ja sisekõrvast. Väliskõrva moodustab kõrvaleht ühes kuulmekäiguga.

Mis ülesanne on kõrvalehel? Suru kuulates kõrvalehed vastu pead! Pööra nad ettepoole! Hoia peopesad kõrvalehtede kõrval! Kata kuulmekäigu avaused peopesadega! Kuidas muutub hääletugevus?

Kuulmekäigu seintes asetsevate näärmete poolt eritatav kõrvavaik ja käigu alguses olevad karvakesed takistavad tolmu tungimist sügavamale kuulmekäiku.

Kuulmekäik lõpeb kuulmenahaga, mis lahutab väliskõrva keskkõrvast. Keskkõrv asetseb pealuu paksemas osas — oimuluus. Keskkõrvas asetsevad kuulmeluukesed — vasar, alasi ja jalus. Nad on omavahel ühendatud.



142. joon. Kõrva läbilõik.

Vasar kinnitub kuulmenaha külge, jalus toetub vastu sisekõrva viivat piklikku akent.

Sule suu ja pigista sõrmedega nina kinni! Tee katset välja hingata! Mida tunned?

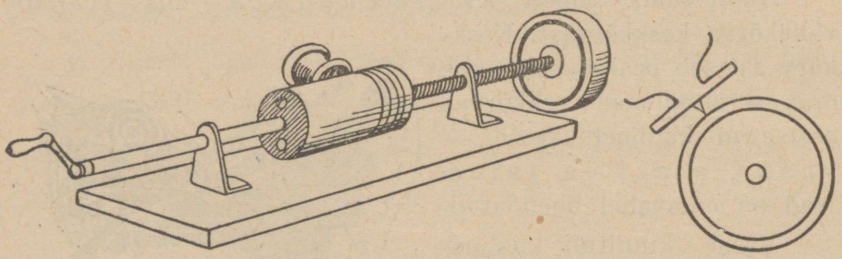
Keskkõrv on torukese abil kurguga ühendatud. Seetõttu võrdub õhurõhumine keskkõrvas õhu välisrõhumisega. Nohu korral on toruke sagedasti kinni (ummistunud). Siis kuuleme halvemini. Valjude paukude puhul tuleb suu lahti hoida. Mispärast?

Keskkõrvale järgneb keerulise ehitusega sisekõrv. See on täidetud kuulmevedelikuga, milles lõpeb kuulmeerk.

Häälelained tungivad väliskõrva kaudu kuulmenahani ja panevad ta võnkuma. Kuulmeluukesed annavad kuulmenaha võnkumisi edasi sisekõrva vedelikule. Selle laineline liikumine ärritab kuulmeergu otsakesi. Kuulmeerk annab ärrituse edasi peaajule — ja meie kuuleme häält.

Mitte kõiki võnkumisi ei taju meie kõrv häälena. Võnkumised, millede võnkearv on alla 20 ja rohkem kui 20 000, pole kõrvale enam tajutavad, s. o. kuuldavad. Ülemine kuulmise piir vanadusega väheneb ja tavaliselt vanemad inimesed ei kuule häält, mille võnkearv on üle 13 000. Kõne peensuste edasiandmisel on tarvilikud võnkumised 50—5000 võnku 1 sek.

111. Fonograaf ja grammofon. Th. A. Edisoni leiutatud fonograaf on riist, mille abil saab häält üles kirjutada. Tema peaosaks on õhuke, hästi vetruv plaat, mille keskele on



143. joon. Fonograaf.

kinnitatud terav nõel. Nõel puudutab pöörlevat ja ühtlasi ka edasiliikuvat, sellekohasest pehmest materjalist tehtud silindrit (rulli). Üleskirjutatava hääle lained panevad plaadi võnkuma ja nõela ots tõmbab silindrisse soonekese, mille muutlik sügavus vastab plaadi võnkumistele. Tahame teada, mis on silindrile kirjutatud, siis paneme nõelaotsa kratsitud jälje sisse ja ajame silindrit ümber. Nüüd jälgib nõel kratsitud soonekest ja paneb plaadi võnkuma just niisama, kui üleskirjutatava hääle mõjul. Plaadi võnkumised tekitavad õhus häälelained, mida me kõrva abil vastu võtame.



144. joon. Osa grammofoniplaadist, suurendatud.

Üleskirjutatud hääle kuuldavale toomiseks korraldatud riista kutsutakse **grammofoniks.** Grammofonis liigub grammofoninõel nn. grammofoniplaadi lainelisel soonekesel. Grammofoniplaat on kettakujuline ja see pannakse kellamehhanismi abil pöörlema plaadi keskelt läbimineva telje ümber. Nüüdisaegse grammofoniplaadi sooneke liigutab nõela mitte üles-alla, vaid plaadi soone suhtes kahele poole kõrvale, kuna soonekese sügavus on

muutumatu. See nõela liikumine (võnkumine) antakse telje ümber pöörduva kangikese abil plaadile, mis omakorda annab selle võnkumise edasi õhule. Et võnkuv plaat annaks võimalikult palju energiat õhule, seks on ta ühendatud kõnetorutaolise seadeldisega. Uuemais grammofonides on see toru ühes muu mehhanismiga peidetud ühisesse kasti.

1. Vaatle luubiga grammofoniplaadi soonekest!
2. Miks tuleb vahetada grammofoninõelu?
3. Kuidas seletada raginat vanade grammofoniplaatide tarvitamisel?

Valgus.

Valguse levimine.

112. Valgusallikad. Tähtsamaks valgusallikaks on Päike. Sageli tarvitatakse kunstlikke valgusallikaid, nagu petrooleumi-, gaasi-, elektrilampe jm.

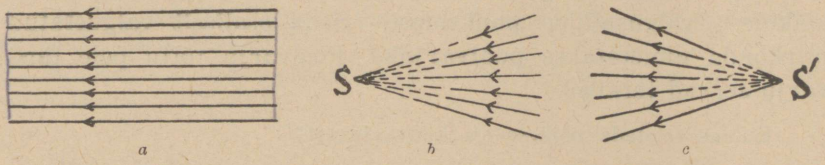
Kehi, mis iseenesest valgust annavad, nagu Päike, hõõguvad ja põlevad kehad, nimetatakse **isehelendavaiks.** Seevastu kehi, mis nähtavaks muutuvad siis, kui neile langeb valgus teistelt kehadelt, nimetatakse **tumedateks** kehadeks, nagu toas olev mööbel, Kuu, planeedid.

Kehad muutuvad isehelendavaiks, kui neid kuumendada kõrge temperatuurini. Kuid on olemas ka isehelendavaid kehi, milledel on madal temperatuur, nagu jaaniuss, kõdunev puu.

Kehi, mis valgust läbi lasevad, nimet. **läbipaistvateks,** nagu õhk, klaas, vesi jne. Kehad, mis valgust läbi ei lase, on **läbipaistmatud,** nagu nõgi, puu, kivi, raud jne. Hästi õhukese kihina on iga keha enam-vähem läbipaistev.

113. Valguse levimine ja levimiskiirus. Lamp põleb laual ja valgustab tervet tuba. Samuti valgustab Päike poolt Maakera korraga. On valgusallika ümber läbipaistev **keskkond,** nagu näit. õhk, siis levib temas valgus valgusallikast igas suunas. Ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt, sest me ei näe asju, mis on maja nurga taga, niisama ka läbi kõvera toru. Valguse sirgjooneline levimine tuleb nähtavale ka, kui päike paistab tuppa, kus on tolmu või suitsu. Sirgjoont, mille suunas valgus levib, nimet. **valguskiireks.** Kogu valguskiiri moodustab **kiirtekimbu.** Joon. 145 *a* kujutab paral-

leelset, joon. 145 *b* koonduvat ja joon. 145 *c* hajuvat kiirtekimpu. Punkte *S* ja *S'* kutsutakse koonduva ja vastavalt hajuva kiirtekimbu tipuks. Iga helendava ja valgustatud keha punkt saadab välja hajuva kimbu valguskiiri, mistõttu ta muutub nähtavaks.

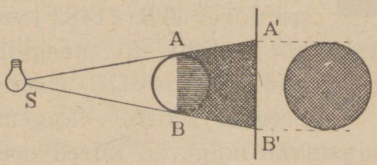


145. joon. Kiirte kimbud: *a* — paralleelne, *b* — koonduv, *c* — hajuv.

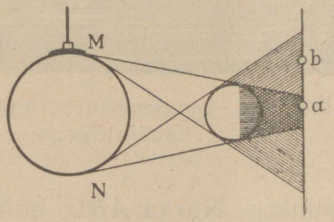
Igapäevaseist tähelepanekuist teame, et kui samal ajal tekivad hääle ja valguse nähtused, näit. müristamine ja välk, püssipauk ja suitsu ilmumine, siis kaugelt tähele pannes näeme valgust enne kui kuuleme häält. Sellest järeldame, et valguse levimiskiirus on hääle omast märksa suurem. Täpsed mõõtmised näitavad, et valguse **levimiskiirus** on **300 000** kilomeetrit ühes sekundis.

Päike on Maakerast 150 miljoni kilomeetri kaugusel, seetõttu tarvitab valgus Päikeselt meieni jõudmiseks umbes $8\frac{1}{3}$ minutit.

1. Kuu on Maakerast 384 000 kilomeetri kaugusel. Mitu sekundit tarvitab valgus sinnajõudmiseks?
2. Kui kaugel on meist kinnistäht, millest jõuab valgus meieni 100 aasta kestel?
3. Mitu korda on valguse kiirus suurem kui hääle kiirus?
4. Mitu korda jõuaks valgus 1 sekundi kestel ümber Maakera käia?



146. joon. Täisvari.



147. joon. Pool- ja täisvari.

114. Vari. Valguse sirgjooneline levimine põhjustab **varju** tekkimise läbipaistmatu keha taha. Varju saame jälgida pare-

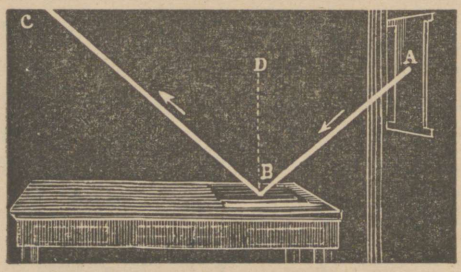
mini, kui juhime ta valgele ekraanile. On valgusallikas punktikujuline, siis on varju servad teravad, üleminek valgustatud piirkonnast varju on järsk. Et sel puhul varju piirkonda ei pääse ükski valguskiir, siis nimetatakse seda varju **täisvarjuks.** Suurema pinnaga valgusallika puhul on täisvari keskel, teda ümbritseb piirkond, kuhu osaliselt pääseb valguskiiri, seega mitte kõikidest valgusallika punktidest. Seda osaliselt valgustatud piirkonda nimetatakse **poolvarjuks.** Poolvarju tõttu pole täisvarju servad teravad.

Kuidas seletada päikese- ja kuuvarjutust?

Valguse peegeldumine.

115. Peegeldumisseadused. Hästi sileda pinnaga keha, mis valgust tagasi heidab, nimetatakse **peegliks.** Lihvitud tasapinnaga peeglit nimetatakse tasapeegliks, kõverpinnaga peeglit — kõverpeegliks.

Laseme läbi kitsa pilu päikese või mõne teise tugeva valgusallika kiirte kimbul langeda peeglile, siis näeme, et kiired muudavad oma sihti peeglis, nad peegelduvad tagasi. Valguskiired teeme nähtavaks suitsu või papptahvli abil, mille asetame kaldu peeglipinnale, nii et valguskiired libiseksid mööda papi pinda. Olgu seejuures *AB* (148. joon.) **langev kiir,** *BC* **peegeldunud kiir** ja *DB* **ristjoon** peeglile kiire langemispunktis. Nurka *ABD,* mille moodustavad langevad kiired peegli ristjoonega, nimetatakse **langemisnurgaks**; nurka *DBC,* mille moodustavad peegeldunud kiired sama ristjoonega — **peegeldumisnurgaks.** Katsed näitavad, et valguse peegeldumisel: 1) langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga ja

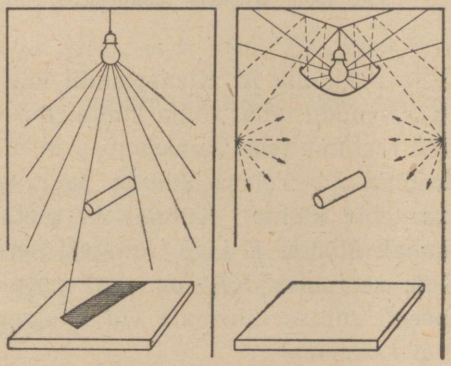


148. joon. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

2) langev kiir, peegeldunud kiir ning ristjoon peeglile kiire langemispunktis on ühes ja samas tasapinnas.

1. Kui langemisnurk on 10^0, 20^0, 40^0, kui suur on siis peegeldumisnurk?
2. Valgus langeb peeglile risti. Kuidas peegeldub ta siis tagasi?
3. Tasapeeglile langevad paralleelsed kiired. On need paralleelsed ka pärast peegeldumist?
4. Kui suur peab olema langemisnurk, kui tarvis on valgust 80^0 võrra kõrvale juhtida?

116. Valguse peegeldumine ja hajumine. Harilikult on kehade pind mitte sile, vaid kare. Kare pind koosneb üksikutest väga väikestest siledatest pinnaosakestest. Iga pinnaosake mõjub kui tasapeegel. Et need peeglikesed on asetatud ruumis igaüks eri suunas, siis peegeldavad nad ka nendele langeva valguse igas suunas laiali. Seepärast ei anna karedad asjad mingit kujutust, vaid **hajutavad** valgust. Hajunud valgus võimaldab meile ümberolevate asjade nägemist. Samuti teeb hajunud valgus toa valgeks, kui päikesekiired otseselt tuppa ei lange.



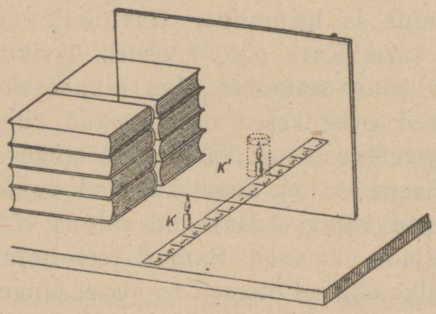
149. joon. Otsene ja kaudne valgustus.

Mitmesugused pinnad peegeldavad tagasi neile langenud valgust mitmesugusel määral. Näiteks valge paber ja valgeks värvitud lagi peegeldavad tagasi üle 70% neile langenud valgusest, kuna seevastu must tahmatud pind peegeldab tagasi temale langenud valgusest väga väikese osa. Hall pind jälle peegeldab tagasi rohkem kui must pind, aga vähem kui valge pind. Alati neelab ehk absorbeerib osa mõnele kehale langenud valgusest selle keha pind.

Valguse hajumine peegeldumisel etendab tähtsat osa ruumide valgustamisel. Toas olevat töölauda valgustab otseselt lam-

bilt või päikeselt tulnud valgus (otsene valgustus) ja laes ning seintel peegeldunud valgus (kaudne valgustus). Kaudse valgustuse suurendamiseks värvitakse toalagi valgeks. Sageli juhitakse kõik valgus lambilt lakke ja seal peegeldunud valgus valgustabki tuba. Niisuguse täieliku kaudse valgustuse puhul puuduvad toas teravad varjud (149. joon.).

117. Kujutis tasapeeglis. Peegli ees seistes näeme end peeglis. Meie näost väljunud kiired peegelduvad peegli pinnal ja annavad **kujutise**, mis näiliselt asetseb peegli taga. Kui kaugel on kujutis peeglist, selle leidmiseks korraldame järgmise katse (150. joon.).



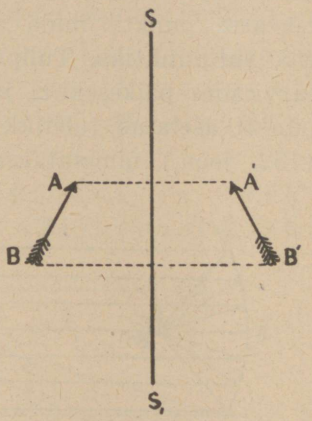
150. joon. Kujutis tasapeeglis.

Asetame mõõtpaela (pabeririba cm-jaotistega) lauale. Risti mõõtpaelaga seame ta keskkohale tasase klaasplaadi. Klaasplaadi ette mõõtpaela kõrvale asetame põleva küünla *K*. Klaasplaadil näeme siis küünla leegi kujutist. Klaasruudu taha, sinna kohta, kus näib olevat küünlaleegi kujutis, asetame teise samasuguse ja niisama pika, kuid mittepõleva küünla *K'*. Põleva küünla poolt vaadates näeme, nagu põleks ka teine küünal. Küünal *K'* asetseb seega küünla *K* kujutise kohal. Mõõtes *K* ja *K'* kaugusi peeglist näeme, et need on võrdsed, seejuures *KK'* on risti peegli tasapinnaga. Nihutades *K* peegli suhtes lähemale või kaugemale, nihkub ka *K'* lähemale või kaugemale.

Tasapeegli ees oleva küünlaleegi kujutis tasapeeglis on niisama kaugel peegli taga kui küünlaleek peegli ees ja mõlemad asetsevad sirgel, mis on risti peeglipinnaga. Seega ese ja ta kujutis on sümmeetrilised tasapeegli suhtes.

Kujutis tasapeeglis asetseb ainult näiliselt peegli taga, tõeliselt ei pääse sinna ükski valguskiir. Kujutise näilises asukohas lõikuvad ainult peeglil peegeldunud kiirte pikendused. Niisugust näilist kujutist nimetatakse **ebakujutiseks.**

Asetseb peegli ees mitte punktikujuline valgusallikas, vaid ulatusega ese, näit. nool (151. joon.), ruumiline keha jne., siis selle iga punkti kujutis asetseb peegli taga, seega ka kogu kujutis. Keha ja selle kujutise sümmeetria tõttu on kujutisel kehaga võrreldes parem ja vasem pool ümber vahetatud. Kirjutatud kirja tuleb tasapinnalises peeglis lugeda seega paremalt poolt vasemale (peegelpilt). Kujutise suurus on seejuures võrdne peegli ees oleva kehaga.



151. joon. Noole kujutis tasapeeglis.

1. Kui kaugel on kujutis vaatlejast, kui vaatleja on peeglist 75 cm kaugusel?

2. Tasapeegel nihutatakse vaatlejast 15 cm võrra kaugemale. Kui palju kaugenes kujutis vaatlejast?

3. Kas on võimalik peeglit nii seada, et A näeks B-d, kuid B ei näe A-d?

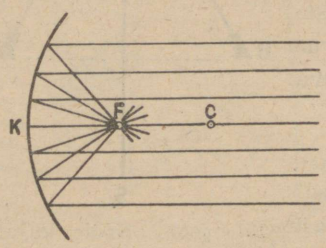
4. Aseta kahe paralleelse peegli vahele küünlaleek. Mitu kujutist tekib sellest peeglites?

118. Kõverpinnalised peeglid. Kõverpinnalistest peeglitest on eriti tähtsad kerapinnalised ehk sfäärilised peeglid, s. o. peeglid, millede lihvitud peeglipinnad moodustavad osa kerapinnast. Nõguspeeglil on peeglipinnaks kera sisepind, kumerpeeglil — kera välispind.

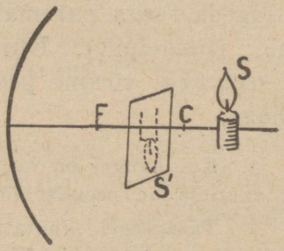
119. Nõguspeegel. Nõguspeegli keskpunkti nimetatakse peegli keskpunktiks ehk lagipunktiks, peeglipinda moodustava kerapinna keskpunkti, mis asetseb väljaspool peeglipinda, nimetatakse kõveruse keskpunktiks, kerapinna raadiust kõveruse raadiuseks. Sirget, mis ühendab nõguspeegli lagipunkti kerapinna kõveruse keskpunktiga, nimetatakse nõguspeegli optiliseks teljeks. Selge on, et kiir,

mis langeb nõguspeeglile optilise telje või kõveruse raadiuse suunas, peegeldub samas sihis tagasi, sest raadius on alati risti kerapinnaga.

Langeb paralleelne kiirtekimp nõguspeeglile rööbiti optilise teljega, siis peegelduvad kiired ja koonduvad, nagu seda võib suitsu või tolmu abil kergesti nähtavaks teha, optilisel teljel olevasse punkti, mida nimetatakse nõguspeegli **peafookuseks** ehk **tulipunktiks.** Tulipunktiks nimetatakse teda seepärast, et tarvitades päikesekiiri ja suurema pinnaga peeglit süttib tulipunkti asetatud tuletikk või paber. Selle kaugust *FK* peeglist (152. joon.) nimetatakse tulipunkti kauguseks. Selle-



152. joon. Nõguspeegli tulipunkt (*F*) ja lagipunkt (*K*).



153. joon. Küünla leegi kujutis nõguspeeglis.

kohased mõõtmised näitavad, et tulipunkti kaugus on võrdne kõveruse raadiuse poolega. Kokkuvõttes seega: optilise teljega paralleelsed kiired pärast peegeldumist nõguspeeglil koonduvad tulipunkti, mis asetseb peeglist poole kõveruse raadiuse kaugusel. Et valguskiire peegeldumisel on langemisnurk võrdne peegeldumisnurgaga, siis kiir, mis langeb peeglile peegeldunud kiire sihis, peegeldub tagasi ka langenud kiire sihis. Seega valguskiire käik on ümberpööratav (valguskiire ümberpööratavuse printsiip). Sellest valguskiirte käigu ümberpööratavuse printsiibist järgneb, et tulipunktis olevast punktikujulisest valgusallikast väljunud kiired pärast peegeldumist nõguspeeglil on paralleelsed optilise teljega.

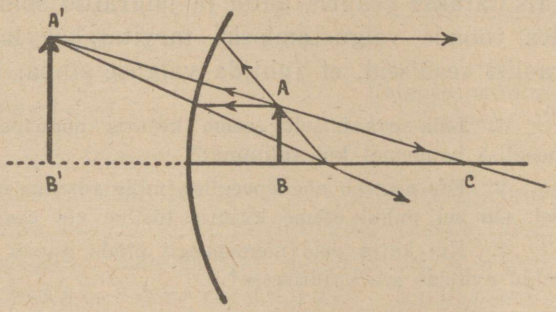
Võtame põleva küünla *S* ja asetame ta nõguspeegli ette väljaspool keskpunkti *C* (153. joon.). Tulipunkti *F* ja keskpunkti

C vahel väikest ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünla kujutise. Selles kujutises lõikuvad tõepoolest valguskiired, mistõttu on võimalik teda näha ekraanil. Seepärast nimetatakse seda kujutist tõeliseks. Antud juhul on kujutis veel vähendatud ja ümberpööratud.

Küünalt peeglist mitmesuguses kauguses hoides ja alati vastavat kujutise suurust ja asendit tähele pannes leiame:

1) Kui ese asetseb väljaspool keskpunkti, siis on kujutis tulipunkti ja keskpunkti vahel; ta on tõeline, ümberpööratud ja vähendatud.

2) Kui ese asetseb tulipunkti ja keskpunkti vahel, siis on kujutis väljaspool keskpunkti; ta on tõeline, ümberpööratud ja suurendatud.



154. joon. Kujutise graafiline leidmine nõguspeeglis.

3) Tulipunkti ja peegli vahele paigutatud ese annab päripidise suurendatud ebakujutise. Viimasel juhul valguskiired pärast peegeldumist ei koondugi, vaid nende pikendused lõikuvad peegli taga, kus ongi eseme ebakujutis.

Eelmise põhjal on meil teada kolme valguspunktist lähtuva kiire suund pärast peegeldumist nõguspeeglis, nimelt: 1) optilise teljega paralleelne kiir, mis läheb pärast peegeldumist läbi tulipunkti *F*; 2) läbi tulipunkti minev kiir, mis on pärast peegeldumist paralleelne optilise teljega, ja 3) kiir, mis langeb nõguspeeglile kõveruse raadiuse sihis, s. o. läbi kõveruse keskpunkti. See peegeldub samas sihis tagasi. Et kõik ühest valguspunktist lähtuvad kiired või nende pikendused pärast peegeldumist koonduvad ühte punkti, siis antud valguspunkti leidmiseks on tarvis

leida ainult kahe kiire lõikepunkt. Valides neist kolmest kaks kiirt võime kergesti leida iga valguspunkti kujutise graafiliselt, üksikute punktide abil aga kogu eseme kujutise. Näiteks noolekujulise eseme kujutise leidmiseks on küllalt, kui leida kahe äärmise punkti *A* ja *B* kujutised.

Suuri nõguspeegleid tarvitatakse prožektoreis ehk helgiheitjais. Siin asetatakse nõguspeegli tulipunkti tugev valgusallikas, mistõttu peeglil peegeldunud kiired on ligikaudu paralleelsed ega haju. Prožektoreid kasutatakse tuletornides, laevadel ja mujal, kus tahetakse juhtida valgust kauge maa taha. Siin tarvitatakse tugevaid elektrivalgusallikaid. Eriti tugevaid valgusallikaid kasutatakse prožektoreis, mida tarvitatakse sõjaväes vaenlase lennukite otsimisel. Väiksemaid prožektoreid tarvitatakse veduril, autol ja jalgrattal sõidutee valgustamiseks. Ka tubade valgustamiseks tarvitatakse lampidel nõguspeeglitaolisi seadiseid, et juhtida valgust sinna, kuhu tarvis.

1. Leia graafiliselt eseme kujutis nõguspeeglis, kui ese asetseb peeglist kaugemal kui tulipunkt?

2. Ese asetseb nõguspeeglist, mille raadius on 25 cm, 20 cm kaugusel. On sel puhul eseme kujutis tõeline või ebakujutis?

3. Kui katta pool nõguspeegli pinda musta paberiga kinni, millist mõju avaldab see kujutisesse?

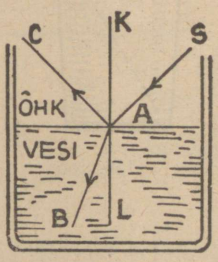
Valguse murdumine.

(13)

120. Murdumisseadused. Juhime pimedas toas õhust kaldu veepinnale peenikese paralleelkiirte kimbu *SA* (155. joon.). Osa kiiri, jõudes veepinnani langemispunktis *A*, peegeldub veepinnal peegeldumisseaduste järgi ja läheb suunas *AC* endisse keskkonda, s. o. õhku tagasi. Teine osa kiiri antud kimbust *SA* tungib langemispunktis *A* uude läbipaistvasse keskkonda, s. o. vette, ja läheb seal edasi suunas *AB*, mis endisest suunast *SA* märksa erineb. Suuna muutumine ehk murdumine toimub langemispunktis *A* kahe keskkonna, antud juhul õhu ja vee lahutuspinnal. Nähtust, kus valguskiired ühest läbipaistvast keskkonnast teise tungides muudavad keskkondade lahu-

tuspinnal oma esialgset suunda, nimetatakse **valguse murdumiseks.** Kiirt *SA* nimetatakse **langevaks,** kiirt *AB* **murdunud kiireks.** Tõmbame keskkondade lahutuspinnale langemispunktis *A* ristjoone *KL.* Nurki *SAK* ja *BAL,* mis moodustavad ristjoon *KL,* langev kiir *SA* ja murdunud kiir *AB,* nimetatakse vastavalt **langemis- ja murdumisnurgaks.**

Katsed näitavad, et valguskiire üleminekul õhust vette on langemisnurk suurem kui murdumisnurk. Sel puhul öeldakse, et vesi on optiliselt tihedam kui õhk. Üldiselt kehtib seadus: valguse murdumisel optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda minemisel on murdumisnurk väiksem kui langemisnurk ja murdunud kiir läheneb ristjoonele.



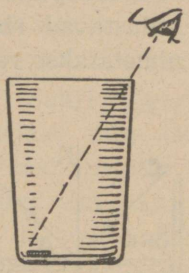
155. joon. Valguse murdumine.

Nagu peegeldumisel, samuti ka murdumisel kehtib ümberpööratavuse lause, s. o. kui murdumisnurk võtta langemisnurgaks, siis on murdumisnurgale vastav langemisnurk murdumisnurgaks. Selle põhjal võime öelda, et optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda minnes, näit. veest või klaasist õhku, on murdumisnurk langemisnurgast suurem ja murdunud kiir läheb ristjoonest kaugemale.

Vastavad katsed näitavad, et langev kiir ja murdunud kiir on langemispunktis lahutuspinnale tõmmatud ristjoonega ühel ja samal tasapinnal.

Kahe antud keskkonna suhtes on langemis- ja murdumisnurgad üksteisega kindlasti seotud. Näiteks kui suureneb langemisnurk, siis, nagu eespool nägime, suureneb ka murdumisnurk, seejuures üleminekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda on alati murdumisnurk väiksem kui langemisnurk.

Valguse murdumisega seletuvad mitmed nähtused: kaldu vette pistetud kepp näib veepinnal murtuna, veega täidetud ämbri põhi kõrgemal kui ta tõepoolest on, jne.



156. joon.

Viimast nähtust selgitab ka järgmine katse. Paneme tühja teeklaasi põhja mingi väikese asja, näiteks 10-pennise raha. Asetame silma nõnda, et me raha otseselt ei näeks — ta jääb klaasi ääre taha (156. joon.). Klaasi vett valades hakkab raha varsti paistma. Ta on ühes põhjaga nagu üles kerkinud. Tõepoolest aga ei näe me siin raha otseselt, vaid tema kujutist kiirte murdumise tõttu veest õhku tulekul.

1. Mispärast läbi aknaklaasi vaadates mõnikord asjad paistavad moonutatud kujul?
2. Kas on läbi aknaklaasi nähtavad asjad kõik tõepoolest selles suunas, milles nad paistavad?
3. Kuidas peab sihtima, kui tahetakse püssiga lasta kala vees?

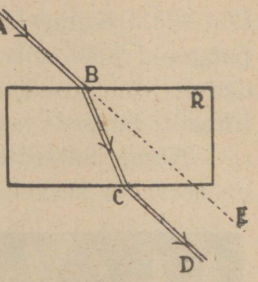
Ebaühtlase tihedusega keskkonnas murdub valguskiir pidevalt, seetõttu muutub ta kõveraks. Niisugune nähtus esineb näiteks ebaühtlases soolalahuses, ebaühtlaselt soojendatud õhus jne.

Viimase nähtusega on seletatav ka näit. õhuvirvendus päikesest kuumendatud maapinna ja katuse kohal.

121. Tasaparalleelne plaat on läbipaistev keha, millel on kaks paralleelset välispinda. Langeb valguskiir säärasele plaadile, siis üleminekul õhust klaasi murdub ta ristjoonele lähemale. Klaasist välja minnes murdub ta ristjoonest eemale. Seega on ta suund nüüd paralleelne suunaga, mis tal oli enne klaasi läbimist, kuid ta on pisut kõrvale nihkunud. See kõrvalenihkumine on seda suurem, mida paksem on plaat ja mida rohkem kaldu langevad valguskiired plaadile. Läbi säärase plaadi vaadates näivad kõik esemed olevat pisut nihkunud.

1. Kui suur on nihe, kui valguskiired langevad plaadile risti?
2. Kuidas murduvad valguskiired, kui nad läbivad mitu tasaparalleelset plaati?
3. Miks läbi tuhmklaasi pole midagi näha?

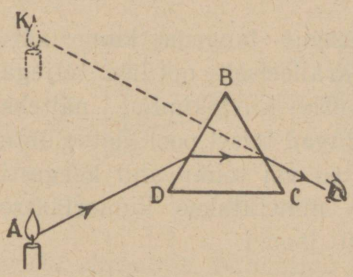
Valguskiirte kõrvalekaldumist murdumisel klaasplaadis on kerge määrata nööpnõela viisi abil. Asetame klaasplaadi lauale valgele paberile (157. joon.). Pistame punktides *A* ja *B* lauasse nööpnõela. Vaatame nüüd, mis suunas paistavad need nööpnõelad läbi plaadi. Selle suuna märgime jällegi kahe nööpnõela abil (*C* ja *D*). Nüüd tõmbame plaadi äärtest paberile jooned, samuti sirged läbi nööpnõelte pistekohtade (*A* ja *B*; *C* ja *D*). Sirgete *AB* ja *CD* lõikepunktid plaadi äärjoontega (*B* ja *C*) ühendame sirgega. Sel teel saame kiire *AB* tee murdumisel plaadis (*BC*) ja pärast murdumist (*CD*).



Võrdle suunda *AB* suunaga *CD*!

157. joon. Murdumine tasaparalleelses plaadis.

122. Prisma. Optiliseks prismaks nimetatakse läbipaistvat keha, mis on piiratud kahest küljest lõikuvate tasapindadega. Joon. 158 kujutab niisugust klaasprismat läbilõikes. Nurka *B*, mis on moodustatud lõikuvate tasapindadega, nimetatakse **murdjanurgaks.** Murdjanurga vastas olevat prisma külge kutsutakse **aluseks.** Katsed näitavad, nagu joon. 158 näha, et prismat läbivad kiired kalduvad prisma aluse poole. Järelikult, vaadates läbi niisuguse prisma valguspunkti *A*, paistab see meile murdjanurga poole tõstetuna. Samuti näitavad katsed ka, et mida suurem on murdjanurk, seda suurem on kiire kõrvalekaldumine oma esialgsest suunast.



158. joon. Valguse murdumine prismas.

1. Kas koonduvad kiired jäävad koonduvaiks, kui nad läbivad tasaparalleelse plaadi?

2. Klaas on läbipaistev. Klaasitolm on valge. Kui klaasitolmu peale kallata bensooli, mille murdumisnäitaja on ligikaudu niisama suur kui klaasil, siis muutub klaasitolm läbipaistvaks. Kuidas seda nähtust seletada? Miks on klaasitolm valge?

3. Miks muutub liiv tumedamaks, kui teda märjaks teha?

Optilised läätsed.

123. Kumerlääts. Optilisteks läätsedeks nimetatakse läbipaistvaid kehi, mis piiratud kerapindadega. Üht neist kerapindadest võib asendada ka tasapind. Kõik optilised läätsed ehk lihtsalt läätsed jagatakse **kumer-** ja **nõguslääts**edeks.

Kumerläätsed on keskelt paksemad kui äärest, nõguslääts on seevastu keskelt õhemad, äärest paksemad. Kumerlääts võib olla kaksikkumer, tasakumer või nõguskumer. Vastavalt sellele eristatakse kaksiknõgusaid, tasanõgusaid ja kumernõgusaid läätsi.

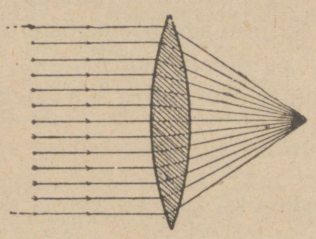


1 2 3 4 5 6

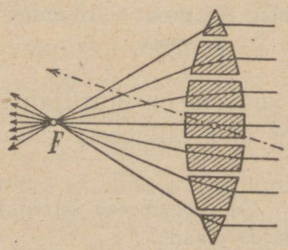
159. joon. Optilised läätsed läbilõikes. 1 — kaksikkumer, 2 — tasakumer, 3 — nõguskumer, 4 — kaksiknõgus, 5 — tasanõgus, 6 — kumernõgus lääts.

Sirget, mis ühendab mõlema kerapinna kõveruse keskpunkte ja mis läbib ka läätse keskpunkti, nimetatakse läätse **optiliseks teljeks.**

Laseme langeda kumerläätsele paralleelselt optilise teljega paralleelse kiirtekimbu, näiteks kimbu päikesekiiri. Need kiired koonduvad teisel pool läätse ühte punkti optilisel teljel, nagu seda suitsu või tolmu abil kergesti võib nähtavaks teha. Seda punkti nimetatakse kumerläätse **peafookuseks** ehk **tulipunktiks** (160. joon.).



160. joon. Kumerläätse tulipunkt.



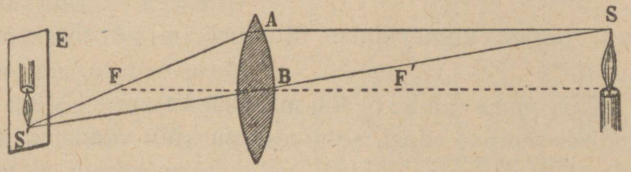
161. joon. Kumerläätse printsiibi selgitamine.

Kiirte käigu seletamiseks kumerläätses võib kujutleda kumerläätse koosnevana üksikuist prismadest, läätse keskmist

osa võib aga vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiirte suund ei muutu (161. joon.).

Nagu nõguspeegli puhulgi süttivad läätse tulipunkti viidud tuletikk, paber jne. päikesekiirtes põlema. Punkti *F* kaugust läätsest nimetatakse **tulipunkti kauguseks.** Tulipunkti kaugus on seda lühem, mida kumeram on lääts, ta oleneb aga läätse ainest. Igal läätsel on kaks tulipunkti, üks ühel pool, teine sümmeetriliselt teisel pool läätse; nende kaugused läätsest on võrdsed. Et kumerlääts koondab valguskiiri, seepärast nimetatakse seda ka **koondavaks** läätseks.

124. Kujutis kumerläätses. Asetame põleva küünla *S* (162. joon.) kumerläätse ette kaugemale tulipunktist, teisele poole kumerläätse asetame valgest paberist ekraani. Ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünlaleegi ümberpööratud kujutise. See kujutis on tõeline juba seepärast, et võime teda



162. joon. Kujutis kumerläätses.

võtta ekraanile. Nihutame küünalt läätsest kaugemale, siis nihkub ta kujutis läätsele lähemale, ja vastupidi, kui nihutame küünalt läätsele lähemale, siis nihkub kujutis läätsest kaugemale. Seejuures näeme ka, et mida lähemal on kujutis läätsele, seda väiksem ta on; läätsest kaugenedes muutub ta suuremaks. Küünlaleek ja selle kujutis on suuruselt võrdsed, kui nad on läätsest võrdseil kaugusil.

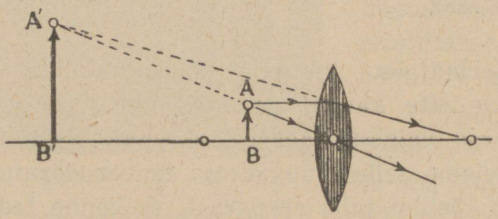
Küünalt peeglist mitmesuguses kauguses hoides ja iga kord vastavat kujutise suurust ja asendit tähele pannes leiame:

1) Kui ese (küünlaleek) on kumerläätsest kaugemal kui tulipunkt, siis on kumerläätse poolt tekitatud kujutis teisel pool läätse, ta on tõeline, ümberpööratud. Suu-

ruselt võib kujutis olla suurendatud, vähendatud või niisama suur.

2) Kui ese on kumerläätsele lähemal kui tulipunkt, siis annab kumerlääts sellest päripidise, suurendatud ebakujutise samal pool läätse.

Nagu nõguspeegli juures, nii ka siin võib graafiliselt leida eseme kujutise kolme kiire abil, mille suunad on teada pärast läätsest läbimist.



163. joon. Kujutise graafiline leidmine.

1. Kiir, mis on paralleelne optilise teljega, pärast murdumist kumerläätses läbib tulipunkti.

2. Kiir, mis langeb kumerläätsele tulipunkti suunas, pärast kumerläätse läbimist on paralleelne optilise teljega.

3. Kiir, mis läbib kumerläätse keskpunkti, läheb endises suunas edasi, sest keskosa võib vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiire suund ei muutu.

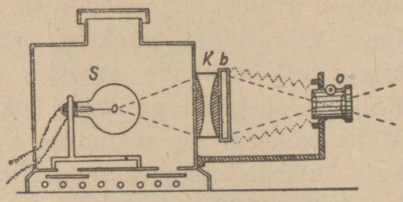
Kahe kiire abil nendest kolmest võime alati leida graafiliselt eseme kujutise. Joonisel 163 on sel teel kujutis leitudki ja nimelt juhul, kui ese on lähemal kui tulipunkt.

Optilised riistad. Silm ja nägemine.

Optilised läätsed leiavad laialdast kasutamist mitmesugustes optilistes riistades, nagu projektsiooniaparaadis, mikroskoobis, pikksilmas jne.

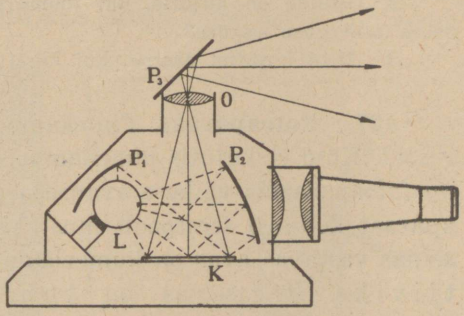
125. Projektsiooniaparaat. Projektsiooni- ehk valguspildiaparaadiga näidatakse valgel linal või seinal (ekraanil) mitmesuguseid pilte. Projektsiooniaparaat (164. joon.) on seestpoolt mustaks värvitud kast, millesse paigutatud tugev valgus-

allikas *S*, näiteks elektrihõõglamp, kaarleek jne. Selle valgusallika ees, kasti avas, on suur kahest poolest koosnev kumerlääts, k o n d e n s o r *K*, mis juhib palju valgust klaasile tehtud läbipaistvale pildile *b*, mida nimetatakse **diapositiiviks.** Selle pildi kujutise annab ekraanile kumerlääts *O* ehk **objektiiv**, mis asetseb ekraani ja pildi vahel, kuid viimasele märksa lähemal. Et objektiiv annab ekraanil ümberpööratud kujutise, siis asetatakse pilt ise aparaati ümberpööratult.

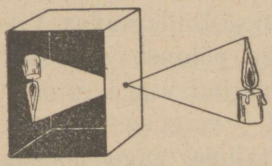


164. joon. Projektsiooniaparaat. *S* — valgusallikas; *K* — kondensor; *O* — objektiiv.

Ka läbipaistmatule paberile joonistatud või trükitud kirja, samuti teisi esemeid võib projitseerida ekraanile, kui tarvitada selleks eriti ehitatud projektsiooniaparaati. Selles projektsiooniaparaadis asetatakse läbipaistmatu pilt aparaadi alla ja valgustatakse siis tugeva valgusallikaga. Pildilt tuleva valguse abil annabki objektiiv pildi kujutise ekraanile. Et valgust seejuures juhtida ekraanile, paigutatakse kiirte teele vastava nurgi asetatud peegel. Projektsiooniaparaati, mille abil on võimalik projitseerida diapositiive, samuti ka läbipaistmatuid pilte ja esemeid, nimetatakse e p i d i a s k o o b i k s (165. joon.).



165. joon. Projektsiooniaparaat läbipaistmatute piltide projitseerimiseks.



166. joon. Pimekamber.

126. Kujutis väikese avause abil. Võtame puu- või pappkasti, mille ühe külgseina keskele teeme väikese avause, kasti sisse, vastasoleva seina külge kinnitame valgest paberist või papist ekraani. Kui asetame nüüd väikese avause ette

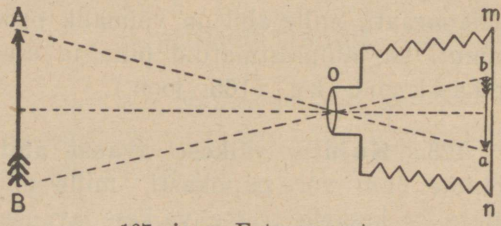
küünlaleegi, siis teisel pool avaust valgel ekraanil tuleb nähtavale küünlaleegi ümberpööratud kujutis. Seda kujutise tekkimist väikese avause abil seletatakse valguse sirgjoonelise levimisega. Igast valgusallika punktist pääseb läbi avause peenike kiirtekimp, mis ekraanile langedes tekitab seal valgustatud punkti. Kõik valgustatud punktid kokku annavadki eseme kujutise. Mida väiksem on seejuures avaus, seda teravam on kujutis, kuid ka seda valgusvaesem. Niisugust seadist nimetatakse **pimekambriks** (166. joon.).

Kujutise tekkimist väikese avause abil võime tähele panna ka luukidega pimedaks tehtud toas, kui luukides on väikesed avaused.

1. Kuidas muutub kujutis, kui ekraan viia avausest kaugemale või tuua sellele lähemale?
2. Milline on kujutis, kui ümmarguse avause asemel teeme kasti seina pikerguse avause?
3. Mitu kujutist saame, kui kasti seina teeme 2 või 3 avaust?

127. Fotoaparaat. Pimekambriga sarnane on fotoaparaat. Kuid et kujutis pimekambris on nõrgalt valgustatud, siis on fotoaparaadis väikese avause asemel kumerlääts. Seega fotoaparaat koosneb seestpoolt mustaks värvitud kastist, mille eesseinas vastavas avas on kumerlääts, mida nimetatakse objektiiviks. Tagaseinas on tuhmklaas. Objektiiv annab aparaadi ees olevate asjade kujutised tuhmklaasil. Millised on need kujutised?

Et need kujutised tuhmklaasil oleksid teravad ja selged, seks tuleb objektiivi kaugust tuhmklaasil reguleerida. Seda võimaldavad lõõtsana kokkuvõetavad lahtitõmmatavad aparaadi külgseinad.



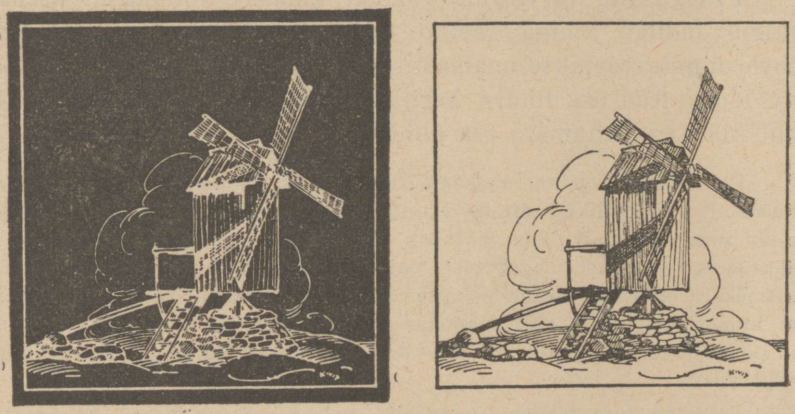
167. joon. Fotoaparaat.

Fotoaparaati tarvitatakse fotograafias. Viimane põhineb nähtusel, et paljud ained muutuvad valguse toimel. Nende ainete hulka kuuluvad mõnede metallide, nagu hõbeda ja raua soolad. Fotograafias tarvitatakse broom- ja kloorhõbe-

dat. Fotoplaat ja fotopaber ongi kaetud neid aineid sisaldava želatiiniga, mis teeb fotoplaadi ja fotopaberi valgustundlikuks.

Pildistamisel paigutatakse fotoplaat fotoplaadi kassetti. Kassett on lame, täiesti valguskindel kastike, mille kaant võib eest ära tõmmata.

Fotograafimine toimub seega järgmiselt. Algul reguleeritakse fotoaparaadi objektiivi kaugus tuhmklaasist nii, et fotograafitavate esemete kujutised tuhmklaasil oleksid küllalt teravad. Siis kaetakse objektiiv, ja tuhmklaas asendatakse valgustundliku fotoplaadiga. Nüüd avatakse lühikeseks ajaks objektiiv (valgustamine): fotoplaadile langenud valgus tekitab sellel fotograafitavate esemete kujutised. Esialgu on pilt plaadil varjatud kujul. Nähtavaks tuleb pilt ilmutamisega. Ilmutiteks on sääraste ainete lahused, mis hõbedasooladest eraldavad hõbedat metallina. Ilmutite toimel eraldub seega hõbe neile kohtadele,



168. joon. Negatiiv ja positiiv.

mida valgustati, ja seda rohkemal määral, mida tugevamini seda kohta plaadil valgustati. Nii tulebki pilt nähtavale. Kuid see pilt on vastand pildistatud esemele: valged kohad on siin mustad, mustad kohad — valged. Seda pilti kutsutakse seetõttu negatiiviks. Et negatiiv valguse toimel ei muutuks, seks tuleb teda kinnistada. Kinnistamise ülesanne on kõrvaldada fotoplaadilt muutumatuks jäänud hõbedasoola. Tavalise foto-

plaadi ilmutamine ja kinnistamine võib toimuda punases valguses, sest need kiired ei mõju fotoplaadisse.

Kinnistatud negatiivi tuleb hästi pesta ja kuivatada. Soojendada teda seejuures ei või, sest soojendamisel läheb želatiinikiht vedelaks ja tõmbub kokku. See rikub ülesvõtte ära.

Et saada päevapilti (positiivi), tuleb seda negatiivilt kopeerida. Seda tehakse paberile, mis kaetud kloorhõbedat sisaldava kihiga. Need paberid pole nii valgustundlikud kui plaadid. Negatiiv asetatakse päevapildipaberi peale ja pannakse valguse kätte. Negatiivi tumedad kohad lasevad vähem valgust läbi kui heledamad. Seetõttu on ka paberil värvitoonid vastupidised negatiivi omadele. Nad vastavad ülesvõetud esemele. Paberile kopeeritud päevapilt tuleb kinnistada. Seda tehakse samuti kui negatiivigi puhul. Sellele järgneb pesemine ja kuivatamine, ning päevapilt ongi valmis.

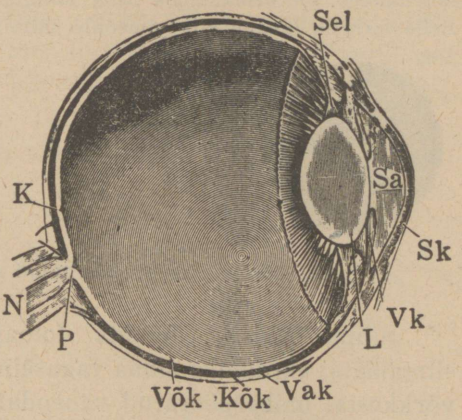
Praegusajal tarvitatakse laialt klaasist fotoplaadi asemel valgustundliku kihiga kaetud tselluloidist filmi. Seejuures ühele filmile võetakse enamasti mitu pilti. Seda tehakse nõnda, et valgustatud osa filmist keritakse rullile, kuna objektiivi ette tuleb uus valgustamata osa filmist.

Eriti kohane on nn. pisikaamera, mille abil saadud negatiiv on oma mõõdetelt väga väike, näiteks 24 × 36 mm. See võimaldab suurt kokkuhoidu negatiivi materjalis ja lubab teha hulga ülesvõtteid ühele filmile. Säärasest väikesest negatiivist valmistatakse suurendusaparaadi abil mitmekordselt suurendatud positiiv. Suurendusaparaadi tähtsamaks osaks on kumerlääts, mille abil saadakse poolläbipaistvast negatiivist suurendatud kujutis positiivpaberile, mis siis ilmutatakse ja kinnistatakse harilikul viisil.

Valmista pimekamber ja tarvita teda fotoaparaadina! Et väikese avause abil saadud kujutis on nõrgalt valgustatud, siis tuleb valgustada pikemat aega. Määra see katseliselt!

128. Silm ja nägemine. Silma ehitus. Silm asetseb sügaval silmakoopas. Silmamuna välist kihti nimetatakse valgeks kestaks, osa sellest on nn. silmavalgena nähtav. Selle eespoolne kiht on hästi kumer ja läbipaistev ning kannab sarvkesta nime. Järgmine kiht seespool silmavalget on läbipaistmatu kõldkest. Selle eesmine pool moodustab vikerkesta. Selle värvuse järgi

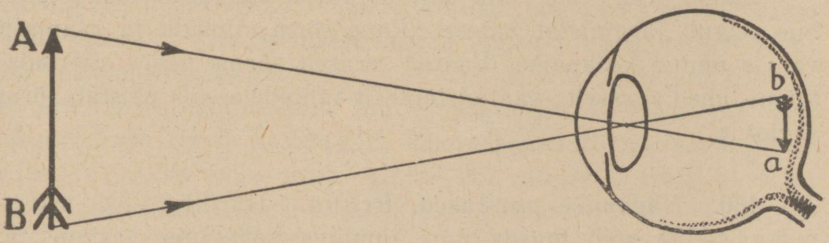
kutsutakse inimesi musta-, halli-, pruuni- jne. silmalisteks. Vikerkesta keskel on ümmargune auk, mida kutsutakse silmaavaks (silmatera), mille kaudu pääseb valgus silma. Tugeva valguse käes läheb silmaava iseenesest väiksemaks, kui valgust vähe, läheb silmaava suuremaks. Niiviisi reguleerib silmaava silma tuleva valguse hulka. Kõige sügavama silmamuna seinakihi moodustab võrkkest, mis on valgusärritusi vastuvõttev silma osa. Võrkkest on ühenduses nägemisergguga.



169. joon. Silma pikilõik. *Sel* — silma seaduvust korraldaja lihas; *Sa* — silmaava; *Sk* — sarvkest; *Vk* — vikerkest; *L* — lääts; *Vak* — valgekest; *Kõk* — kõldkest; *Võk* — võrkkest; *P* — pime tähn; *N* — nägemiserk; *K* — kollane tähn.

Silmaava taga asetseb läbipaistev läätsekujuline keha, nn. silmalääts. Ruum eespool silmaläätse on täidetud vesiselge silmavedelikuga; silmaläätsetagust ruumi täidab sültjas klaaskeha.

Otse silmaava vastas on kõige tundlikum koht silmas, nn.



170. joon. Kujutise tekkimine silmas.

kollane tähn. Koht, kus nägemiserk silmast väljub, nn. pime tähn, on valgusärritusi vastuvõtvate osadeta. Seepärast ei näe inimene selle osaga.

Tõesta järgmiselt pimeda tähni olemasolu: kata käega parem silm kinni ja vaata vasemaga teraselt 171. joon. kujutatud risti. Raamatut lähendades või eemaldades taba kaugus, kuni must ketas hoopis kaob. Selle kujutis langeb siis pimedale tähnile.



171. joon. Katse pimeda tähni olemasolu tõestamiseks.

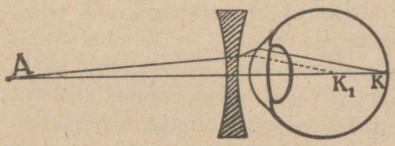
Silma võime võrrelda fotoaparaadiga. Objektiiviks on silmalääts, ekraaniks silma tagaseinas olev võrkkest. Ese annab võrkkestal ümberpööratud vähendatud kujutise, mida me silmaerkude abil selle asja valgusmuljena vastu võtame.

129. Silma kohastumine. Asi on selgesti näha, kui tema kujutis tekib just võrkkestal. See toimub silmaläätse abil, mis võib tarviduse järgi muuta oma kumerust, ühes sellega kiirte koondamisvõimet. Läheneb asi silmale, siis muutub lääts kumeramaks; kaugeneb asi, siis läheb lääts lamedamaks. Seda silmaläätse omadust eseme kaugusele vastavalt oma kumerust muuta, et kujutis alati tekiks võrkkestal, nimetatakse kohastumisvõimeks.

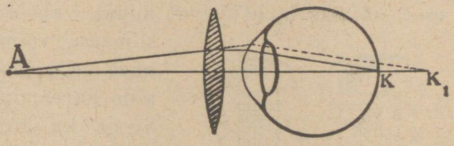
Samal ajal võib silm ainult ühele kaugusele kohastuda, mis selgub järgmisest katsest. Pane sõrm silmade ja raamatu vahele umbes keskpaika. Vaatad teraselt sõrme peale, siis paistavad tähed segaselt; vaatad teraselt tähtedele, siis paistab sõrm segaselt.

130. Nägemise puudused. Prillid. Harilik ehk normaalsilm võib lugeda ilma tunduva kohastumisväsimuseta, kui raamatu kaugus silmast on 25—30 cm. Seepärast nimetatakse seda kaugust normaalsilma parimaks nägemiskauguseks. Lähemate ja kaugemate kui 25—30 cm esemete vaatamisel peab silmalääts kohastumisel tunduvalt pingutama. Seetõttu ta ka väsib rohkem.

Silma, mis suurematele kaugustele ei suuda kohastuda, nim. *lühinägijaks*. Niisuguses silmas on võrkkest läätsest liiga kaugel (silmamuna on liiga piklik või koondab silmalääts kiiri liiga tugevasti) ja eseme kujutis tekib võrkkesta ees (172. joon.). Selle puuduse kõrvaldamiseks tarvitatakse silma ees *prillina nõgusat läätse*. See hajutab kiiri niivõrra, et eseme kujutis tekib võrkkestal.



172. joon. Lühinägija silm.



173. joon. Kaugelenägija silm.

Kaugelenägija silm ei suuda kohastuda lähedate esemete vaatlemiseks. Silmamuna on liiga lühike või silmalääts on liiga lame, mistõttu ta koondab kiiri liiga nõrgalt ja eseme kujutis tekib võrkkesta taga (173. joon.). Et kiired enam lõikuksid ja võrkkestal kujutise annaksid, selleks tarvitatakse silma ees *prillina kumerat läätse*. See koondab kiiri ja kujutis tekib võrkkestal ning ese on selgesti näha.

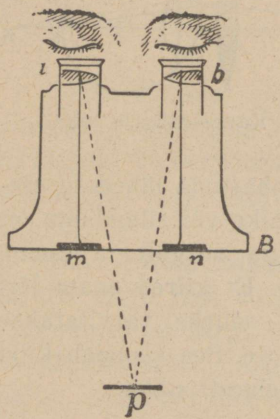
131. Valgusmulje vältus. Kino. Kiiresti pöörleva voki või jalgratta kodarad liituvad liikudes pidevaks ringiks. Hõõguvat tuletikku õhus kiiresti edasi-tagasi liigutades näeme jäljena helendavat joont. Kõigi selliste nähtuste põhjuseks on järgmine silma omadus: valguse mulje kestab umbes 0,1 sek. pärast seda, kui seda muljet tekitav kujutis silmast kadus. Enne kui eelmise kodara mulje kaob, saame mulje järgmisest kodarast jne. See silma omadus leiab kasutamist **kinematograafi** ehk **kino** ehitamisel. Tehakse sellekohasel lindil ehk filmil kiiresti üksteise järel hulk silmapilkseid ülesvõtteid (umbes 15—20 ülesvõtet sekundis) ja projitseeritakse nad projektsioonilaterna abil niisama kiiresti ekraanile. Muljed kiiresti üksteisele järgnevaist ülesvõtteist, mida näeme ekraanil, liituvad ja annavad nn. kinopildi.

Kui mingist liikumisnähtusest teha 1 sekundis 20 ülesvõtte asemel näiteks 300 ülesvõtet ja siis projitseerida see aeglaselt,

näiteks 15 sek. kestel, siis võib tõeliselt kiiresti toimuvaid nähtusi vaadelda aeglaselt. Säärast meetodit nimetatakse **ajaluubiks.** Ajaluupi kasutatakse näiteks spordi alal hüpete ja teiste kiirete liigutuste uurimisel.

Samuti on võimalik ka väga aeglaselt toimuvaid nähtusi vaadelda lühikese aja jooksul (taimede kasvamine).

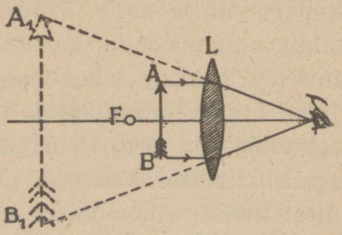
132. Ruumiline nägemine. Stereoskoop. Vaadeldes lähedal olevat eset, näiteks laual olevat kuupi, vaheldumisi kord ühe silmaga, siis teise silmaga, võime tähele panna, et kumbki silm näeb seda pisut isesugusena: parem silm näeb seda paremalt poolt, vasem pisut vasemalt poolt. Seega ka kujutised sellest esemest kummaski silmas on erinevad. Need kujutised sulavad nägemisel kokku ning me näeme eset ruumiliselt ehk r e l j e e f s e l t. Seega ruumilise nägemise põhjuseks on vaadeldava eseme kujutiste erinevused kummaski silmas.



174. joon. Stereoskoop.

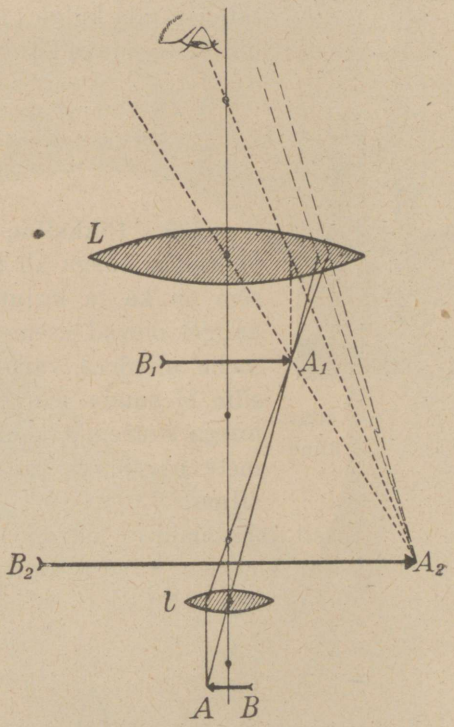
Tasapinnalised pildid ei võimalda ruumilist nägemist. Et tasapinnaliste piltide abil esemest ruumilist pilti saada, tehakse ühest ja samast esemest kaks ülesvõtet: üks vasemalt, teine paremalt poolt. Saadud ülesvõtted pannakse kõrvuti ja vaadeldakse neid nn. **stereoskoobi** abil (174. joon.). Stereoskoobi peaosadeks on kaks prismat *a* ja *b*, mis on pööratud murdumisnurkadega teineteise poole. Piltide vastavatest punktidest *m* ja *n* tulevad kiired murduvad prismades nõnda, et nad paistavad väljuvat ühest ja samast punktist *p*. Kahe pildi asemel näeme ühtainust, mis annab meile asjast ruumilise kujutise.

133. Luup. Inimese silm suudab tajuda esemeid ja esemete peensusi ainult siis, kui need annavad küllalt suure ja selge kujutise võrkkestal. Väga väikesed esemed annavad silmas liiga väikese kujutise, mistõttu meie neid ei näe või näeme halvasti. Kujutis võrkkestal suureneb, kui tuua vaadeldav ese lähemale, kuid sellel on piir; normaalse silma parim nägemiskaugus on umbes 25 cm. Väga lähedal olevate esemete nägemiseks



175. joon. Luup.

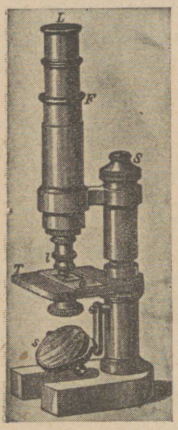
silm ei kohastugi. Väikeste esemete paremat ja selgemat nägemist võimaldab **luup**, milleks on kumerlääts. Asetades vaadeldava eseme kumerläätse ja tulipunkti vahele näeme, et sel juhul ei saa me teisel pool läätse mingit kujutist. Küll aga näeme samal pool, kus esegi, selle eseme suurendatud ebakujutist (175. joon.). Esemest AB tulevad kiired murduvad läätses ja lähevad laiali ilma lõikumata. Nende pikendused vasemal pool läätse lõikuvad ja annavad AB-st suurendatud päripidise kujutise A_1B_1. Et siin kujutis on märksa suurem kui ese ja asetseb normaalse silma parimal nägemiskaugusel, siis näeme seetõttu temas ka rohkem peensusi kui eset ennast otseselt vaadates. Seepärast tarvitatakse kumerläätse suurendusklaasina ehk luubina.



176. joon. Mikroskoop: kiirte käik mikroskoobis.

134. Mikroskoop. Märksa tugevamini suurendab nn. **mikroskoop**, mis koosneb mitmest optilisest läätsest. Kiirte käik mikroskoobis on näha joonisel 176. Vaadeldav ese AB asetatakse lühikese tulipunktikaugusega kaksikkumera läätse ette tulipunktist natuke kaugemale. Lääts l, mille ees seisab vaadeldav ese ja mida seepärast eseme läätseks ehk objektiiviks kutsutakse, annab enese kahekordse tulipunktikauguse taga esemest AB vastupidise suurendatud tõelise kujutise A_1B_1. Kujutist vaatame läätse L kui luubi abil, saades temast päripidise suurendatud ebakujutise

A_2B_2. Läätse L, millesse silmaga vaatame ja mis luubi aset täidab, nimetatakse silmaläätseks ehk okulaariks. Kujutis A_2B_2 on antud esemega võrreldes suurendatud, vastupidine ja ebakujutis.



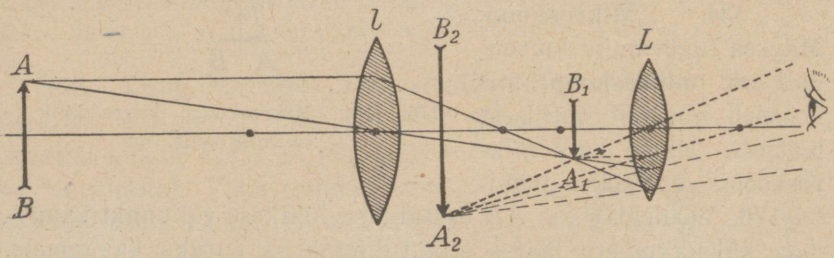
177. joon. Mikroskoobi väline kuju.

Kõik läätsed paigutatakse sellekohastesse seestpoolt mustaks värvitud torudesse ja kinnitatakse jala külge (177. joon.). Head mikroskoobid suurendavad tuhat ja rohkem korda.

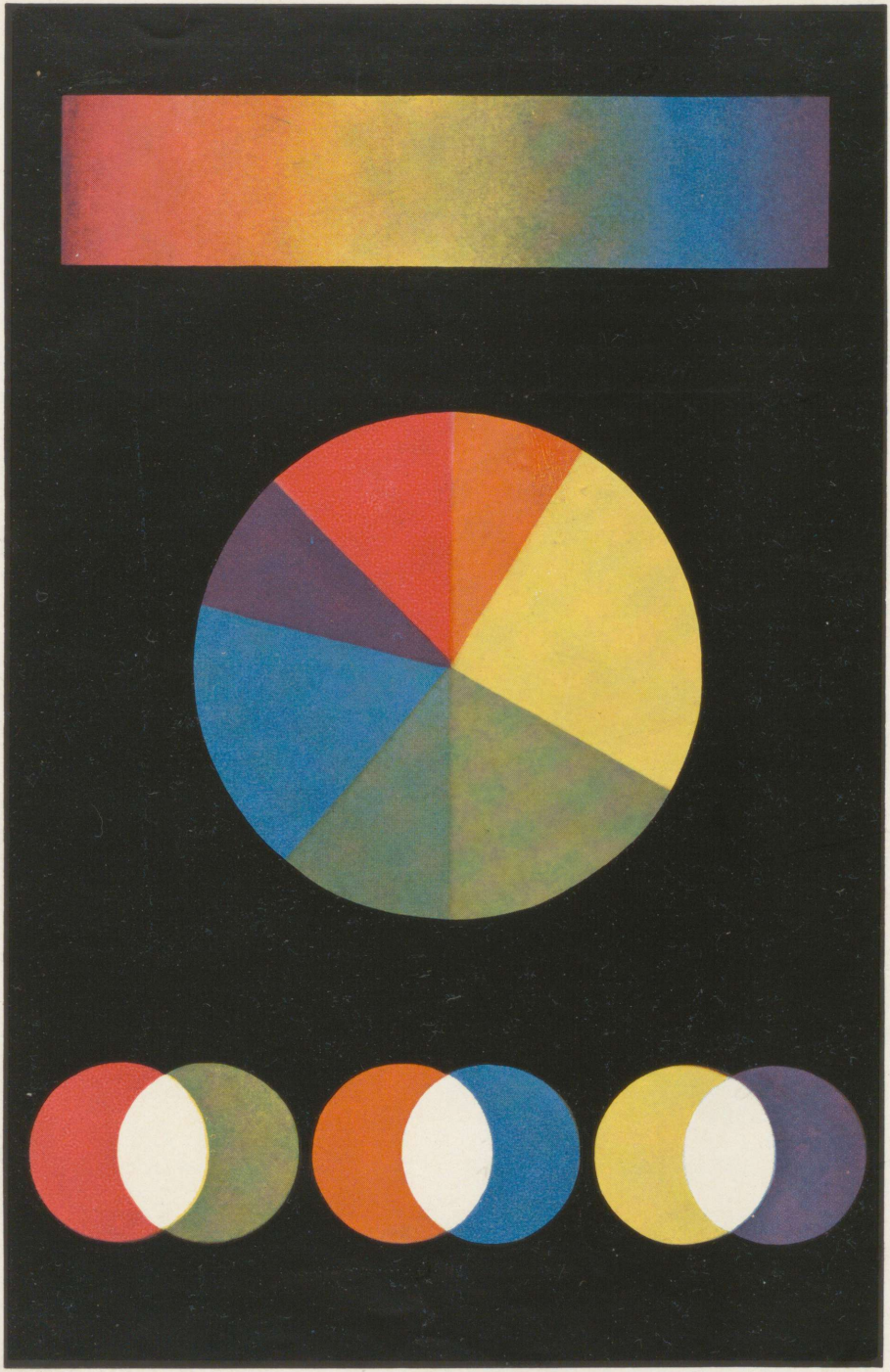
1. Kus tarvitatakse mikroskoope?
2. Milleks on mikroskoobi objektiivi ees nõguspeegel?

135. Pikksilm. Mida kaugemal on ese, seda väiksema nurga all ta meile paistab, seda väiksem on ka ta kujutis silma võrkkestal. Väga kaugel olevad esemed, olgugi suured, paistavad meile niivõrra väikese vaatenurga all, et meie silm ei suuda seal enam peensusi näha. Vaatenurga suurendamiseks, seega kaugel olevate esemete paremaks vaatlemiseks tarvitatakse **pikksilma.**

Ehituselt lihtsamaid on astronoomiline ehk Kepleri pikksilm. See pikksilm koosneb kahest kumerläätsest, nimelt suurema tulipunktikaugusega objektiivist ja lühema tulipunktikaugusega okulaarist. Vaatlemisel pikksilmaga asetseb okulaar otse silma ees, kuna objektiiv on pööratud vaadeldava eseme poole. Objektiiv l annab kaugel olevast esemest AB fookuse lähedal väi-



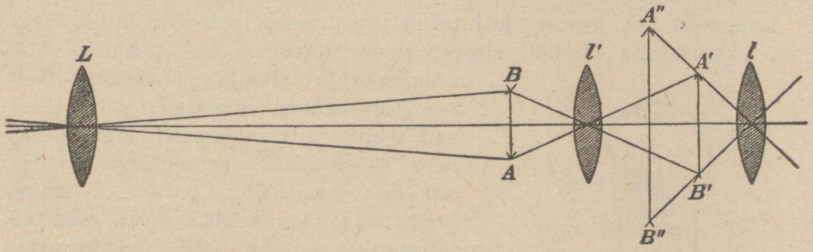
178. joon. Astronoomiline pikksilm.



Spektrivärvid.

kese vastupidise tõelise kujutise A_1B_1, mida vaatame okulaari L kui luubi abil. Silm näeb ebakujutist A_2B_2, mis paistab meile palju suurema nurga all, järelikult ka suuremana ja selgemana kui ese AB. Kiirte käiku astronoomilises pikksilmas selgitab joonis 178.

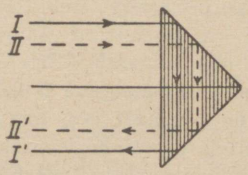
Kaugete maapealsete esemete vaatlemiseks ei ole niisugune pikksilm otstarbekas, sest ta annab vastupidised kujutised, mis segab vaatlemist. Et päripidist esemete kujutist saada, pööratakse kolmanda kumerläätse l' abil objektiivist saadud kuju-



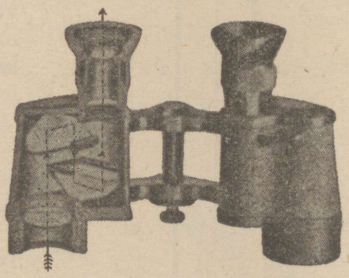
179. joon. Maapikksilm.

tis AB enne ümber ja vaadeldakse seda ümberpööratud kujutist okulaari l kui luubi abil (joon. 179). Niisugust pikksilma kutsutakse **maapikksilmaks** ehk **kiikriks.** Maapikksilma suureks puuduseks on ta pikkus, mis teeb ta käsitsemise ebasobivaks.

Kahe silmaga vaatlemiseks tarvitatakse kahest pikksilmast moodustatud riista, mida nimetatakse **binokliks.**



180. joon. Kiirte käik täisnurkses prismas.



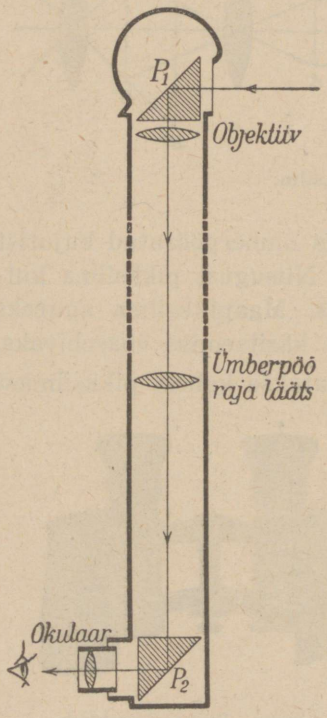
181. joon. Prismabinokkel.

Praegusajal tarvitatakse peamiselt prismabinoklit. See riist koosneb kahest astronoomilisest pikksilmast, milles kujutis pööratakse ümber kahe täisnurkse prisma abil.

Täisnurkse prisma tarvitamine siin põhineb järgmisel nähtusel.

Katsed näitavad, et klaasi seest klaasi välispinnale langenud valguskiired peegelduvad täielikult klaasi tagasi, kui langemisnurk on suur, üle 43°. Säärast peegeldust nimetatakse täielikuks sisepeegelduseks. Täielik sisepeegeldus toimub näiteks täisnurkses prismas, kui valguskiired langevad täisnurga vastas olevale tahule risti ja siis klaasis levides langevad seestpoolt klaasipinnale. Sel puhul on, nagu joonisest näha, langemisnurk 45°, seetõttu peegelduvad nad täieliku sisepeegelduse seaduse järgi tagasi. Teist korda peegelduvad nad teisel täisnurka moodustaval tahul ning nende suund on nüüd vastupidine esialgse suunaga.

Langevad 180. joonisel kujutatud täisnurksele prismale kiired *I* ja *II*, siis kahekordse täieliku sisepeegelduse tõttu muutub pealmine kiir alumiseks ja alumine ülemiseks. Teises täisnurkses prismas, mille servad esimese prismaga risti, muutub samuti kahekordsel sisepeegeldumisel vasem kiir paremaks ja parem vasemaks. Seega kaks teineteisega risti asetatud täisnurkset prismat pööravad kujutise ümber. Kiire käiku prismabinoklis kujutab 181. joonis. Prismade tarvitamise tõttu on pikksilma torud lühikesed. Et prismabinoklis mõlemad objektiivid asetsevad teineteisest kaugemal kui silmad, siis on vaatlemisel sellega sügavuse ehk reljeefsuse tunne suurendatud.



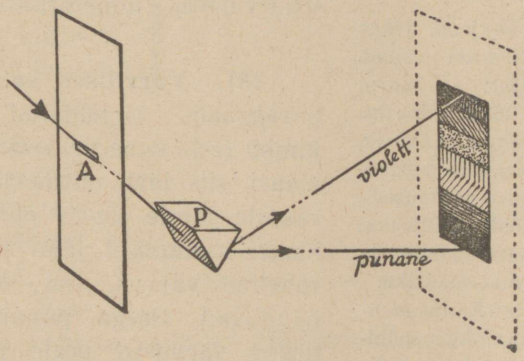
182. joon. Periskoop.

Maapikksilm leiab rakendamist allveelaevade periskoopide ehitamisel, kus ta suur pikkus tuleb just kasuks. Et juhtida valguskiired püstloodis olevasse periskoopi, seks on riistal objektiivi ees täisnurkne ümberpööravprisma, mis muudab kiirte käiku 90° võrra. Teine samasugune ümberpööravprisma on okulaari ees, mis muudab kiirte käigu uuesti horisontaalseks. Periskoopi võib pöörata vertikaalse telje ümber.

1. Kus tarvitatakse pikksilmi?

2. Kas lähema eseme vaatlemisel tuleb okulaari ja objektiivi vastastikust kaugust suurendada või vähendada?

136. Valguse lahutamine. Laseme pimedasse tuppa läbi väikese ava peenikese kimbu päikesekiiri. Kiirtekimbu teele asetame klaasprisma, mille serv on pööratud põranda poole. Kiirtekimp prismat läbides kaldub kõrvale ja annab vastasoleval seinal või ekraanil mitmevärvilise riba. Selles värvilises ribas alt ülespoole lugedes võib eristada järgmisi põhivärvusi: punane, oranž ehk ruuge, kollane, roheline, helesinine, sinine (indigo) ja violetne ehk lilla. Seda prisma abil saadud värvilist riba nimetatakse p ä i k e s e s p e k t r i k s ja üksikuid värvusi selles spektri ehk vikerkaare värvusteks. Üleminek ühest põhivärvusest teise pole terav, vaid pidev, selle juures esineb veel hulk varjundeid.



183. joon. Spektri tekkimine.

Säärase katse tegi esimesena kuulus inglise teadusmees Isaac N e w t o n [loe: aisek njuutn] a. 1666. See katse näitab, et päikesekiired koosnevad üksikuist värvilistest kiirtest, mis igaüks eri viisi murduvad ja seetõttu prismast läbi minnes üksteisest eralduvad. Kõige vähem murduvad punased, kõige rohkem violetsed kiired.

Kui mõne värvilise kiire prismast uuesti läbi laseme, kaldub ta küll kõrvale prisma aluse poole, kuid ei muuda enam oma värvust. Tähendab, spektri värvused on liht- ehk algvärvused, milledest koosneb valge kui liitvärvus. Tahame seitsmest spektri värvusest saada valget värvust, asetame prisma taha koondava läätse, millest läbi minnes värvilised kiired koonduvad ja annavad meile valge täpi.

Ka teisel teel võime värvilistest kiirtest saada valget värvust. Võtame ringi, mis koosneb vikerkaarevärvilistest sektoritest, ja paneme ta kiiresti pöörlema. Nüüd paistab ring meile valgena, sest muljed üksikuist värvusist liituvad kiirel pöörlemisel ühte ja annavad valge värvuse.



184. joon. Isaac Newton (sünd. 1643. a., surn. 1727. a.), inglise tähtsaim füüsik, avaldas teedrajava tähtsusega töid füüsika, astronoomia ja matemaatika alal. Esitas mehhaanika põhilaused, gravitatsiooniseaduse, avastas valguse lahutamise jne.

Valge kiire annavad liitumisel ka punane ja roheline, ruuge ja taevassinine, kollane ja sinine kiir. Värvusi, mis liitumisel annavad valge värvuse, nimetatakse **täiendusvärvusteks.**

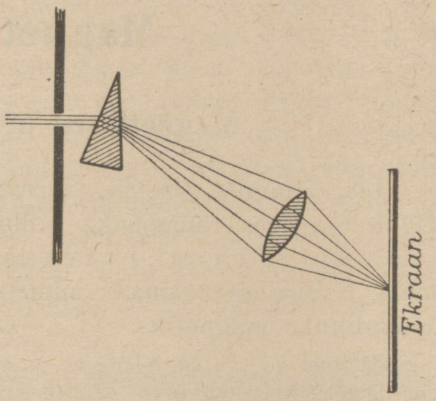
137. Värvilised kehad. Asetame eelmises paragraafis kirjeldatud katses valguskiirte kimbu teele enne prismast läbiminemist punase klaasi, siis jääb mitmevärvilisest spektrist ekraanile järele ainult punane värvus; rohelise klaasi asetamisel jääb spektrist järele ainult roheline värvus, jne., kuna teised värvused puuduvad. Seega punane klaas neelab kõik teised värvused peale punase, kollane klaas kõik peale kollase jne. Üldse läbipaistvad värvilised kehad lasevad läbi ainult osa spektrivärvusi, teist osa neist ära neelates. Seepärast paistavad läbi punase klaasi vaadates kõik punased ja valged kehad punastena, teised kõik aga mustadena.

Võtame nüüd värvilise läbipaistmatu keha, näiteks tükikese punast riiet või paberit, ja asetame ta spektririba peale punase värvuse kohale. Keha paistab punasena. Sedasama punast keha teiste spektrivärvuste kohale asetades paistab ta meile mustana. Tähendab, valges ja punases valguses paistavad meile punased läbipaistmatud kehad punastena, igas teises valguses aga mustadena, sest et punane pind tema peale langevad mittepunased kiired ära neelab ja ainult punaseid hajutab. Kollane pind hajutab ainult tema peale langevaid kollaseid kiiri, kõik

teised neelab ta ära, jne. Valge pind hajutab, must keha neelab kõiki kiiri ühteviisi.

Üldse läbipaistmatud värvilised kehad peegeldavad tagasi ainult osa spektrivärvusi, teise osa nad neelavad ära.

Muidugi, osa kehapinnale langevaid kiiri peegeldub otsekohe selle keha välispinnalt, kuid suurem osa tungib keha õhukese pindkihi sisse. Pindkihist väljub ainult väike osa kiiri, milledest oleneb selle keha värvus. Mida väiksem keha, seda suurem on pinnalt peegeldunud kiirte hulk võrreldes nende kiirtega, mis sügavamalt pinna alt tulevad, ja kus puuduvad kiired, mis antud keha ära neelab. Seepärast paistavad meile vaht ja väikesed jääkübemekesed (lumi) valgetena, kuna aga vesi ja jää on hoopis teist värvi.



185. joon. Kumerlääts liidab spektrivärvused uuesti kokku.

Nimeta mõned ained, mis pulbrina teissugused välja näevad kui tükis!

Taeva sinine värvus oleneb sellest, et õhku läbides päikesekiirtest hajuvad peamiselt sinised kiired, kuna näiteks punased kiired takistamatult õhust läbi pääsevad, sest punaseid kiiri hajutab õhk vähe.

1. Mispärast säravad kastetilgad mitmevärviliselt?
2. Millega võiks vikerkaare tekkimist seletada?
3. Mispärast sinetatakse pesu?
4. Mispärast on päike tõusu ja loojamineku ajal punane, iseäranis siis, kui õhk on hästi niiske?

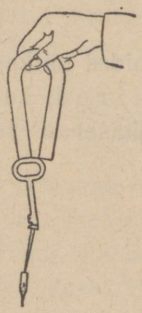
Magnetism.

Magnetilised põhinähtused.

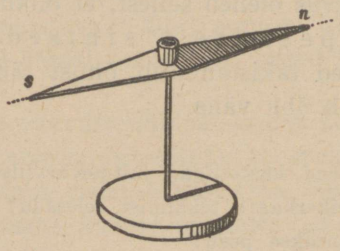
138. **Magnet.** Rootsis, Norras, Nõukogude Liidus ja mujal leidub maapõues rauamaaki, millel on omadus tõmmata enda külge raua- ja terasetükke ning neid seal kinni hoida. Niisugust rauamaaki nimetatakse **magnetrauakiviks** ehk **loomulikuks magnetiks.**

Magnet oli tuntud juba õige ammu hiinlastele, samuti ka vanadele kreeklastele. Magnetrauakivi leidsid kreeklased Väike-Aasias, Magneesia linna lähedal, mille järgi hakatigi kutsuma seda isesuguste omadustega kivi magnetiks ja seda magnetrauakivi omadust magnetismiks.

Loomulikule magnetile külge puutudes omandavad ka raud ja teras magnetilised omadused: nad tõmbavad enda külge raud- ja terasasju. Raud kaotab magnetilised omadused kohe, kui ta magnetist eemaldada, teras seevastu hoiab saadud omadused alal. Sel teel on võimalik terast muuta magnetiks ehk magnetiseerida. Niiviisi magnetiseeritud terast nimetatakse kunstlikuks magnetiks. Kunstlikkudele magnetitele antakse tavaliselt kas varva või hobuseraua kuju. Õhukesest teraslehest valmistatud piklikku, harilikult



186. joon. Magnet.



187. joon. Magnetnõel.

teravate otstega magnetit, mida võib asetada ka teravikule, nimetatakse **magnetnõelaks** (187. joon.).

1. Kuidas saab hõlpsasti kokku korjata lauale või põrandale kukkunud rauapuru?
2. Kuidas võib hõlpsasti eraldada rauapuru vasepurust?

139. Magneti poolused. Magnetit rauapurusse või peenikestesse raudnaeltesse asetades näeme, et mitte kõik magneti osad ei tõmba raud- ja terasasju ühe ja sama tugevusega külge. Magneti otste külge jääb rauapuru või raudnaelu suurel hulgal, kuna keskmine osa on sellest vaba. Magneti otsi, kus külgetõmbetung on kõige suurem, nimetatakse **magneti poolusteks.**

Riputame magneti niidi otsa või asetame ta teravikule nii, et ta vabalt võib oma keskkoha ümber pöörduda, siis võtab magnet pärast mõningaid võnkumisi ühele ja teisele poole alati kindla suuna, kusjuures üks poolus näitab põhja, teine lõuna poole. Seda poolust, mis suunatud põhja, nimetame **põhjapooluseks**, seda, mis suunatud lõunasse, **lõunapooluseks.** Igal magnetil on seega kaks poolust, põhja- ja lõunapoolus. Neid märgitakse sageli tähtedega N (põhjapoolus) ja S (lõunapoolus).



188. joon. Magneti poolused.

Lähendades magneti põhjapoolust teravikul asetseva magnetnõela põhjapoolusele näeme, et magnetnõela poolus liigub magnetist eemale. Lähendame aga magneti põhjapoolust magnetnõela lõunapoolusele, siis liigub magnetnõel sellele lähemale. Korrates sama katset magneti lõunapoolusega näeme, et see tõmbab magnetnõela põhjapoolust ja tõukab selle lõunapoolust. Siit järeldame, et **samanimelised magnetipoolused tõukavad teineteist eemale, isenimelised aga tõmbavad teineteist külge.**

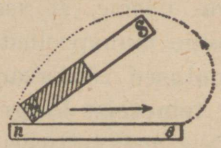
Lähendame teravikule asetatud magnetnõela magnetiseerimata pehmest rauast varva otsale: raud tõmbab magnetipooluse külge, seejuures tõmbab ta ühteviisi mõlemat poolust. Seega magnetipooluse ja raua mõju on vastastikune. Kirjeldatud katse õnnestub ka siis, kui magneti ja rauatüki vahele asetada pappi, klaasi, puud jne. Ainult raud- või terasplaadi vaheleasetamine vähendab magneti mõju.

Peale raua ja terase tõmbab magnet veel niklit ja koobaltit. Kunstliku magneti valmistamiseks on kohasem karastatud teras. Eriti tugevaid magneteid saab nn. volfram- ja koobaltterasest, s. o. terasest, mis sisaldab pisut volframit või koobaltit. Üldiselt on kunstlikud magnetid palju tugevamad kui loomulikud magnetid.

Uuemal ajal on leiutatud metallide sulamid, mida on võimalik palju tugevamini magnetiseerida kui terast. Need sulamid koosnevad peale raua niklist, koobaltist ja alumiiniumist. Üks liik sääraseid sulameid on tuntud ö r s t i i d i nime all.

140. Magneti induktsioon. Võtame pehmest rauast pulga ja kinnitame statiivi külge. Lähendame raua ülemisele otsale magneti põhjapooluse (N). Nüüd näeme, et raud muutus magnetiks, mis rauapuru külgetõmbamisest selgub. Magnetnõelaga järele katsudes leiame, et otsas, mis põhjapooluse lähedal, on lõunapoolus, vastasolevas otsas põhjapoolus. Eemaldades magneti pooluse kaotab raudpulk oma magnetilised omadused. Niisugust nähtust, kus magneti pooluse mõjul pehme raud ise ka magnetiks muutub, nimetatakse **magnetiliseks induktsiooniks.** Ka teraspulka võime samal viisil magnetiliseks teha, ainult selle vahega, et teraspulk mõjuva pooluse eemaldamisega oma magnetilisi omadusi ei kaota, vaid nad kauemat aega püsima jäävad.

141. Magnetiseerimine. Teraspulga magnetiseerimine toimub tugeva kunstliku magneti abil. Seks asetatakse magnetiseeritav pulk lauale ja tõmmatakse magneti ühe poolusega, näiteks N-poolusega, magnetiseeritava teraspulga pinda mööda teraspulga ühest otsast teiseni, nagu see kujutatud 189. joonisel. Seda korratakse mitu korda, viies magnetit läbi õhu sama otsa juurde tagasi. Seejuures tekivad teraspulga otstes poolused, teisenimelised neile poolustele, milledega nende peale tõmmati. Niiviisi võib magnetiseerida lõpmatu hulga uusi magneteid, ilma et seejuures magnetiseeriv magnet nõrgeneks. Magnetiseerida võib terast ainult teatud piirini (magnetilise küllastuseni). Kauase seismisega nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet põrutamisega.

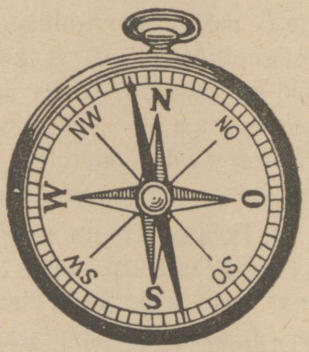


189. joon. Magnetiseerimine.

142. Kompass. Teravikule asetatud magnetnõel, mis vabalt võib pöörelda, näitab **alati põhja—lõuna** sihti. Seda magnetnõela omadust kasutataksegi ilmakaarte määramiseks. Riista, mida seks otstarbeks tarvitatakse, nimetatakse **kompassiks.** Kompass koosneb ümmargusest karbist, mille keskkohta teraviku otsa on asetatud magnetnõel, nii et see vabalt võib seal pöörelda. Karbi põhja on joonestatud ilmakaarte jaotised. Tavaliselt on magnetnõela põhjapoolus värvitud siniseks. Kompassi tarvitamisel pööratakse kompassi karpi nii, et magnetnõela põhjapoolus oleks jaotise N kohal. Ilmakaared loetakse siis otseselt karbi astmikult.

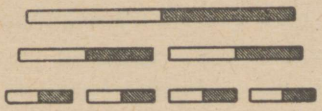
Kompassi tarvitavad eeskätt merimehed laevade juhtimisel. Samuti kasutavad kompassi teekäijad rännakuil tundmatuis kohis, eriti siis, kui ei paista päike.

Kompassi tarvitasid hiinlased juba 1000 a. e. Kr. reisu suuna määramiseks. Euroopas võeti kompass tarvitusele itaallase Flavio Gioja poolt alles a. 1300 p. Kr. Iseäranis suur tähtsus on kompassil meresõidul laeva suuna (kursi) määramisel uduse ilmaga ja öösi.



190. joon. Kompass.

143. Magneti poolitamine. Molekulaarmagnetid. Magnetiseerime terassukavarda tugeva magneti abil. Rauapuru, samuti ka magnetnõela abil võime näha, et tal on kaks magnetilist poolust, ühes otsas põhjapoolus, teises otsas lõunapoolus. Murrame magnetiseeritud varda keskelt pooleks ja pistame mõlemad pooled rauapurusse. Sealt neid välja võttes näeme, et kummalgi poolel on jälle kaks poolust, sest kummagi poole otste külge on jäänud rauapuru. Ka magnetnõela abil võib näha, et igal vardaosal on kaks poolust. Seega murdumiskohal tekkis juurde kaks uut poolust, üks põhja-, teine lõunapoolus, nii et igal poolel on oma põhja- ja oma lõunapoolus. Niiviisi


191. joon. Magneti poolitamine.

magneti poolitamist jätkates saame magnetid, milledel on ikka kaks magnetipoolust. Ühe poolusega magneti saamine on võimatu. Väikesimalgi magneti osal on kaks poolust, seega on iga magneti osa iseseisev magnet.

Kirjeldatud nähtuste, samuti ka raua ja terase magnetiseerimise seletamiseks on püstitatud järgmine oletus: iga magneti, samuti ka raua ja terase väikesimad osakesed (molekulid) on iseseisvad magnetid. Neid magneteid nimetatakse **molekulaarmagneteiks.** Seega iga magnet koosneb väga suurest hulgast molekulaarmagneteist, mis on korraldatud teatavas kindlas sihis. Magnetiseerimata rauas ja terases on molekulaarmagnetid korraldamata olekus, mistõttu nende mõju vastastikku hävib. Magnetiseerimisel tugeva magneti mõjul korralduvad molekulaarmagnetid nagu väikesed magnetnõelad, nii et kõikide molekulaarmagnetite põhjapoolused on suunatud ühele poole, lõunapoolused teisele poole. Pehmes rauas on molekulaarmagnetid kergesti liikuvad, mistõttu pehmes rauas nad kohe korraldamata olekusse satuvad, kui kaob välise magneti mõju.

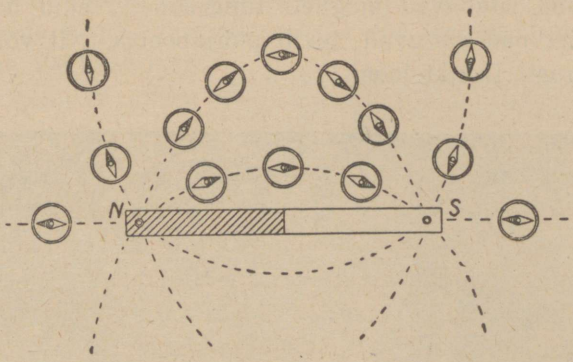
Terases aga on molekulaarmagnetite liikumine takistatud, seetõttu hoiab teras oma magnetilised omadused kauemat aega alal. Seda oletust tõestavad muuseas järgmised nähtused. Magneti põrutamisega nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet, kui teda soojendada, sest temperatuuriga suureneb molekulaarmagnetite liikuvus. Kuumendamisel üle 700° kaotab teras täielikult magnetilised omadused.

Seevastu põrutamine magnetiseerimise ajal aitab kaasa magnetiseerimisele. Kauemat aega paigal seisnud raudkehad muutuvad maakera magnetivälja toimel nõrgalt magnetilisteks.

Magnetiväli.

144. Magnetiväli. Tungjooned. Võtame tugeva magneti ja hoiame tema ümber mitmesuguses kauguses tundlikku magnetnõela (kompassi). Siis võime tähele panna, et magnetnõel asub magnetitungide mõjul igas kohas isesuunas (192. joon.).

Piirkonda, kus antud magnetitungid veel mõjuvad, nimet. selle **magneti väljaks.** Mida tugevam magnet, seda suurem ja tugevam on tema mõjupiirkond ehk magneti väli.



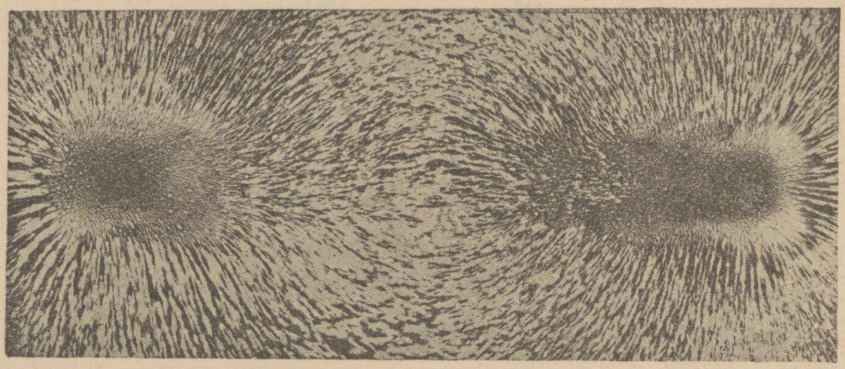
192. joon. Magneti tungjooned.

Magnetnõela abil otsustame magnetitungi suuna üle igas magnetivälja punktis. Sedaviisi magnetitungi suunda jälgides põhjapoolusest alates jõuame kõverjoont mööda lõunapooluseni. Kõverjoont, mis näitab magnetitungi mõjumise suunda, nimetatakse **magneti tungjoonteks.** 193. joon. kujutab näitlikult magneti tungjooni magneti ümber.

Magneti tungjooni saab rauapuru abil kergesti nähtavaks teha. Selleks võtame magneti (mida tugevam, seda parem) ja katame paberiga või õhukese papiga. Puistame paberile võimalikult ühtlaselt rauapuru. Magnetivälja mõjul muutuvad rauapuru osakesed väikesteks magnetnõelakesteks, mis kõik, kui paberit pisut raputada, ketina magneti tungjoonte suunas asetuvad. Kokkuleppe põhjal loetakse seejuures magneti tungjoonte suunaks s u u n d p õ h j a p o o l u s e s t l õ u n a p o o l u s e s s e.

Asetame lauale kaks magnetit nii, et nende isenimelised poolused asetseksid teineteise vastas. Rauapuru abil nende pooluste vahel olevaid magneti tungjooni nähtavaks tehes paneme tähele, et suurem osa ühe magneti põhjapoolusest väljuvaid tungjooni koondub teise magneti lõunapoolusesse. Asetades nende pooluste vahele tüki pehmet rauda, tõmbab see magneti tungjooned endasse. Kuigi rauapuru pehme raua kohal on suuremalt

osalt korraldamata olekus, peame siiski oletama, et pehmesse rauda suubuvad magneti tungjooned seal ei katke, vaid jätkuvad ja pehme raua teisest otsast väljuvad. Seejuures rauas seal kohal, kuhu suubuvad magneti tungjooned, tekib lõunapoolus, kohal, kust nad väljuvad, tekib põhjapoolus. Nii võimegi seletada magneti induktsiooni.



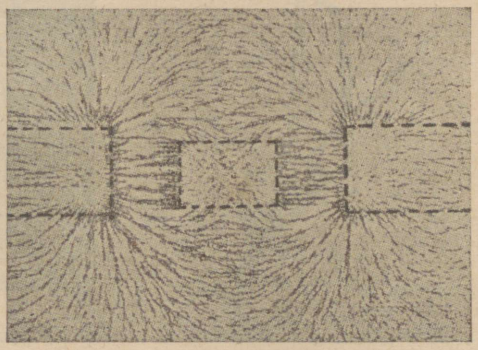
193. joon. Rauapuru abil nähtavaks tehtud magnetiväli.

Magneti poolitamisel nägime, et kunagi ei saa me ühe poolusega magnetit, vaid alati kahe poolusega, kusjuures, kui murtud kohal ühel poolel tekib põhjapoolus, siis teisel poolel lõunapoolus. Siit võime järeldada, et magneti tungjooned ei katke ka magneti sees. Seega magneti tungjooned on suletud kõverad, mis väljuvad põhjapoolusest ja suubuvad lõunapoolusesse.

Asetame kaks ühenimelist, näiteks põhjapoolust teineteise vastu ja teeme siis magnetivälja tungjooned rauapuru abil nähtavaks. Seejuures näeme, et sel puhul ühelt pooluselt väljunud tungjooned tõukavad teiselt pooluselt väljunud tungjooni. Samasugune pilt esineb, kui asetame kaks lõunapoolust teineteise vastu.

145. Maakera magnetiväli. Vaba magnetnõel näitab alati kindlat suunda, millest järeldame, et Maakera ümber on magnetiväli. Täpsemad tähelepanekud näitavad, et rõhttasapinnas vabalt pöörleva magnetnõela siht ei ühti täpselt

põhja—lõuna sihiga ehk geograafilise meridiaaniga. Nurka, mille moodustab magnetnõela siht geograafilise meridiaaniga, nimetatakse **magnetiliseks deklinatsiooniks** ehk **käändeks.** Selle järgi, kas magnetnõela põhjapoolus kaldub põhja—lõuna sihist ida või lääne poole, räägitakse ida- või läänedeklinatsioonist. Magnetiline deklinatsioon muutub kohaga Maakera pinnal: eri kohtades on ta ka eri suurusega. Samuti muutub magnetiline deklinatsioon aja kestel. Eestis on praegu magnetiline deklinatsioon ligikaudu null. Õigemini esineb küll väike läänedeklinatsioon, mis kahaneb aastas umbes 8′.



194. joon. Raud magnetiväljas.

Magnetnõela, mida tarvitatakse magnetilise deklinatsiooni määramiseks, nimetatakse ka deklinatsiooninõelaks.

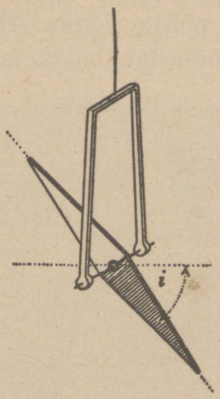
Võtame magnetnõela, mis võib vertikaal-tasapinnas vabalt pöörduda. Asetame nõela vertikaalsesse tasapinda, mis ühtib deklinatsiooninõela suunaga. Seejuures paneme tähele, et ta pole horisontaalne, vaid põhja-poolkeral on põhjapoolus, lõuna-poolkeral lõunapoolus kaldu alla maa poole. Nurka, mille moodustab magnetnõel horisontaaltasapinnaga, nimetatakse **magnetiliseks inklinatsiooniks** ehk **kaldeks.** Tartus on magnetiline inklinatsioon ligikaudu 70°.

Magnetilise inklinatsiooni määramiseks eriti ehitatud magnetnõela nimetatakse inklinatsiooninõelaks.

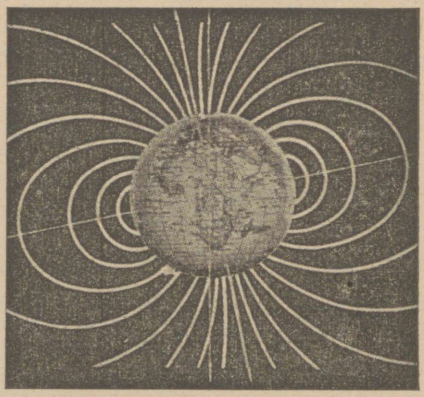
Magnetiline inklinatsioon on Maakera eri kohtades ka eri suurusega: magnetilisel ekvaatoril on magnetiline inklinatsioon null, Maakera põhjapoolmikul kaldub magnetnõela põhjapoolus, Maakera lõunapoolmikul magnetnõela lõunapoolus allapoole ja seda rohkem, mida suurem on kaugus ekvaatorist. Tähelepanekud deklinatsiooni- ja inklinatsiooninõelaga näitavad, et Maakera on suur kerakujuline magnet.

Kohti, kus kaldenõel vertikaalselt asetseb, s. o. magneti kalle on 90°, nimetatakse Maakera magnetipooluseks. Maakera kui magneti lõunapoolus asetseb Põhja-Ameerikas Boothia Felix'i poolsaarel (70° p.-l. ja 96° l.-p. Gr.), põhjapoolus aga Lõuna-Jäämeres lõuna pool Uus-Hollandit (72° l.-l. ja 155° i.-p. Gr.). Nii asetsevad Maakera magnetipoolused geograafiliste pooluste lähedal, kuid ei ühti viimastega.

Maakera magnetilise lõunapooluse avastas kapten Ross a. 1831. Põhjapooluse avastas maadeuurija Shackleton a. 1909.



195. joon. Inklinatsiooninõel.



196. joon. Maakera magnetilised poolused.

1. Mispärast antakse magnetile sagedasti hobuseraua kuju?

2. Kuidas on võimalik magnetnõela abil määrata, kas antud rauatükk on magnetiseeritud või mitte?

3. Kuidas on võimalik määrata, kumb kahest antud täitsa ühesugusest teraspulgast on magnet?

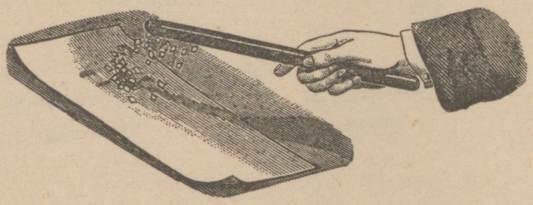
4. Kuidas peab magnetid kokku panema, et nende mõju kõige tugevam oleks?

5. Mispärast ei tehta kompassikarbikest rauast?

Elekter.

Hõõrdumiselekter.

146. Elektrilaeng. Hõõrume villase riidega eboniitkammi või kirjalakipulka ja lähendame ta siis lauale puistatud paberitükikestele: eboniitkamm tõmbab enda külge paberitükikesed, kust need veidi aja pärast alla langevad. Võtame samuti riba harilikku ajalehepaberit, paneme sooja ahju vastu ja hõõrume teda riideharjaga. Kui ahi on küllalt soe ning tuba kuiv, siis võime tähele panna, et juba mõne harjatõmbe järel paber jääb ahju külge kinni ja iseendast maha ei lange. Paberi ahju küljest äratõmbamisel kuuleme nõrka raginat. Kui seda teha pimedas toas, siis võib äratõmbamiskohal tähele panna koguni väikesi sädemekesi. See pole veel kõik. Hõõrumisel on ajalehepaberist riba mitmed uued omadused saanud: ta jääb seina külge igas kohas kinni, tõmbab enda külge kergeid asjakesi, näiteks paberiraasukesi, ja kui teda käes hoida keskelt, siis tõukavad otsad teineteist eemale. Seda erilist olekut, millesse viisime hõõrumisega eboniitkammi ja pabeririba, nimetatakse **elektriliseks olekuks** ja selle oleku põhjust **elektriks.**



197. joon. Villase riidega hõõrutud eboniitpulk tõmbab paberitükikesed külge.

Eriti selgelt esinevad need nähtused klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga. Et merivaik hõõrumisel saab erilised omadused, seda teadsid juba vanad kreeklased. Kui

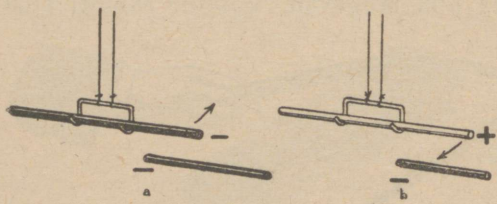
uuemal ajal (umbes a. 1600) hakati neid nähtusi jälle tähele panema, siis nimetati neid nähtusi merivaigu kreekakeelse nimetuse järgi *(elektron)* elektrilisteks.

Nimetame elektrilise keha külgetõmbamise põhjust **elektritungiks**, elektri hulka, mis seda elektritungi tekitab, **elektrilaenguks** ja kehale elektrilaengu andmist — **laadimiseks.**

Katsed näitavad, et hõõrdumise teel omandavad elektrilaengu paljud kehad, näiteks merivaik, väävel, kirjalakk, siidriie.

Mida kuuled, kui kammid kuivi juukseid eboniitkammiga? Mis on selle põhjuseks?

147. Positiivne ja negatiivne elekter. Riputame villase riidega hõõrutud eboniitkammi või -pulga 198. joonisel kujutatud konksu otsa ja lähendame sellele siis teise samuti hõõrumisega elektriseeritud eboniitpulga: paneme tähele, et need tõukavad teineteist. Samuti tõukavad teineteist kaks klaaspulka, mis hõõrutud amalgaamitud nahaga. Seevastu hõõrutud eboniitpulk ja klaaspulk tõmbavad teineteist lähemale.



198. joon. Tõukumine ja tõmbumine.

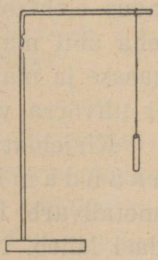
Samasuguseid katseid korrates elektrilaengutega, mis saadud mitmesuguste teiste kehade hõõrumisel, leiame, et need kas tõukavad klaaspulga elektrilaengut ja tõmbavad eboniitpulga laengut või, vastuoksa, tõmbavad klaaspulga laengut ja tõukavad eboniitpulga laengut.

Sellest järeldame, et on ainult kaht liiki elektrit: üks, mis tekib klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga, ja teine, mis tekib eboniitpulgal, kui teda hõõruda villase riidega.

Klaasielektrit nimetatakse veel **positiivseks**, eboniidielektrit **negatiivseks.**

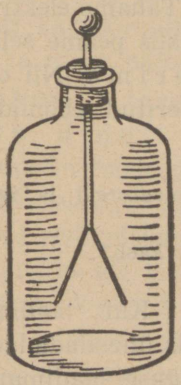
Kokkuvõttes saame seaduse: **kaks ühenimelist elektrilaengut tõukavad teineteist eemale, kaks isenimelist aga tõmbuvad teineteise poole.**

148. Elektrilaengu edasiandmine. Elektrilaengut võib üle anda ka teistele kehadele. Selle näitamiseks tarvitame kaht **elektripendlit,** mille valmistame järgmiselt. Õhukesest siidpaberist keerame kokku torukujulise silindri ja seome selle siis siidniidi otsa. Siidniidi teise otsa seome kõveraks painutatud klaastoru külge, mis on kinnitatud alusele (199. joon.). Lähendades ühele elektripendlile elektriliselt laetud klaaspulga näeme, et ta algul tõmbab elektripendli silindri enda külge, hiljemini tõukab eemale. Kordame sama teise elektripendliga. Lähendades nüüd mõlemad pendlid teineteisele näeme, et nad teineteist tõukavad. Kui aga puudutame üht pendlit positiivselt laetud klaaspulgaga ja teist elektripendlit negatiivselt laetud eboniitpulgaga, siis näeme, et nad selle tagajärjel teineteist tõmbavad. Neist katseist järeldame, et keha võib omandada elektrilaengu kokkupuutumisel teise elektrilise kehaga.



199. joon. Elektripendel.

Miks puusõe tükikesed alguses elektrilisele kehale külge tõmbuvad, pärast aga eemalduvad?



200. joon. Elektroskoop.

149. Elektroskoop. Kas antud kehal on elektrilaeng või mitte, seda võib määrata **elektroskoobi** abil. Elektroskoobid on ehituselt väga mitmesugused, kuid kõik nad põhinevad nähtusel, et kaks ühenimelise elektrilaenguga laetud keha tõukavad teineteist eemale. Üht niisugust lihtsat elektroskoopi kujutab 200. joon. Selle tähtsamaks osaks on metallvarb, mille alumise otsa küljes ripuvad õhukesed siidpaberist või metallist (kullast või alumiiniumist) lehekesed. Metallvarb läbib eboniidist või merivaigust korgi, mis suleb klaasanuma pudelikujulise kaela.

Tõmbame elektriseeritud kehaga, näit.

klaaspulgaga, mööda elektroskoobi metallvarba. Kokkupuutumisel läheb osa elektrit varva peale, varva kaudu lehekestesse ja lehekesed lähevad laiali. Mida tugevamini on elektroskoop laetud, seda laiemale teineteisest lähevad elektroskoobi lehekesed.

150. Juhid ja mittejuhid. Puudutame laetud elektroskoobikuulikest käega. Lehekesed langevad kohe alla. Elektrilaeng kadus elektroskoobist. Puudutamisel ühendasime elektroskoobi keha abil maaga. Elektroskoobis olev elekter läks keha kaudu maasse ja maa peal olevaisse esemeisse. Elektroskoopi jäi elektrit niivõrra vähe, et ta ei suuda enam lehekesi laiali ajada.

Kirjeldatud elektroskoobi tühjendamisviisi nimetatakse maandamiseks. Maandamise katsest järeldub, et on kehi (metallvarb, inimese keha, maa), mida mööda elekter ülikiiresti edasi läheb. Niisuguseid kehi nimetatakse **elektrijuhtideks.** Et kehi elektri juhtivuse suhtes järele katsuda, seks võtame laetud elektroskoobi ja katsume temast elektrit mitmesugusest materjalist esemete abil (puu, kivi, kriit, riie jne.) maasse juhtida. Katsed näitavad, et **head elektrijuhid** on kõik metallid, maa, süsi, loomad, taimed jne.

Halbade elektrijuhtide ehk **mittejuhtide** hulka kuuluvad: klaas, kautšuk, kirjalakk, merivaik, siid, parafiin, pigi, väävel, õlid, portselan, tühi ruum, destilleeritud vesi, õhk jt.

Mittejuhte nimetatakse teisiti **isolaatoreiks.** Tahame elektrilaengut juhi peal hoida, et ta maasse ei läheks, siis peame selle juhi isolaatori abil maast eraldama ehk isoleerima. Nii on elektroskoobi metallvarb ühes lehekestega isoleeritud eboniidi, merivaigu või mõne teise isolaatori abil.

1. Miks võib hõõrumisel elektriseerida ainult isolaatoreid ja isoleeritud juhte?
2. Miks niiskelt elektroskoobilt laeng kiiresti ära kaob?

151. Elektrilaengute neutraliseerimine. Kui laadida elektroskoop kas positiivselt või negatiivselt ja siis ühendada laetud elektroskoop metallvarda kaudu teise samasuguse, laadimata elektroskoobiga, siis jaotub elektrilaeng mõlema elektroskoobi vahel. Kui laadida üks elektroskoop positiivselt, teine elektro-

skoop negatiivselt, nii et mõlemad elektroskoobid annavad ühesuurused hälbed, siis mõlemat elektroskoopi metallvarda abil ühendades kaovad laengud elektroskoopidest. Siit järeldame, et kaks ühesuurust vastunimelist elektrilaengut hävitavad vastastikku teineteist, nad neutraliseeruvad.

Kui laadida üks elektroskoop positiivse elektrilaenguga, teine negatiivse elektrilaenguga, kuid mitte ühesuuruse hälbeni, milline laeng jääb siis elektroskoopidele pärast nende ühendamist metallvardaga?

152. Elektrilaengu asukoht. Laeme isoleeritud alusele asetatud metallkeha ehk nn. konduktori. Elektrilaengu asukoha määramiseks sellel tarvitame nn. **katsekuulikest,** milleks on isoleeriva pulga otsa kinnitatud väike metallkuul. Puudutades katsekuulikesega laetud metallkeha pinda võtame sellelt puutekohalt elektrilaengu. Katsekuulikese elektrilaengu anname edasi elektroskoobile, mille lehekese hälbe järgi otsustame isoleeritud kehalt võetud elektrilaengu suuruse üle. Sedaviisi metallkeha pinda järele katsudes leiame, et kõige rohkem elektrit on konduktori teravates servades, kuna kõige vähem on seda lohkudes. Puudutades katsekuulikesega silindrilist või kerakujulist õõnsat konduktorit, mis varustatud väikese avausega, paneme tähele, et sel puhul katsekuulike ei saanud mingit laengut. Sama katse näitab ka, et kerakujulise konduktori kõigist välispinna punktidest katsekuulikesega võetud laengud annavad elektroskoobil ühe ja sama hälbe, s. o. laengud on võrdsed.

Need ja teised sellekohased katsed näitavad, et elekter asub ainult konduktori välispinnal; kerapinnal on elektrilaeng ühtlaselt jaotatud, kandilisel kehal on kõige rohkem elektrit teravatel servadel, kõige vähem lohkudes. Eriti suured elektrilaengud on teravikkudel. Katsed näitavad, et teravikkude kaudu voolab elektrilaeng õhku. Elektriseeritud õhuosakesed tõugatakse samanimelisest elektrilaengust eemale, mistõttu tekib nn. **elektrituul.** Hoides teraviku ees umbes 1—2 m kaugusel elektroskoopi, annab elektrituul sellele laengu. Samuti kustutab elektrituul teraviku ees hoitud küünlaleegi. Konduktorid, milledel on teravikud, kaotavad kiiremini elektrilaengu kui teravikuta konduktorid.

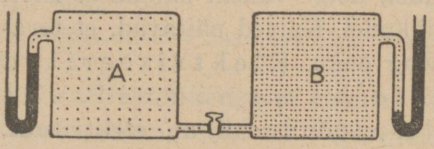
Laetud katsekuulikesega elektroskoopi puudutades antakse viimasele ainult osa katsekuulikese laengust, osa laengust jääb aga katsekuulikesele. Asetame elektroskoobi peale kuuli asemel õõnsa metallanuma ja puudutame seda metallanumat laetud kuulikesega seestpoolt, siis annab katsekuulike kõik laengu elektroskoobile. Nii on võimalik nn. *sisemise puute teel* anda kogu laeng ühelt kehalt teisele.

153. Elektri pinge. Laeme kaks ühesugust elektroskoopi ühe ja sama elektriga nii, et nende lehekeste hälbed pole võrdsed, ja ühendame siis elektroskoobid isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga: kohe omandavad elektroskoobid ühesuurused hälbed, kusjuures ühe elektroskoobi lehekese hälve väheneb, teisel suureneb. Seega voolab osa elektrit ühelt elektroskoobilt teisele.

Teame, et vesi voolab ühest anumast teise siis, kui veepinnad (tasemed) anumais pole ühekõrgused. Seejuures *voolab vesi kõrgema tasemega anumast madalama tasemega anumasse*. Gaasikraani avamisel voolab gaas selle kaudu välja seetõttu, et gaasi rõhk gaasitorustikus on pisut suurem kui väljasoleva õhu rõhk. Samuti nägime varemini, et soojus voolab kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehasse.

Analoogiliselt vee ja soojuse voolamisega on elektri voolamise põhjuseks ühelt kehalt teisele nende kehade erinev **laadimisaste** ehk **elektri pinge.** Elektri pinget võime võrrelda seega veepinna kõrguse ehk vee rõhu vahega. Samuti võime võrrelda elektri pinget gaasi rõhu vahega gaasitorustikus jne.

Olgu kahes anumas *A* ja *B* (201. joon.), mis ühendatud omavahel toru kaudu, õhurõhk eri kõrgune, näiteks anumas *B* kõrgem ja anumas *A* madalam kui atmosfääri rõhk. Toru kraani avamisel voolavad molekulid anumast *B* anumasse *A* seni, kuni õhurõhk neis ühtlustub.



201. joon. Õhu voolamine.

Samuti on kahe keha vahel pinge, kui nende laadimisaste pole ühekõrgune. Ühendades kaks eri pingeni laetud elektroskoopi metalljuhtmega, hakkab

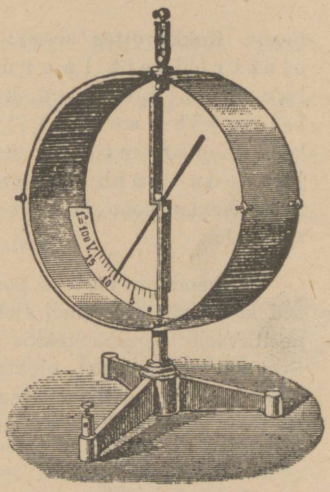
elekter voolama ühelt elektroskoobilt teisele, kuni nendevaheline pinge muutub nulliks.

Temperatuuri mõõdame termomeetriga, gaasi ja vee rõhku manomeetriga, elektri pinget võib mõõta elektroskoobiga. Seejuures positiivse elektrilaenguga laetud keha pinge loetakse positiivseks, negatiivse elektrilaenguga laetud keha pinge negatiivseks.

Et elektroskoop mõõdab mitte elektri hulka keha pinnal, vaid pinget, näitab järgmine katse. Ühendame katsekuulikese peenikese traadi kaudu kaugel oleva elektroskoobiga ja puudutame siis katsekuulikesega isoleerivale alusele paigutatud kandilist keha, millele antud elektrilaeng. Vaatamata sellele, millises punktis me katsekuulikesega laetud keha puudutame, näitab elektroskoop ikka üht ja sama hälvet, olgugi et elektri jaotus kehal pole ühtlane, nagu varemini nägime. Seega laetud elektrijuhi pinge on kõikides punktides üks ja sama.

Tarvitades sõna „pinge" peame meeles pidama, et pinge andmisel võrdleme keha elektrilist olekut mõne teise keha elektrilise olekuga. Keha pinget maa suhtes nimetatakse potentsiaaliks. Ka termomeetriga mõõtes keha temperatuuri mõõdame ainult keha soojusastet, võrreldes termomeetri 0-kraadiga.

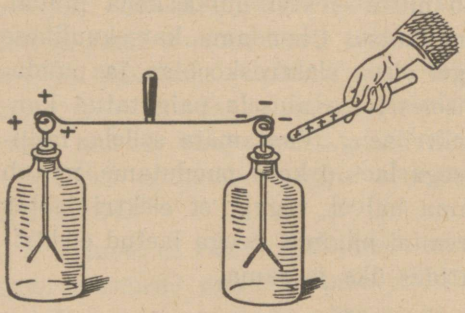
Elektri pinge ühikuks on **volt** (V), mis tuletatud itaalia füüsiku A. Volta nimest. 1 volt on võrdne ligikaudu nn. Danielli elemendi pooluste vahel oleva pingega. 1000 volti nimetatakse kilovoldiks (kV). Astmikuga varustatud elektroskoopi, mis näitab otseselt pinge suurust, nimetatakse **elektromeetriks.** Üht niisugust elektromeetrit kujutab 202. joon.



202. joon. Elektromeeter.

154. Mõjuelekter. Elektriliselt neutraalsed kehad omandavad elektrilaengud juba seega, kui nende lähedale tuua elektriliselt laetud kehad. Sel teel tekkinud elektrilaengut nimetatakse **influents- ehk mõjuelektriks.**

Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse. Ühendame kaks elektroskoopi isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga (203. joon.). Elektriseeritud klaaspulga lähendamisel lähevad lehekesed laiali, olgugi et me pulgaga otseselt elektroskoope ei puudutanud. Kui viia klaaspulk eemale, siis langevad mõlema elektroskoobi lehekesed. Kui aga eraldada mõlemad elektroskoobid metallvarda äravõtmisega enne klaaspulga eemaleviimist, siis jäävad mõlemale elektroskoobile elektrilaengud. Lähemalt nende laengute märke uurides leiame, et klaaspulgale lähemal elektroskoobil on klaaspulgal oleva elektrilaenguga võrreldes vastupidise märgiga elektrilaeng, kaugemal elektroskoobil samanimeline elektrilaeng. Kui enne klaaspulga eemaleviimist puudutada metallvardaga ühendatud elektroskoope, siis kaob samanimeline laeng sealt maasse. Pärast klaaspulga eemaleviimist jaotub isenimeline laeng mõlema elektroskoobi vahel ühtlaselt. Kokkuvõttes seega: laadimata konduktor omandab elektriliselt laetud keha lähendamisel elektrilaengud. Laetud kehale lähemal konduktori poolel tekib isenimeline elektrilaeng, kaugemal poolel samanimeline elektrilaeng. Viimane on vaba ja teda võib maasse juhtida. Mõjuelektriga on seletatav, miks elektroskoop laengut näitab, kui talle lähendada elektriliselt laetud keha.



203. joon. Mõjuelekter.

Lähendame näiteks positiivselt laetud elektroskoobile positiivselt laetud keha, siis suureneb elektroskoobi lehekeste hälve, sest lisaks endisele positiivsele laengule tekkis elektroskoobil influentsi tõttu positiivne laeng. Seetõttu suurenebki elektroskoobi lehekeste hälve. Negatiivse laengu lähendamisel positiivselt laetud elektroskoobile saame vastupidise nähtuse. Niiviisi on kerge määrata elektroskoobil oleva laengu märki.

Influentsi tõttu võib anda elektroskoobile laengu ka teda puudutamata. Kui lähendame laadimata elektroskoobile näiteks positiivselt laetud keha, siis tekib elektroskoobil influentsi tõttu lähemal poolel teisenimeline, kaugemal poolel samanimeline laeng ja elektroskoobi lehekesed annavad hälbe. Hoides nüüd laetud keha elektroskoobi lähedal paigal, puudutame sõrmega elektroskoopi: seejuures juhime samanimelise, kuid

vaba elektri maasse. Viies nüüd laetud keha elektroskoobist eemale, jääb teisenimeline elektrilaeng vabaks, mistõttu elektroskoop näitab uuesti laengut. Nii võime laadida positiivse laenguga elektroskoopi negatiivselt ja ümberpöördult, negatiivse laengu abil võime elektroskoopi laadida positiivselt.

Niisugust laadimisviisi tarvitatakse sageli väga tundlikkude elektroskoopide puhul.

Mõjuelektril põhineb **influentsmasina** tegevus. Masina ketta sektoril olevast väikesest elektrilaengust jätkub, et tekitada teise ketta sektoril, mis esimese läheduses mööda liigub, mõjuelektrit. Need omalt poolt laevad mõjuelektriga esimese ketta teised sektorid. Nii tekkinud elektrilaengud kogutakse masina konduktoritele.

Influentsmasin annab väga kõrge pinge. Selle mõõtmine tavalise elektromeetri abil pole võimalik, viimane on selleks liiga väikese ulatusega. Kui masina ketast ümber ajada, siis tekib masina pooluste ehk konduktorite vahel kõrge pinge tõttu elektri üleminek **elektrisädemena**, mis võib olla kuni 20 cm pikk. Seega kõrge pinge toimel kaotab õhk isoleerimisomaduse.

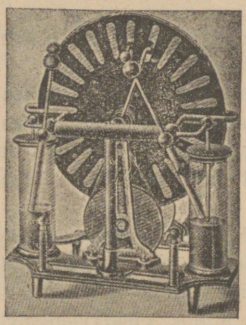
Elektrisädet saadavad järgmised nähtused ja toimed:

1) Valgusenähtus. Elektrisäde nagu välkki omab sakilist kuju ja sinakasvioletset värvust.
2) Ragin.
3) Soojusetoime. Eetriga niisutatud puuvillatükk süttib sädeme mõjul põlema.
4) Mehhaaniline tegevus. Elektrisäde võib läbi lüüa papi, klaasi jne.
5) Füsioloogiline toime. Juhtides elektrisädeme näiteks kätesse tunneme iseloomulikku elektrilööki.
6) Keemiline toime. Õhus olev hapnik muutub osooniks (O_3), mida võib tunda erilise lõhna järgi.

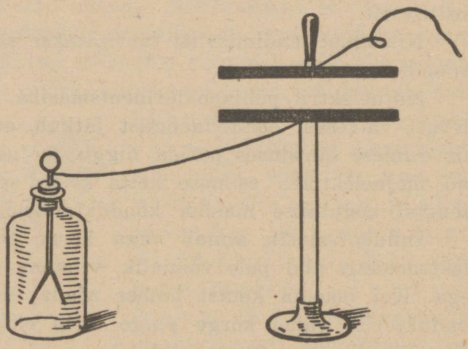
155. **Kondensaator.** Ühendame isoleerivale alusele asetatud metallplaadi traadi kaudu elektroskoobiga ja anname siis plaadile suure elektrilaengu, et elektroskoobi hälve oleks küllalt suur. Kui lähendame nüüd metallplaadile teise samasuguse metallplaadi, mis traadi kaudu maandatud, siis näeme, et mida lähemale toome isoleeritud plaadile maandatud metallplaadi, seda väiksemaks muutub elektroskoobi lehekeste hälve. Kui metallplaadid on teineteisele üsna lähedal (et nad teineteist ei puudutaks, selleks asetame nende vahele näiteks parafiiniriba), siis võib elektroskoobi hälve langeda nullini. Viime maandatud plaadid eemale, siis näitab elektroskoop sama hälvet, seega niisama kõrget pinget.

Seda nähtust võime seletada järgmiselt. Metallplaadil olev elektrilaeng tekitab maaga ühenduses olevas metallplaadis mõjuelektri laengud, lähemal poolel teisenimelise laengu, kaugemal poolel samanimelise

elektrilaengu. Viimane kui vaba laeng voolab traadi kaudu maasse. Teisenimeline mõjuelektri laeng seob osa isoleeritud plaadil olevat laengut, mistõttu elektroskoobi leheke langeb.

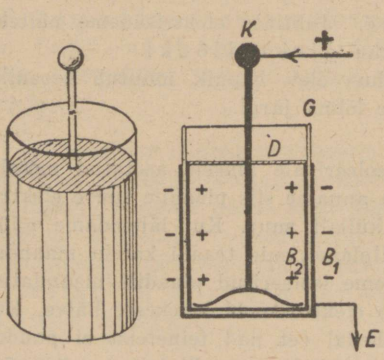


204. joon.
Influentselektrimasin.



205. joon. Kondensaatori printsiip.

Seega keha, mille lähedal asetseb teine maaga ühendatud keha, mahutab suurema elektrilaengu kui üksik metallkeha. Sel puhul öeldakse, et keha omab suuremat **elektrimahutavust.** Seadist, mis koosneb kahest isoleeriva kihiga eraldatud metallplaadist ja mille elektrimahutavus on suur, nimetatakse **kondensaatoriks.** Katsed näitavad, et kondensaatori elektrimahutavus oleneb plaatide suurusest, isoleeriva kihi paksusest ja isoleeriva kihi ainest. Näiteks kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on parafiin, omab suuremat elektrimahutavust kui samasugune kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on õhk.



206. joon. Leideni purk.

Tuntumaid ja vanemaid kondensaatoreid on **Leideni purk** (206. joon.). See koosneb silindrilisest klaasanumast, mille väline ja sisemine pind kuni ¾ kõrguseni on kaetud tinapaberiga. Ülemine vaba äär on isolatsiooni suurendamiseks lakitud. Kaant moodustavat puu- või pappketast läbib metallvarb, mille alumine ots on ühenduses sisemise tinapaberiga, väline ehk ülemine ots on varustatud metallkuu-

liga. Leideni purk laetakse seega, et influentsmasina üks konduktor ühendatakse Leideni purgi sisemise kihiga, s. o. metallkihiga, kuna väline kiht ühendatakse maaga, samuti ühendatakse maaga ka masina teine konduktor. Leideni purk tühjendatakse erilise isoleeriva käepidemega varustatud tühjendaja abil. Leideni purgi tühjendamisel tekkinud sädet saadab tugev ragin. Ka võib see säde läbi lüüa pappi, klaasi jne.

Õhuelekter.

156. Välk. Et välk on suur elektrisäde, seda näitas esimesena ameerika teadusmees B. Franklin aastal 1752.

Õhus on alati elektrit, nii selge kui ka pilves ilmaga. Seejuures on pilv harilikult selge ilmaga positiivselt, maa aga negatiivselt elektriline. Äikesepilved on mõnikord positiivselt, teinekord jälle negatiivselt laetud. On pilvesse kogunenud suured elektrihulgad, siis tekib hiiglasuur elektrisäde, **välk.** Välguga



207. joon. Öine välk.

üheaegne on alati müristamine, kuid et hääle levimiskiirus on väiksem kui valguse levimiskiirus, siis kuuleme müristamist pisut hiljem. Müristamist põhjustab välgu teel kuumenenud õhk, mis plahvatuse taoliselt suure kiirusega paisub.

Välk võib tekkida kahe pilve või pilve ja maapinna vahel. Tähelepanekuist teame, et kui välk tekib pilve ja maapinna vahel, siis lööb ta sisse harilikult kõrgematesse kohtadesse, tornidesse, postidesse, puudesse, majadesse, eriti aga kõrgetesse metallkehadesse. Seepärast pole soovitav minna äikese ajal varju üksiku kõrge puu alla.

Välgu kestus on väga lühike, müristamine kestab sageli mitu sekundit. Kuidas seda nähtust seletada?

157. Piksevarras. Välk, tabades puid ja hooneid, purustab neid ja süütab põlema; inimestesse ja loomadesse sattudes lööb need surnuks või uimaseks.

B. Franklin, kes esimesena näitas, et välk on elekter, leiutas ka abinõu hoonete kaitsemiseks pikse vastu, nimelt p i k s e v a r d a. Piksevarras on jäme terava otsaga metallvarb. (Liiga peenike varb võib välgu mõjul kuumaks minna ja ära sulada.) Ta kinnitatakse maja katusele, torni otsa või mujale ja ühendatakse juhtme kaudu maaga. Kuiv muld on halb elektrijuht; seepärast asetatakse juhtme ots kas sügavasse märga mulda või lähedalolevasse kaevu, et elekter paremini võiks levida ja laeng varda otsa ei koguneks. Kui piksevarda kohale ilmub äikesepilv, mis on näit. positiivselt elektriline, siis tõmbab ta enda külge maapinna negatiivse elektri; see läheb piksevarda teraviku kaudu õhku ja ühineb pilve elektriga. Nii jääb pikselöök tulemata või ilmub ainult nõrgal kujul. Piksevarras kaitseb ainult piirkonda, mille raadius võrdub piksevarda (vastuvõtva osa) pikkusega. Suurtel hoonetel on seepärast mitu piksevarrast. Seejuures kõik hoones olevad suuremad metallimassid, nagu keerdtrepid, vee- ja gaasitorustikud, tuleb ühendada maaga.

Varemini arvati, et piksevarda ülemine ots ei tohi olla roostes, mispärast see sageli oli kullatud. Uuemal ajal on leitud, et seda pole tarvis, sest rooste just hõlbustab veel elektri üleminekut piksevarda teravikust õhku.

1. Millega seletada, et linnades pikseõnnetusi vähem juhtub kui maal?
2. Missuguseid ettevaatusabinõusid tuleb pikseõnnetuste ärahoidmiseks tarvitusele võtta: 1) majas, 2) tänaval ja 3) lagedal väljal?
3. Kas võivad maja lähedal kasvavad kõrged puud, kuused, männid jne. piksevarda aset täita?

Elektrivool ja selle omadused.

158. **Elektrivoolu mõiste.** Elektrivool on igapäevases elus ja tehnikas laialdaselt rakendatud: elektrihõõglambis paneb elektrivool peenikese metallniidi hõõguma, mida tarvitatakse valgusallikana, triikraua kuumaks ajamiseks juhime triikrauast elektrivoolu läbi, elektrivoolu abil saadame teateid kauge maa taha (telegraaf) jne. Elektrivoolu võime võrrelda, nagu juba varemini nägime, veevooluga. Et vesi voolaks toru kaudu ühest anumast teise, seks peavad olema veepindade kõrgused (tasemed) anumais erisugused. Elektrivoolu tekkimiseks on tarvilik pinge: eripingeliste konduktorite ühendamisel tekib lühikese kestusega elektrivool. Et saada kestvat veevoolu anumate vahel, seks tuleks pumbata vett ühest anumast teise, s. o. hoida anumais veepindade kõrguste vahe. Et saada kestvat elektrivoolu, seks on tarvilik kestev elektripinge.

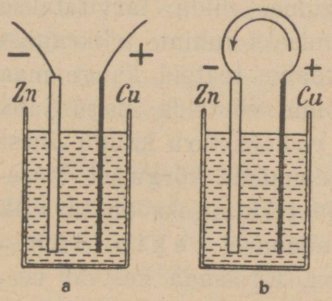
159. **Galvaani element.** Kestva elektrivoolu annavad seadised, mis põhinevad järgmisel nähtusel.

Asetame nõrka väävelhappelahusesse vask- ja tsinkplaadid. Väga tundliku elektroskoobiga võib näidata, et vaskplaadil on siis nõrk positiivne laeng, kui tsinkplaat ühendada maaga, ja tsinkplaadil on nõrk negatiivne laeng, kui vaskplaat maandada. Tsink- ja vaskplaadi vahel on nõrk pinge, umbes 1 volt. Ühendades vaskplaadi tsinkplaadiga metalltraadi ehk nn. juhtme kaudu, tekib selles **kestev elektrivool.**

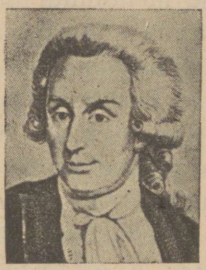
Lahjendatud väävelhappesse asetatud vask- ja tsinkplaadi vahel hoiab pinge alal keemiline tegevus plaatide ja vedeliku vahel. Kestev pinge põhjustab ka kestva elektrivoolu. Siinkirjeldatud seadist, mis annab kestva elektrivoolu, nimetatakse **elektri-** ehk **galvaani elemendiks.** Põhjust, mis hoiab elektrielemendis alal pinge, nimetatakse **elektromotoorseks jõuks.** Elektromotoorse jõu suurust mõõdab pinge, seega selle ühikuks on volt (V).

Sõna „galvaani" tuleneb itaalia loodusteadlase L. Galvani nimest, kes esimesena avastas nähtuse, millel põhineb galvaani element. Õige seletuse aga sellele nähtusele andis esimesena itaalia füüsik A. Volta.

Metallplaati, mis omab positiivset laengut, antud juhul vask, nimetatakse **anoodiks,** teist, negatiivselt laetud plaati nimetatakse **katoodiks,** mõlemaid aga elemendi **elektroodideks.** Seejuures nimetatakse vedelikust välja ulatuvate elektroodide otsi, millede vahel on elektripinge — **poolusteks.** Eristatakse positiivset ja negatiivset poolust vastavalt nende pingele.



208. joon.
Avatud ja suletud galvaani element.



209. joon.
L. Galvani.

Katsed näitavad, et elemendi elektromotoorne jõud ei olene elemendi plaatide suurusest, vaid ainult elektroodide ja vedeliku ainesest.

Elektrimasina konduktoreid omavahel ühendades saame kestva elektrivoolu, kuid voolava elektri hulk on liiga väike, mistõttu sel teel tekkinud vool on nõrk.

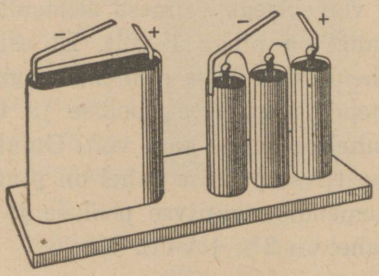
Elektrivoolu suunaks loetakse kokkuleppe põhjal **suunda positiivselt pooluselt negatiivsele poolusele.**

160. Voolu tugevus. Veevoolu, samuti ka gaasivoolu tugevuse ühikuks on vee või gaasi hulk, mis 1 sekundi kestel läbi toru voolab. Nii avaldatakse sageli veevoolu tugevus kuupmeetrites või liitrites 1 sek. kohta. Analoogiliselt võime defineerida ka elektrivoolu tugevust kui elektrihulka, mis 1 sek. kestel läbi juhtme voolab. Sel teel defineeritud elektrivoolu tugevuse ühikuks on **1 amper** (A), mis tuletatud prantsuse füüsiku A. M. Ampère'i nimest (vt. lk. 191). 0,001 amprit nimetatakse **milliampriks** (mA).

161. Galvaani elemente. Eespool-kirjeldatud elektrielemente tegelikult ei tarvitata, sest nende pinge pole püsiv, vaid

tarvitamisel langeb suuresti. Tarvitatavamad galvaani elemendid on järgmised.

Leclanché element. Selle katoodiks on tsink, anoodiks süsi, mida ümbritseb mangaani ülihapend. Vedelikuks on salmiaagilahus. Leclanché elementi tarvitatakse elekterkõlistajates, telegraafiaparaatides jm. Ta pinge on 1,5 volti, kuid tarvitamisel langeb see pisut. Eriti tunduvalt langeb ta pinge siis, kui voolutugevus on suur.

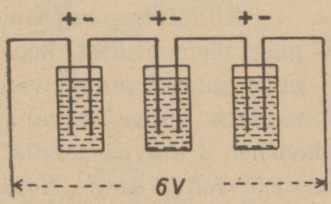


210. joon. Taskulambi patarei.

Kuivelement. See element on sarnane Leclanché elemendiga, ainult ta vedelik on saepuruga ja muu sellesarnase materjaliga muudetud paksuks pudruks. Tavaliselt on kuivelement pealt kaetud pigiga. Kuivelemente tarvitatakse vooluallikatena telefoni- ja telegraafiaparaatides, elekterkõlistajais ja mujal. Laialdast tarvitamist leiab kuivelement ka elektritaskulambis. Selles on voolu allikaks nn. taskulambi patarei, mis koosneb tavaliselt 3 kuivelemendist.

Lõhu tarvitatud taskulambi patarei ja vaata, millest koosnevad ja miskujulised on selle elektroodid.

Galvaani elementides muundub keemiline energia elektrienergiaks. Lõhkudes tarvitatud taskulambi patarei, leiame selles kolm elektrielementi. Üksikute elementide tsinkelektroode järele vaadates paneme tähele, et need on „läbi põlenud", s. o. tsink on ühinenud elemendi vedelikuga, kusjuures vabanenud keemilise energia arvel tekkiski elektrivool.



211. joon. Jadalülitus.

162. Elektripatarei. Kõrgemate pingete saamiseks lülitatakse mitu elementi **järjestikku** (jadalülitus), s. o. ühe elemendi positiivne poolus ühendatakse teise elemendi negatiivse poolusega, teise elemendi positiivne

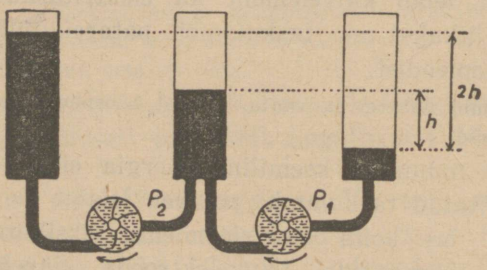
poolus kolmanda elemendi negatiivse poolusega jne. Seega jäävad vabaks esimese elemendi negatiivne poolus ja viimase elemendi positiivne poolus. Nende vahel olev pinge on võrdne kõikide elementide pingete summaga.

Olgu kõikide ühendatavate elementide elektromotoorsed jõud 1 volt. Seega esimese elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel on pinge 1 volt. Et esimese elemendi positiivse pooluse ühendasime teise elemendi negatiivse poolusega, siis esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi negatiivse pooluse vahel on pinge ka 1 volt. Omakorda teise elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel on pinge 1 volt. Siit järgneb, et esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi positiivse pooluse vahel on 2×1 volti, jne.

1. Kui kõrge pinge annab patarei, mis koosneb 15 järjestikku ühendatud Leclanché elemendist?

2. Mitu Leclanché elementi tuleb ühendada järjestikku, et patarei pinge oleks 110 volti?

Järjestikku ühendatud elementide tegevust võib võrrelda järjestikku ühendatud veepumpade tegevusega, milledest igaüks suudab anda teatava suurusega veetasemete vahe, seega hoida ka vastavat rõhuvahet (212. joon.).



212. joon. Järjestikku ühendatud veepumbad.

Mitmest elektrielemendist koosnevat vooluallikat nimetatakse **elektripatareiks.**

Küllalt suurest hulgast elementidest koosneva patarei pinget võib näidata juba tavalise elektromeetri abil. Taskulambi patarei koosneb 3 kuivelemendist, iga elemendi elektromotoorne jõud on 1,5 volti; seega kogu patarei elektromotoorne jõud on 4,5 volti.

Elektripatareisid tarvitatakse voolu- ja pingeallikatena laialdaselt raadiotehnikas ning mujal. Raadiotehnikas tarvitatav nn. anoodpatarei koosneb mitmest järjestikku ühendatud kuivelemendist.

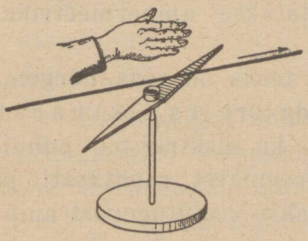
Galvaani elemente võib ühendada patareiks ka **paralleelselt** ehk **kõrvuti.** Niisugusel lülitamisel ühendatakse kõikide elementide positiivsed poolused isekeskis, samuti ka kõik negatiivsed poolused isekeskis. Niisugune patarei mõjub kui üks suur element samast liigist. Seega paralleelselt ühendatud elementide patarei pinge pole kõrgem kui iga üksiku elemendi pinge.

Paralleelselt ühendatud elektripatareid tarvitatakse seal, kus vajalik madalapingeline, kuid tugev vool, sest sellise ühenduse puhul liituvad kõikide elementide voolud, mistõttu patarei koguvool on suurema voolutugevusega kui üksiku elemendi vool.



213. joon. André Marie Ampère [loe: ampäär], kuulus prantsuse füüsik ja matemaatik (1775—1836), avaldas teedrajavaid uurimusi elektromagnetismi alalt.

163. Elektrivoolu magnetiline toime. Elektrivoolu ei saa me otseselt tajuda. Näiteks meie ei saa nägemise ega kuulmise kaudu otsustada, kas juhet läbib elektrivool või mitte. Elektrivoolu olemasolu üle võime otsustada ainult ta toimete järgi. Hoiame magnetnõela kohal voolujuhtme rööbiti magnetnõelaga, kuid viimasest pisut kõrgemal, nagu kujutatud 214. joonisel. Niipea kui juhime voolu läbi kirjeldatud juhtme, kaldub magnetnõel oma tavalisest põhja—lõuna sihist kõrvale.

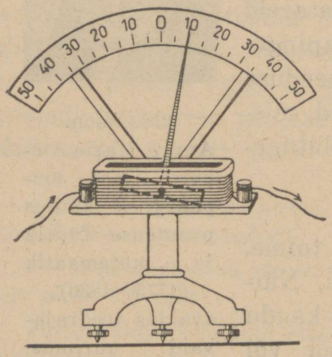


214. joon. Voolu mõju magnetnõelale.

Korrates sama katset, kui voolu juhe on allpool, paremal või vasemal pool magnetnõela, näeme, et iga kord voolu mõjul magnetnõel püüab asetuda risti voolusuunaga. Seda magnetnõela kõrvalekaldumise suunda võime väljendada järgmiselt (Ampère'i seadus, ka parema käe seadus): kui parem käsi välja sirutada voolu suunas ja hoida seejuures peopesa magnetnõela poole juhtme kohal,

siis kaldub magneti põhjapoolus sinnapoole, kuhu näitab pöial. Katsed näitavad, et see kõrvalekaldumine on seda suurem, mida suurem on juhet läbiva voolu tugevus. Selle nähtuse avastas taanlane Örsted 1820. aastal.

164. Galvanomeeter. Voolu mõju magnetnõelale võib suurendada, kui tõmmata voolujuhe mitu korda ümber magnetnõela, nii et magnetnõel jääks voolujuhtmete keerdude keskele. Seda kasutatakse **galvanoskoopide** ja teiste elektri-mõõduriistade ehitamisel.



215. joon. Vertikaal-galvanoskoop.

Lihtsa galvanoskoobi moodustab kompassinõel, mille ümber tõmmatud rida isoleeritud traadikeerde.

Vertikaal-galvanoskoopi kujutab 215. joon. Selle galvanoskoobi magnet on osutiga varustatud ja võib kaalukangi-taoliselt horisontaalse telje ümber pöörduda. Ta on asetatud paljudest keerdudest koosnevasse traatpooli. Niipea kui pooli läbib vool, kaldub magnet oma tavalisest horisontaalsest tasakaalu-asendist välja. Nii näitab galvanoskoop, kas vooluahelas on vool. Galvanoskoopi, mis varustatud astmikuga, millelt võib lugeda voolutugevust, nimetatakse **galvanomeetriks.** Galvanomeetrit, mille astmikul märgitud voolutugevus ampreis, nimetatakse **ampermeetriks.**

165. Takistus. Veevoolu tugevus torus on seda nõrgem, mida peenem on toru. Seega võime rääkida toru takistusest veevoolule. Analoogiline nähtus esineb ka elektrivoolu puhul.

Võtame galvaani elemendi, tüki peenikest raudtraati ja ampermeetri — riista, mille abil mõõdetakse voolutugevust amprites. Ühendame elemendi ampermeetriga pika raudtraadi kaudu ja paneme tähele voolutugevust. Olgu voolutugevus näiteks 0,4 amprit. Nüüd ühendame ampermeetri elemendiga hästi lühikese sama raudtraadi osa abil ja paneme uuesti tähele voolutugevust, mis on endisest juba märksa suurem, näiteks 0,8 amprit. Tehtud katse näitab, et peenike raudtraat elektrivoolu läbimine-

mist takistab. Mida pikem traat, seda suurem on tema takistus ja seda väiksem voolutugevus.

Nüüd võtame mitu ühepikkust, kuid mitmesuguse jämedusega raudtraati ja lülitame nad kordamööda vooluahelasse.

Katse näitab, mida peenem on traat, seda väiksem on voolutugevus, seega seda suurem on ta takistus.

Takistuse ühikuks on võetud **1 oom** (Ω).

Sõna „oom" tuleneb saksa füüsiku Ohm'i nimest. Oom on takistus, mida omab **elavhõbedasammas, mille kõrgus on 106,3 cm ja mille ristilõige on 1 mm^2.**

Katsed näitavad, et juhtme takistus oleneb juhtme pikkusest ja juhtme ristilõike suurusest: juhtme takistus on võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline juhtme ristilõikega.

Lülides vooluahelasse enne näiteks raudtraadi, siis niisama jämeda ja pika vasktraadi, näeme, et vasktraadi puhul on voolutugevus suurem kui raudtraadi puhul. Sellest järeldame, et raudtraadi takistus on suurem kui niisama pika ja jämeda vasktraadi takistus.

Seega juhtme takistus oleneb ka juhtme materjalist. 1 m pikkuse ja 1 mm^2 ristilõikega traadi takistust nimetatakse vastava aine **eritakistuseks.**

Järgmises tabelis on antud mõnede ainete eritakistused:

vask	0,02	nikeliin	0,40
alumiinium	0,03	kroomnikkel	1,1
raud	0,12		

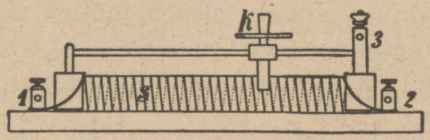
Nagu sellest tabelist näha, on vase, samuti ka alumiiniumi eritakistused väikesed. Seetõttu valmistatakse juhtmed peamiselt vasktraadist, harvemini alumiiniumist.

1. Kui suur takistus on vasktraadil, mille ristilõige on 0,5 mm^2 ja pikkus 50 m?
2. Tartu ja Tallinna vahelise telegraafiliini traat on rauast. Kui suur on selle takistus, kui liini pikkus on 191 km ja traadi läbimõõt on 4 mm?
3. Kui pikka nikeliintraati tuleb tarvitada reostaadi ehitamiseks, kui reostaadi takistus peab olema 20 oomi ja traadi ristilõige on 2 mm^2?
4. Kui suur on elavhõbeda eritakistus?

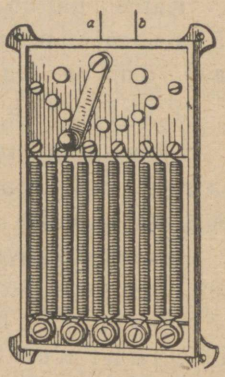
5. Kui suur on vasktraadi takistus, mille läbimõõt on 0,5 mm ja traadi kogu kaal on 2 kg?

6. Kui pikk on 1 mm^2 ristilõikega vasktraat, mille takistus on 1 oom? Kui pikk on samasuguse ristilõikega ja takistusega hõbetraat?

166. Reostaat. Et voolutugevus oleneb vooluahela takistusest, siis tarvitatakse sageli tehnikas voolutugevuse reguleerimiseks erilisi takistusi, mis lülitatakse vooluahelasse ja mille takistust võib soovi järgi muuta. Niisuguseid takistusi nimetatakse **reostaatideks.** Eriti pidevalt võimaldab takistust muuta nn. **rullreostaat** (216. joon.). See koosneb spiraalina isoleerivale



216. joon. Rullreostaat.



217. joon. Väntreostaat.

silindrile keritud nn. takistustraadist. Spiraali üksikud keerud on üksteisest isoleeritud traadi pinnale tekkinud oksüüdikihiga. Takistustraadi üks ots on ühendatud klemmiga 1, teine ots klemmiga 2, kuna klemmiga 3 on ühendatud liikuv kontakt *K*, mis võib spiraalide peal edasi-tagasi nihkuda, võimaldades seega muuta kontaktide 1 ja 3 vahele lülitatud keerdude arvu.

217. joonis kujutab **väntreostaati.** Seleta selle tegevust!

Takistustraatidena reostaatides tarvitatakse esijoones suure eritakistusega traate, nagu nikeliin-, kroomnikkeltraati jne.

167. Sisetakistus. Galvaani elemendi puhul tuleb arvestada ka seda, et elemendi vedelik ja elektroodid omavad takistust. Ses mõttes räägime elemendi **sisetakistusest.** Kogu vooluahela takistus koosneb seega välisjuhtmete takistusest ja sisetakistusest. Kui tarvitada suure sisetakistusega elementi, siis ei saa suure tugevusega voolu, vaatamata sellele, et tarvitame väikese takistusega välisjuhtmeid. Ühendame küllalt suure sisetakistusega elemendi poolused üksteisega, siis saame nn. suletud vooluahela. Mõõtes nüüd pinget pooluste vahel leiame, et see on väiksem kui avatud elemendi pooluste pinge. Selle põhjuseks ongi elemendi sisetakistus. Avatud

elemendi pooluste pinge on võrdne elemendi elektromotoorse jõuga. Suletud elemendi pooluste pinget nimetatakse sageli **klemmide pingeks.** Klemmide pinge langeb tunduvalt suure sisetakistuse ja suure voolutugevuse juures.

Järjestikku ühendatud galvaani elementide patarei sisetakistus on võrdne kõikide elementide sisetakistuse summaga, seevastu rööbiti ühendatud galvaani elementide patarei sisetakistus on väiksem kui iga üksiku elemendi sisetakistus.

168. **Ohmi seadus.** Eespool nägime, et voolutugevus oleneb ahela juhtmete takistusest ja vooluallika pooluste pingest ehk elektromotoorsest jõust. Nüüd vaatame lähemalt, kuidas oleneb voolutugevus takistusest ja pingest.

Võtame ühe elemendi, ühendame ta küllalt pika traadi abil (et suuremat takistust saada) ampermeetriga ja paneme tähele voolutugevust. Olgu voolutugevus näiteks 0,4 amprit. Nüüd seame ahelasse ühe elemendi asemel kaks järjestikku ühendatud elementi, mis kaks korda suurema pinge annab. Takistuse jätame endiseks. Voolu tugevust tähele pannes leiame, et ta on 0,8 amprit. Niisiis, pinget kaks korda suurendades suurenes kaks korda ka voolutugevus. Katsed näitavad, et alati, kui kõik muud tingimused samadeks jäävad, on voolutugevus võrdeline pingega.

Vastavalt uurime voolutugevuse olenevust takistusest seega, et muutumatu pinge, näiteks 4 volti, puhul lülitame üksteise järele takistused 2 oomi, 4 oomi, 8 oomi jne. Voolutugevuse mõõtmised annavad vastavalt 2 amprit, 1 amper, 0,5 amprit jne.

Katsed näitavad seega, et voolutugevus on pöördvõrdeline takistusega.

Voolutugevuse olenevust takistusest ja pingest üheks lauseks koondades saame nn. **Ohmi seaduse: elektrivoolu tugevus on võrdeline pingega (elektromotoorse jõuga) ja pöördvõrdeline takistusega** ehk lühidalt

$$I = \frac{U}{R},$$

kus I on voolutugevus, U pinge, R takistus.

Ohmi seadus võimaldab seega arvutada pingest ja takistusest voolutugevust, samuti ka pinget või takistust, kui teised kaks on antud.

1. Kui suur on hõõglampi läbiva voolu tugevus, kui pinge on 220 V ja takistus 1100 Ω ?

2. Kui suur on elekter-triikraua takistus, kui 220-voldisel pingel on voolutugevus 2 A?

3. Metallniidiga elektrihõõglamp, mille takistus on 440 oomi, on lülitatud valgustusvõrku, kusjuures lampi läbib 0,5-amprine vool. Kui kõrge on pinge?

4. Kui tugeva voolu annab galvaani element, mille elektromotoorne jõud on 1,8 volti ja sisetakistus 0,2 oomi, kui ahela välistakistus on 2,8 oomi?

5. Mitu amprit on voolutugevus neljas paralleelselt lülitatud hõõglambis kokku, kui iga hõõglambi takistus on 1100 oomi ja pinge on 220 volti?

6. 5 Leclanché elementi on ühendatud järjestikku. Kui suur on voolutugevus, kui iga üksiku elemendi sisetakistus on 0,8 oomi ja voolu ahela välistakistus on 10 oomi?

169. Mõõduriistad. Tavaliselt on galvanomeetri ja ampermeetri mähised valmistatud peenikesest traadist, mistõttu need suure voolutugevuse puhul võivad läbi põleda. Et mõõta ka suuri voolutugevusi, seks lülitatakse riista klemmide vahele *harutakistus*. Siis läheb osa voolu läbi harutakistuse, osa voolu läbi riista mähise. Kui harutakistus on nii valitud, et $\frac{1}{100}$ kogu voolust läbib riista mähise, $\frac{99}{100}$ voolu läbib harutakistuse, siis astmiku iga kriipsuvahe jaotis tähendab 100 korda tugevamat voolu. Sedaviisi on võimalik haruvoolu põhjal hinnata peavoolu tugevust.

Ampermeetri takistus peab olema väga väike võrreldes vooluahela muude osade takistusega, sest vastasel korral selle lülitamine vooluahelasse avaldaks mõju voolutugevusele.

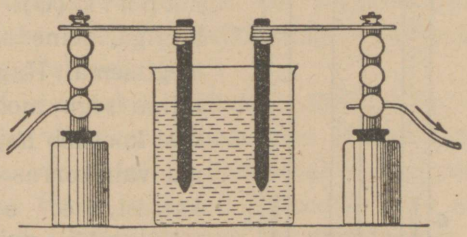
Voolutugevuse mõõtmisel ampermeetriga lülitatakse ampermeeter vooluahelasse järjestikku.

Pinge mõõtmiseks tarvitatakse erilisi riistu, *pingemõõtjaid*. Pingemõõtjat, mille astmikult võib lugeda otseselt pinget

voltides, nimetatakse **voltmeetriks.** Iga galvanoskoopi võib ümber ehitada voltmeetriks. Seks lülitatakse riistaga järjestikku suur e e l t a k i s t u s. On näiteks riista mähise ja eeltakistuse kogu takistus 1000 oomi, siis 1-voldise pinge puhul on voolutugevus Ohmi seaduse järgi 0,001 A, 2-voldise pinge puhul 0,002 A jne. (sest muu ahelaosa takistus on väike võrreldes riistatakistusega). Seega riista osuti hälve on võrdeline pingega. Voltmeetriga võime mõõta ka suletud vooluallika pinget. Seks tuleb voltmeeter lülitada ahelasse rööbiti voolu tarvitava riistaga. Lühiühendust seejuures karta pole, sest voltmeetri takistus on, nagu nägime, väga suur. Üldiselt a m p e r m e e t e r l ü l i t a t a k s e a l a t i j ä r j e s t i k k u j a v o l t m e e t e r r ö ö b i t i v o o l u t a r v i t a v a r i i s t a g a.

Elektrolüüs.

170. Vasevitrioli elektrolüüs. Kallame klaasanumasse, näiteks keeduklaasi, vasevitrioli lahust ja asetame sinna vedelikku kaks söepulka või plaatinapleki riba (218. joon.). Ühendame söepulgad või plaatinaribad vooluallika poolustega ja juhime elektrivoolu läbi vasevitrioli lahuse. Lühikese aja pärast paneme tähele, et üks söepulk, mis ühendatud vooluallika negatiivse poolusega, on kattunud metalse vasekihiga.

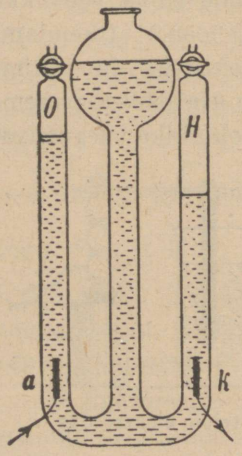


218. joon. Vasevitrioli elektrolüüs.

Katsed näitavad, et **elektrivoolu toimel lahutub keemiliselt vasevitrioli** ($CuSO_4$) **lahus.** Niisugust keemilist lahutamist nimetatakse **elektrolüüsiks,** lahutatavat vedelikku, antud juhul vasevitrioli lahust, nimetatakse **elektrolüüdiks.** Seejuures söepulki või plaatinaribasid, millede kaudu juhitakse vool elektrolüüti, nimetatakse **elektroodideks,** ja nimelt negatiivse poolusega ühendatud elektroodi nimetatakse **katoodiks,** positiivse poolusega ühendatud elektroodi **anoodiks.**

Täidame nüüd klaasanuma destilleeritud veega ja juhime sellest voolu läbi, s. o. ühendame vette pistetud elektroodid vooluallikaga. Sel juhul vooluahelasse lülitatud galvanomeeter ei näita voolu, millest järeldame, et destilleeritud vesi ei juhi elektrivoolu. Alles kui veele lisandame hapet, soola või leelist, hakkab vesi elektrit juhtima, kusjuures toimubki keemiline lahutamine.

171. **Vee elektrolüüs.** Juhime elektrivoolu läbi vee, millele juurde lisatud väävelhapet, teiste sõnadega, läbi väävelhappe lahuse. Niipea kui voolu ühendame, algab elektroodidel elav gaasimullide tekkimine, mis sealt veepinnale tõusevad. Et paremini uurida tekkinud gaase, seks tarvitame riista, nagu seda 219. joon. kujutab. Riista mõlemasse harusse on juhitud plaatinast elektroodid. Elektrivoolu läbimisel tekivad elektroodidel gaasimullikesed, mis mööda torusid üles tõusevad ja kogunevad suletud kraanide puhul torude ülemistesse otstesse, kusjuures vedeliku pind neis vastavalt langeb. Katse näitab, et torus, kus asetseb katood (*k*), tekib ruumala poolest kaks korda rohkem gaasi kui selles torus, kus asetseb anood (*a*). Neid gaase järele katsudes leiame, et katoodil on tekkinud vesinik (H), anoodil hapnik (O). Esimene põleb nõrga sinise leegiga, teine paneb hõõguva söe heledalt leegitsema. Hapniku ja vesiniku mehhaaniline segu moodustab nn. **paukgaasi.** Et vesi koosneb hapnikust ja vesinikust ruumala vahekorras 1 : 2, siis järeldame sellest katsest, et elektrivool läbides väävelhappelahuse lahutab vee keemilisteks algosadeks — hapnikuks ja vesinikuks.



219. joon. Vee elektrolüüsi riist.

Nii võib elektrivoolu abil lahutada ka teisi soolalahuseid, seebikivi jne. Seejuures elektrolüüsil vabanenud vesinik ja metallid sadestuvad alati katoodile, ülejäänud ained anoodile.

Katsed näitavad, et ajaühiku kestel lahutatud aine hulk oleneb voolutugevusest ja nimelt lahutatud aine hulk on *võrdeline voolutugevusega*. Selle seaduse põhjal on võimalik voolutugevust mõõta. Samuti võimaldab see seadus määrata voolutugevuse ühikut. Kokkuleppel on võetud voolutugevuse ühikuks 1 amper: **1 amper on voolutugevus, mis eraldab 1 sek. kestel hõbedasoola lahusest 1,118 mg hõbedat.**

1. Kui suur on voolutugevus, mis 10 minuti kestel lahutab 0,671 g hõbedat?
2. Mitu g hõbedat lahutab elektrivool 30 minuti kestel, kui voolutugevus on 1,5 amprit?

172. Elektrolüüsi rakendamine. Elektrolüüsi nähtused leiavad laialdast praktilist tarvitamist kehade õhukese metallikihiga katmisel (*kuldamisel, hõbetamisel, nikeldamisel*), reljeefkujude kopeerimisel, keemiliselt puhta metalli (vase, alumiiniumi jne.) saamisel.

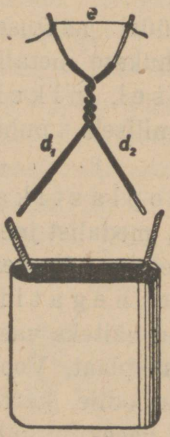
Esemetest reljeefkujude saamine (*galvanoplastika*) toimub järgmiselt. Antud esemeist (näit. rahast, medalist jne.) tehakse vahast või kipsist negatiivkuju ja kaetakse õhukese grafiidikorraga, et kuju pinda juhtivaks teha. See *negatiiv* ehk *matriitskuju* asetatakse vanni, milles on näiteks vasevitriolilahus. Kuju on katoodiks, anoodiks on vaskplaat. Voolu läbi lastes eraldub lahusest vask ja koguneb katoodile, kattes asja negatiivkuju pinda tiheda vasekihiga. On vasekiht juba küllalt paks, siis katkestatakse vool. Negatiivile kogunenud vasekiht ongi antud asja täpne positiivkuju.

Kui elektrolüüsi abil soovitakse näiteks hõbedaga katta esemeid, siis elektrolüüdiks võetakse hõbedasoola lahus, hõbetatav ese asetatakse sinna vedelikku ja ühendatakse vooluallikaga negatiivse poolusega. Voolu läbimisel katoodiks olev ese kattub õhukese hõbedakihiga. Samuti toimub ka nikeldamine.

Et elektrolüüsil katoodile kogunenud metallid on keemiliselt puhtad, siis tarvitatakse seda meetodit sageli puhtate metallide saamiseks.

Elektrolüüsi tarvitatakse laialt ka nende metallide saamiseks, mida keemiliselt raske ja kulukas on eraldada keemilistest ühendeist. Nii saadakse kõigile tuntud metall alumiinium elektrolüüsi abil alumiiniumiühendeist.

173. Elektrivalgustus. Hõõglamp. Teame, et taskulambi pirnis olev metallniit hakkab hõõguma, kui temast läbi lasta elektrivool. Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse: kinnitame kahe klemmi või traadi vahele peenikese kroomnikkel- või mingi muu takistustraadi ja juhime temast läbi elektrivoolu (220. joon.). Elektrivoolu läbimisel hakkab traat hõõguma, kusjuures ta seda heledamalt hõõgub, mida suurem on voolutugevus. Seega juhe, mida läbib elektrivool, soojeneb.



220. joon. Voolusoojus.

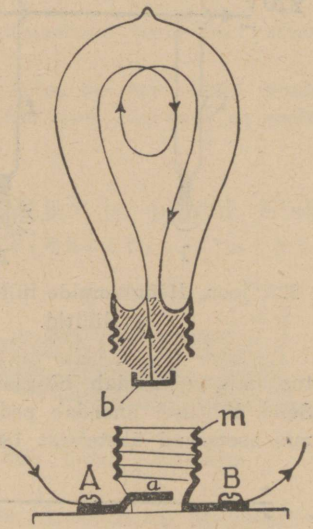
Nüüd kinnitame kahe klemmi vahele traadi, mis koosneb kolmest osast: jämedast vasktraadist, peenikesest vasktraadist ja peenikesest kroomnikkeltraadist. Juhtides läbi selle traadi elektrivoolu näeme, et jäme vasktraat voolu toimel ei soojene märgatavalt, peenike vasktraat soojeneb pisut, kuna kroomnikkeltraat hakkab hõõguma.

Et jämeda vasktraadi takistus on väike, peenikese vasktraadi takistus pisut suurem ja kroomnikkeltraadi takistus on suur, siis järgneb sellest katsest, et elektrivoolu toimel soojeneb see osa juhtmest, mille takistus on suur (näiteks hõõgniit elektripirnis), kuna see osa juhtmest, mille takistus on väga väike, ei soojene märgatavalt (juhtmed, millede kaudu juhitakse vool tarvitajaile). Sellel nähtusel põhineb elektrihõõglampide ehitus.

Elektrihõõglamp ehk -pirn koosneb õhutühjast klaaspirnist, millesse on paigutatud peenike söest või metallist hõõgniit. Hõõgniidi jämedus ja pikkus on nii valitud, et ta antud pinge puhul voolu läbimisel parajasti heledasti hõõgub, kuni 2000° C. Õhk on pirnist välja pumbatud, et takistada hõõgniidi läbipõlemist. Jälgi 221. joonise järgi, kuidas juhitakse vool hõõgniiti.

Ainult väga väike osa elektrienergiast muutub hõõglambis valgusenergiaks, suurem osa sellest muutub soojuseks. Katsed

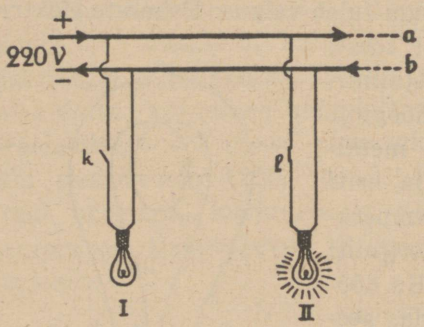
näitavad, et mida kõrgem on hõõgniidi temperatuur, seda suurem on energiahulk, mis muutub valguseks. Seega — mida kuumem on hõõgniit, seda odavam tuleb valgus. Esimeste elektrilampide hõõgniidid valmistati söest, praegusajal tarvitatakse metallniidiga hõõglampe. Neis on hõõgniit valmistatud raskesti sulavaist metallidest tantaalist, osmiumist ja eriti volframist. Viimase sulamistemperatuur on 3500°. Volframist hõõgniiti võib kuumendada kuni 2600°. Ka hõõguv metallniit võib ära põleda, seepärast ka sel puhul pumbatakse pirn õhutühjaks. Kuid kõrge temperatuurini kuumendatud metallniit pihustub aja jooksul, s. o. muutub tolmuks, mis sadestub elektripirni klaasseintele. Kaitseks pihustumise vastu täidetakse pirn gaasiga, mis keemiliselt hõõgniidiga ei ühine, näiteks lämmastiku või argoniga.



221. joon. Hõõglamp.

Hõõgniidi pikkus ja jämedus valitakse nii, et antud pinge juures hõõgniit paraja tugevusega hõõguks, näiteks 15-vatise 220-voldise elektripirni volframist hõõgniidi pikkus on umbes 0,75 m ja läbimõõt 0,01 mm. Säärane peenike traat on paigutatud elektripirni silmale vaevalt nähtavate spiraalidena. Spiraaliks keeratakse hõõgniit seepärast, et sel puhul soojuse kadu täitegaasile on väiksem, sest siis hõõgniidi spiraalid kuumendavad üksteist vastastikku. Elektrihõõglampidel on märgitud alati, millise pinge jaoks on antud elektripirn ehitatud. Elektripirne võib tarvitada ainult sellise pingega, millise jaoks nad on ehitatud. Kui juhtida näiteks 110-voldisesse elektripirni 220-voldise pingega vool, siis põleb elektripirn läbi, ümberpöördult aga 220 voldi tarvis ettenähtud elektripirn 110-voldisel pingel hõõgub nõrgalt. Elektripirnid kruvitakse vastavaisse **pesadesse**, millede kaudu juhitakse vool elektripirni. Kõik elektripirnid lüli-

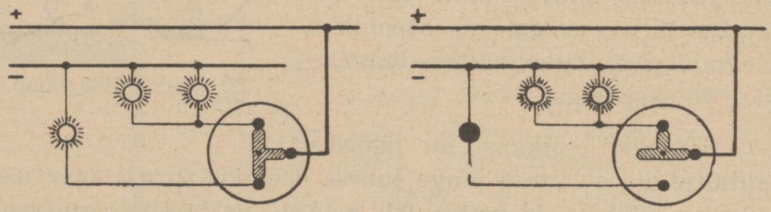
tatakse vooluvõrku rööbiti, mis võimaldab neid üksikult „süüdata“ ja „kustutada“. Seega igal lambil on tavaliselt oma **lüliti** ehk **kustutaja,** mille abil elektripirni läbiv vool kas ühendatakse (süüdatakse) või katkestatakse (kustutatakse).



222. joon. Hõõglampide lülitus. *k* ja *l* on lülitid.

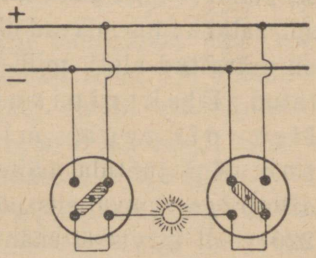
Rühmlüliti võimaldab süüdata ja kustutada hõõglampe osade kaupa ja ka kõiki korraga. Rühmlülitil on kolm klemmi (223. joon.). T-kujulise metalllüliti abil võib kahte neist omavahel ühendada, samuti ka kõiki kolme.

224. joon. on kujutatud lülitus, mis võimaldab hõõglampi süüdata ja kustutada mitmest kohast. Sellel lülitusel ühendab pööratav lüliti alati kahte vastasolevat klemmi, mis asetsevad üksteisest 180° kaugusel.



223. joon. Rühmlüliti.

Elektrivool juhitakse tarvitajaile elektrijaamast jämedate vasktraatide kaudu, mida nimetatakse **pea-** ehk **magistraaljuhtmeiks.** Need vaskjuhtmed kinnitatakse postide külge portselanist või klaasist **isolaatorite** abil, et vältida voolu kadu.



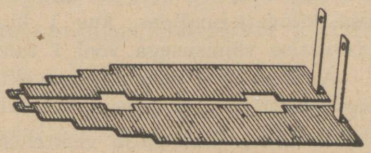
224. joon. Lülitamine mitmest kohast.

Tubased juhtmed on isoleeritud kummimähisega, mis traate ümbritseb. Kaitseks mehhaaniliste vigas-

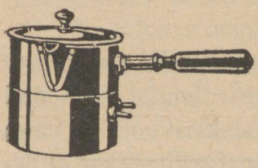
tuste vastu paigutatakse sageli tubased juhtmed seestpoolt isoleeritud metalltorudesse.

1. Lõika isoleeritud traadi küljest tükk ja vaata, mitmekordne kummimähis on ta ümber!
2. Missugused paremused on elektrivalgustusel võrreldes petrooleumivalgustusega?
3. Mispärast elektri-hõõglamp kustub kohe, kui kest katki läheb?
4. Hõõglambi takistus „põlemisel" on 1000 oomi. Kui suur on voolutugevus 220 voldi puhul?

174. Elekter-triikraud. Elekterkeetjad ja -pliidid. Elekterahi. Voolusoojus leiab kasutamist elekter-triikraudades, elekterkeetjates, elekterpliitides, elekterahjudes ja paljudes teistes riistades. Elektertriikraua **küttekehaks** on vilkkiviplaadi ümber keritud kroomnikkeltraat, mis elektrivooluga kuumaks aetakse. Selle traadi pikkus ja jämedus on nii valitud, et teda vooluallikaga ühendades kuumeneb ta paraja temperatuurini. Küttekehalt levib soojus mööda triikrauda laiali. Samasugused küttekehad on ka elekterkeetjates, elekterpliitides ja elekterahjudes. Elekterkeetja tuleb enne voolu ühendamist veega täita, vastasel korral võib ta liiga kuumaks minna ja läbi põleda. Elekterpliidi küttekeha on paigutatud pliidiplaadi alla. Küttekeha kuumenedes voolu toimel kuumeneb ka pliidiplaat. Sellele paigutatakse keedunõud.



225. joon. Küttekeha.



226. joon. Elekterkeetja.

Vähem tarvitatakse koduses majapidamises elekterahjusid, sest tubade soojendamine tuleb nendega kallim kui puudega köetavate ahjude abil. Ainult seal, kus elektrivool on odav, võistleb elekterahi puudega köetava ahjuga edukalt.

Mehhaanikast teame, et masina võimsust mõõdab 1 sekundi kestel tehtud töö hulk. Masina võimsus on 1 vatt, kui masin teeb 1 sekundis

1 džauli tööd. Ka elektrivool võib tööd teha, seega võime rääkida elektrivoolu võimsusest.

Kose langeva vee võimsus võrdub vee kukkumise kõrguse ja 1 sekundi kestel läbivoolanud veehulga korrutisega.

Analoogiliselt sellega näitavad katsed, et elektrivoolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega. On pinge mõõdetud voltides, voolutugevus ampreis, siis nende korrutis annab võimsuse vattides. Seega

$$1 \text{ vatt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ amper}.$$

Voolu võimsuse ühikuna tarvitatakse ka kilovatti: 1 kilovatt = 1000 vatti.

Et leida elektrivoolu poolt teatud aja jooksul tehtud töö hulka, selleks tuleb voolu võimsus korrutada ajavahemikuga, mille kestel vool tööd tegi. On voolu võimsus avaldatud vattides, aeg sekundeis, siis nende korrutis annab voolu töö džaulides. Harilikult mõõdetakse elektrivoolu tööd kilovatt-tundides, kus 1 kilovatt-tund on töö hulk, mida teeb 1000-vatise võimsusega vool 1 tunni kestel.

Arvetes, mis saadetakse elektrijaama poolt elektrivoolu tarvitajaile, ongi elektrienergia arvestatud kilovatt-tundides.

N ä i d e. Kui palju elektrienergiat tarvitab 600-vatine elekterkeetja 20 minuti kestel?

L a h e n d u s. 600 vatti = 0,6 kilovatti, 20 minutit = $\frac{1}{3}$ tundi. Seega tarvitatud elektrienergia hulk on $0{,}6 \times \frac{1}{3} = \frac{1}{5}$ kilovatt-tundi.

Vooluenergia mõõtmiseks varustatakse voolutarvitajaid nn. **voolumõõtjatega.** Voolumõõtja näitab otseselt äratarvitatud elektrivoolu energiat kilovatt-tundides või selle osades. Tavalistes mõõtjates pöörleb ketas, mille kiirus on võrdeline voolu võimsusega, seega vattide arvuga. Pöörlev ketas paneb liikuma numbritega varustatud silindreid, mis näitavadki äratarvitatud elektrienergiat. Voolumõõtja näitamise järgi koostab elektrijaama ametnik vastava arve ja saadab siis selle elektrivoolu tarvitajale.

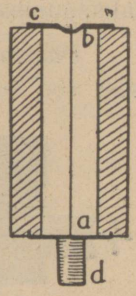
175. Lühiühendus. Juhtmed, millede kaudu juhitakse elektrivool elektrijaamast tarvitajaile, on võrdlemisi jämedad vasktraadid. Seetõttu on nende takistus elektrivoolule väga väike. Pisut peenemad on need juhtmed, mida tarvitatakse tubades elektriseadmeis, kuid ka nende takistus elektrivoolule on väga väike. Teisiti on lugu väga peenikese söest või metallist hõõgniidiga elektripirnis. Selle takistus elektrivoolule on väga suur.

Igas riistas, kus elektrivoolu tarvitatakse, on osa juhtmeid suure takistusega, mistõttu elektrivool neis kunagi liiga suureks ei tõuse.

Kuid elektrivool võib tekkida ka otse elektrijuhtmete vahel, kui nad ühendusse satuvad mingi elektriseadme rikke tõttu või mõnel teisel põhjusel. Säärast ühendust nimetatakse **lühiühenduseks.** Niisugusel juhul kasvab vigastatud koha kaudu elektrivoolu tugevus väga suureks. Juhtmed võivad ise hõõguma hakata ja põhjustada tulikahju tekkimist.

176. Kaitsmed. Et juhtmeid ja riistu lühiühenduse eest kaitseda, seks lülitatakse vooluahelasse **kaitsmed,** milleks on peenike (seatina- või hõbe-)traat, mis kohe ära sulab ehk „läbi põleb", kui voolutugevus üle lubatud piiri tõuseb. Peenike kaitsetraat paigutatakse harilikult padrunisse (**kaitsekork**), mis keeratakse nagu elektripirn vastavasse pesasse. Seega on kaitsme ehk kaitsekorgi vahetamine lihtne. Kõik elektriseadmed on varustatud kaitsmetega.

Elektrivoolu kasutamisel ei tohi suurema tugevusega voolu tarvitada, kui seda antud kaitsmed lubavad. On näiteks kaitsmed määratud ülimalt 6-amprise voolutugevuse tarvis, siis ei tohi nende kaitsmete puhul tarvitada näiteks elektertriikrauda, mis tarvitab 6,5-amprist voolu. Teisest küljest ei tohi peenikeste juhtmete puhul tarvitada suure voolutugevuse jaoks määratud kaitsmeid, sest siis võib juhtuda, et enne kaitsmete läbipõlemist lähevad juhtmed ise kuumaks.



227. joon. Kaitsekork.

Seega tarvitatava voolutugevusega peavad kokkukõlas olema kaitsmed ja juhtmed.

Tavaliselt voolu tarvitavatel riistadel, elektrihõõglampidel, elektertriikraudadel, elekterkeetjail jne. ei märgita voolutugevust, mida nad tarvitavad, vaid voolu võimsus, s. o. vooluenergia tarvitus 1 sekundis. Et voolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega, siis antud võimsusest ja pingest on kerge arvutada voolutugevus:

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{võimsus}}{\text{pinge}},$$

kusjuures voolu võimsus tuleb avaldada vattides, pinge voltides, voolutugevus saadakse siis ampreis. Pinge on kogu elektrivõrgul

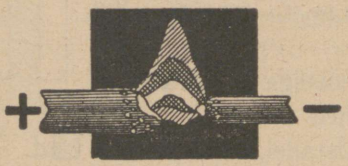
üks ja sama, harilikult 220 või 110 volti, samuti on pinge märgitud ka riistadel.

On näiteks elekterkeetjal märgitud vooluenergia tarvitus 550 vatti, siis 220-voldise pinge puhul on voolutugevus $= \frac{550}{220} =$ 2,5 amprit, 110-voldise pinge puhul on voolutugevus $\frac{550}{110} =$ 5 amprit.

Nii võime alati leida voolutugevuse, mida antud riist tarvitab, ja sellest järeldada, kas antud kaitsmed lubavad voolu juhtida läbi riista.

177. Kaarleek. Kui elektrivool katkestada, siis võib tähele panna katkestamise kohas traatide või teiste juhtmete vahel sädet, nn. katkestamissädet. Kui seejuures on voolutugevus ja -pinge küllalt suured, siis sulavad katkestamissädeme toimel traatide otsad ära. Sädeme värvus oleneb seejuures metallide ainest, millede vahel tekkis säde: vask annab roheka, raud kollakaspunase valguse, jne.

Püsivama elektrisädeme võib tekitada kahe söepulga vahel, sest söe sulamistemperatuur on väga kõrge. Kaks söepulka ühendatakse traatide kaudu vooluallikaga, mille pinge on vähemalt 40—50 volti, söed lähendatakse teineteisele nii, et nad teineteist puudutavad. Kokkupuute kohal suure takistuse tõttu kuumenevad söepulgad, sellega ka seal olev õhk, ning söepulki teineteisest eemaldades 0,5—2 cm kaugusele ei katke vool, vaid kuumendatud õhk juhib elektrit, tekib kaarekujuline väga hele leek, mida nimetatakse elektri **kaarleegiks** ehk **Volta kaareks.** Suurema osa valgusest kiirgab seejuures positiivse poolusega ühendatud süsi. Et söepulgad ühtlasi ka põlevad, siis tuleb neid aegajalt teineteisele lähendada.



228. joon. Kaarleek.

Elektri kaarleeki tarvitati varemini suurlinnades tänavate valgustamiseks, praegusajal tarvitatakse kaarleeki peamiselt

kino- ja projektsiooniaparaatides, kiirteheitjais ja mujal. Et kaarleegi temperatuur on väga kõrge — kuni 4000° C, siis tarvitatakse seda ka **elektrilistes sulatusahjudes.** Kaarleegi temperatuur on kõrgeim, mis saadud kunstlikult, laboratoorsel teel.

Kaarleegi põhimõttel töötab ka nn. **kõrgustikupäike,** mis on kvartstorus kahe elavhõbedapinna vahel tekitatud kaarleek. Kvarts- ehk ränikivi tarvitatakse siin seepärast, et kvartsi sulamistemperatuur on väga kõrge. Niisugune kaarleek kiirgab suurel määral nähtamatuid, tugeva keemilise toimega **ultravioletseid** kiiri. Need kiired mõjuvad kahjulikult silmadele, seepärast tuleb silmi kaitseda eriliste prillide abil.

1. Kui palju elektrienergiat tarvitab hõõglamp 10 tunni kestel, kui voolutugevus hõõglambis on 0,1 amprit ja pinge 220 volti?

2. Mis läheb niisuguse hõõglambi tarvitamine maksma 1 kuu kestel, kui keskmiselt iga päev põleb lamp 6 tundi ja 1 kilovatt-tund elektrienergiat maksab 16 penni?

3. Kui palju maksab 400-vatise elektertriikraua tarvitamine tunnis?

4. Mitu 25-vatist lampi võib süüdata ühes 400-vatise elektertriikrauaga, kui kaitsmed 4-amprise voolu puhul läbi põlevad?

5. Mitu amprit läbib 25-vatist hõõglampi, kui pinge on 220 volti?

6. Kui suured kaitsmed peavad olema elektriseadmel, kui vooluenergia tarvitus on 1 kilovatt ja pinge on 220 volti?

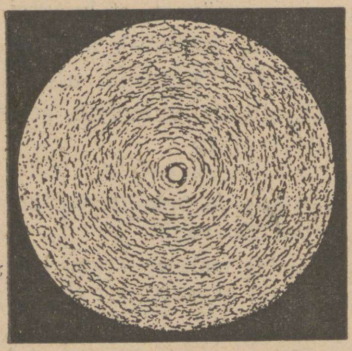
7. Kaitsmed on 6-amprised. Kas võib sel puhul tarvitada elektrpliiti, mis vajab 1800 vatti, kui pinge on 220 volti?

Voolu magnetiline toime.

178. **Voolu magnetivälja nähtavaks tegemine.** Nägime, et elektrivool avaldab mõju magnetnõelasse. Seega ka voolu ümber peaks olema magnetiväli. Selle nähtuse uurimiseks korraldame järgmise katse. Tõmbame läbi papitüki risti jämeda vasktraadi, papitükile puistame rauapuru ja traadist juhime läbi elektrivoolu. Kui nüüd papitükki nõrgalt koputada, siis asetub rauapuru traadi ümber kontsentriliste ringidena, millede keskpunktiks on traat. See näitab, et **voolu ümbritseb magnetiväli,** kusjuures magneti tungjooned asetsevad ringjoontena

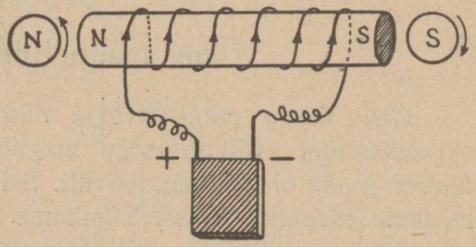
ümber voolujuhtme. Tundliku magnetnõelaga võib magneti tungjooni jälgida ka kaugemal. Magnetnõel asetub rööbiti tungjoontega, kuna voolujuhtmega on ta seejuures, nagu nägime, risti.

Tarvitame sirge traadi asemel ringikujulist traati, siis selles voolu mõjul tekkinud magneti tungjooned läbivad risti ringi tasapinnaga. Seega vooluring moodustab väga lühikese magneti. Tugevama magnetiväljа annab spiraali keeratud voolujuhe e. solenoid, sest siin kõikide keerdude magnetiväljad liituvad. Nagu iga teine magnet, nii omab ka solenoid, mida läbib elektrivool, kaks poolust. Põhjapoolus asetseb selles otsas, kus voolu suund on, vaadates solenoidi otsa kohal, vastupidine kella-osuti liikumise suunaga, ja lõunapoolus selles solenoidi otsas, kus voolu suund ühtib kella-osuti liikumise suunaga.



229. joon. Magnetiväli voolu ümber.

179. Elektromagnet. Palju tugevama magneti saame, kui võtame raudpulga ja mähime spiraalselt ta ümber isoleeritud juhtme. Laseme juhtmest voolu läbi, siis tekib, nagu eespool nägime, voolu ümber magnetitungi väli, mille mõjul raua molekulaarmagnetid korralduvad elektrivoolu suhtes kindlas suunas, s. o. raud muutub magnetiks (magnetiseerub). Voolu katkestamisel kaob tema ümber olev magnetitungi väli, järelikult ka raua magnetism peaaegu täiesti.

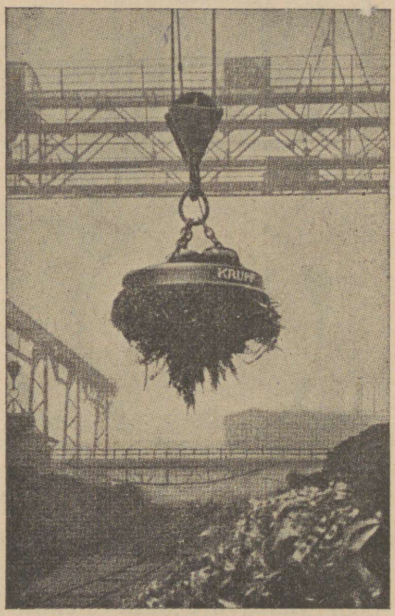


230. joon. Elektromagnet.

Raudpulka; mille ümber on mähitud isoleeritud juhe, mida mööda läheb elektrivool, nimet. **elektromagnetiks.** Elektromagneti poolused määrab voolu magneti tungjoonte suund. Põhjapoolus on seal, kus voolu tungjooned elektromagnetist väljuvad, s. o. selles otsas, kus voolu suund on ümber elektromagneti vastupidine kellaosuti liikumise suunaga.

Elektromagnetid on märksa tugevamad kui niisama suured terasmagnetid. Kuju poolest on elektromagnetid väga mitmesugused: sirged, hobuseraua-kujulised jne.

Üht niisugust tugevat kellakujulist elektromagnetit kujutab 231. joonis. Selle magneti üks poolus on pehmest rauast valmistatud kella sees, kuna teiseks pooluseks on teda ümbritsev väline kest. Niisuguseid elektromagneteid kasutatakse tehastes ja mujal rauatükkide eraldamiseks teistest metallitükkidest.

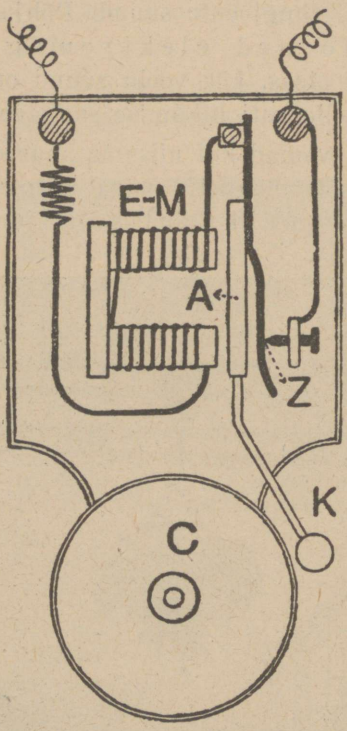


231. joon. Kellakujuline elektromagnet.

Veel leiab elektromagnet laialdast praktilist tarvitamist mitmesuguste riistade ja masinate ehitamisel, nagu elekterkõlistajas, telegraafis, telefonis, elektrimootoris jne.

180. Elekterkõlistaja. Elekterkõlistaja ehitust ja tegevust kujutab 232. joon. Elekterkõlistaja tähtsamaks osaks on elektromagnet *E-M*. Elektromagneti pooluste lähedal on vedru külge kinnitatud kitsas raudplaat *A*, mida nimetatakse ankruks. Ankru küljes on vasar *K*. Vedru toetub vastu kruvi *Z*, mis ühendatakse galvaani elemendi ühe poolusega. Teise pooluse juurde viib traat otse elektromagnetist. Ühte neist traatidest on asetatud nupp, mille abil võib voolu ühendada

ja katkestada. Harilikult on vool katkestatud. Nupule vajutades ühendatakse vool. Ta läbib elektromagneti, vedru ja kruvi *Z*; elektromagnet tõmbab ankru külge ja vasar lööb vastu kella *C*. Ühes sellega aga eemaldub nüüd vedru kruvist; seetõttu katkeb vool ja vedru rõhub ankru endisse asendisse, vastu kruvi tagasi. Kruvi ja vedru puudutamisel pääseb vool jälle elektromagnetist läbi ja vasar lööb uuesti kella. Niikaua kui nupule vajutatakse, liigub vasar kiiresti edasi-tagasi — kell kõliseb.



232. joon. Elekterkõlistaja.

1. Kus ja milleks tarvitatakse elekterkõlistajat? Missugust elementi ja traati tarvitatakse elekterkõlistajas?

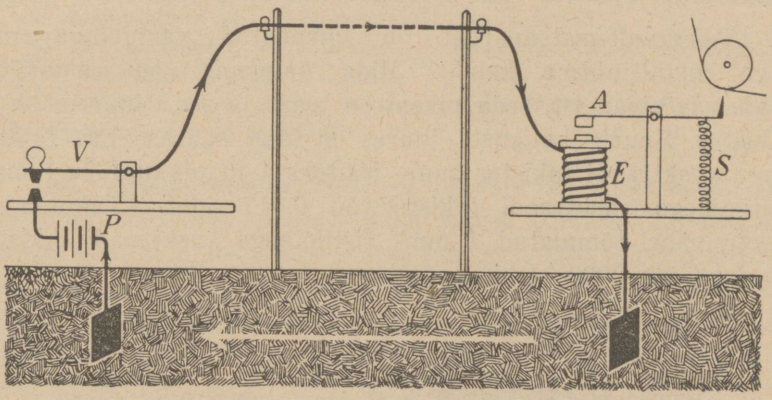
2. Joonesta skeem, kuidas elekterkõlistajat mitmest kohast helisema panna?

181. Telegraaf. Telegraafi tarvitatakse teadete edasisaatmiseks elektrivoolu abil kauge maa taha. Telegraafijaama tegevust selgitab 233. joonis, kus ühel pool on **saatejaam** ühes vooluallikaga (galvaani elementide patareiga) ja võtmega ning teisel pool **vastuvõtujaam** sõnumeid üleskirjutava telegraafiaparaadiga. **Võtme** ülesanne on voolu ühendada; see toimub võtme allavajutamisega.

Vastuvõtujaamas oleva **telegraafiaparaadi** tähtsamaks osaks on **elektromagnet** *E*. Elektromagneti lähedal on ankur *A*, mis kinnitatud kangikese külge. Kangikese teises otsas on pliiats või nõel. Pliiatsi teraviku ees on liikuv paberlint.

Saatejaamas võtme allavajutamisega ühendatakse vool, see läheb postidele kinnitatud juhtmete kaudu vastuvõtujaama ja läbib seal telegraafiaparaadi elektromagneti. Elektromagnet

tõmbab ankru enda külge, vajutades seega pliiatsi liikuvale lindile. Katkestame voolu, siis tõmbab vedru *S* ankru magnetist eemale ning pliiats ei puuduta enam linti.



233. joon. Telegraafijaama kavand.

Vajutab telegrafist võtme alla ainult üheks hetkeks, siis on voolu kestus väga lühike ja pliiats märgib paberile täpi; hoiab telegrafist võtme pisut kauem all, siis ilmub lindile kriips. Neist täppidest ja kriipsudest on koostatud telegraafitähestik. Seda tähestikku kutsutakse telegraafiaparaadi leiutaja ja tähestiku koostaja S. M o r s e'i [l.: mors] järgi **Morse'i tähestikuks.** Selle leiutise tegi ta 1832. a.

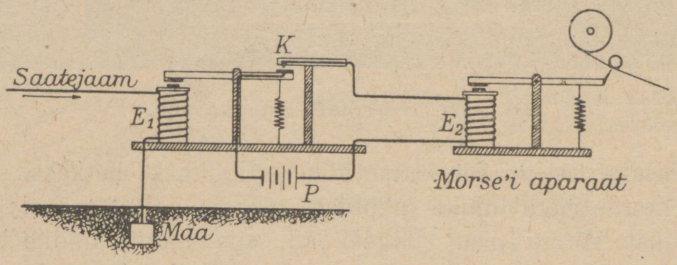
M o r s e'i t ä h e s t i k.

a ·—	g ——·	m ——	s ···	y —·——
b —···	h ····	n —·	t —	z ——··
c —·—·	i ··	o ———	u ··—	ä ·—·—
d —··	j ·———	p ·——·	v ···—	ö (õ) ———·
e ·	k —·—	q ——·—	w ·——	ü ··——
f ··—·	l ·—··	r ·—·	x —··—	ch ————

Saate- ja vastuvõtujaamu ühendab ainult üks traat, kuna teiseks ühendajaks on maa. Seepärast lähevad mõlemas jaamas

teised traadid maasse. Maasse juhitud traatide otsad on varustatud metallplaatidega, mis võimaldab paremat ühendust maaga. Saate- ja vastuvõtujaamu ühendav traat on kinnitatud postide külge mitte otseselt, vaid portselan- või klaasisolaatorite kaudu.

Telegraafi-saateaparaat on ühendatud vastuvõtuaparaadiga metalljuhtme kaudu. Mida kaugemal on vastuvõtujaam saatejaamast, seda pikem on traat ja seda suurem on ta takistus. Suurte kauguste juures on isegi säärase hea juhtme nagu vasktraadi takistus suur. Näiteks 1 m pikkuse ja 1 mm² ristilõikega vasktraadi takistus on 0,017 oomi. Tallinna ja Tartu vahel tõmmatud 1 mm² ristilõikega vasktraadi takistus on juba üle 3000 oomi.



234. joon. Relee: E_1 — relee elektromagnet, E_2 — Morse'i aparaadi elektromagnet.

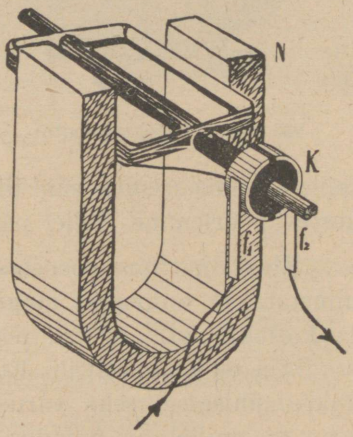
Seetõttu muutub voolutugevus niivõrra väikeseks, et see enam ei suuda liikuma panna telegraafiaparaadi kirjutamisseadist. Et kõrgepingelise vooluallika tarvitamine on kallis (nõuab paremat juhtme isolatsiooni), siis selle asemel tarvitatakse vastuvõtujaamas nn. **releed.** Relee tarvitamisel läbib vool elektromagneti E_1 (234. joon.), mille ülesanne on ainult kohapealse voolu ühendamine. Kirjutamisseadise paneb liikuma juba kohapealne vool. Üle mere telegrafeerimisel ühendatakse saate- ja vastuvõtuaparaadid **kaablitega**, mis lastakse mere põhja. Kaabel on vee- või maa-alune juhe; ta koosneb mitmest vasktraadist, mis on ümbritsetud mitmekordse isoleeriva kihiga.

Telegraafiaparaadid on nii ehitatud, et üks ja sama aparaat on ühtlasi saate- ja vastuvõtuaparaadiks.

Praegusajal tarvitatakse laialt Hughes'i [loe: juuz] nn. **tüüprõhu-telegraafiaparaate,** mis otseselt edasi annavad tavalisi kirjamärke.

1. Mis tähtsus on telegraafil?
2. Miskujulised on telegraafitraatide isolaatorid?
3. Mis paremused ja halbused on maa-alustel kaablitel võrreldes postidele tõmmatud nn. õhuliinidega?
4. Valmista mingi sõnum edasisaatmiseks telegraafilisel teel. Mida tuleb siinjuures silmas pidada?

182. Elektrimootor. Eespool nägime, et magnetnõel kaldub oma tavalisest põhja—lõuna sihist kõrvale, kui asetada temaga rööbiti juhe ja siis sellest juhtmest läbi juhtida elektrivool. Seejuures magnetnõel püüab asetuda vooluga risti. See mõju on vastastikune: kui tarvitada liikuvat voolujuhet ja paigalseisvat magnetit, siis hakkab juhe, mida läbib elektrivool, magneti mõjul liikuma.

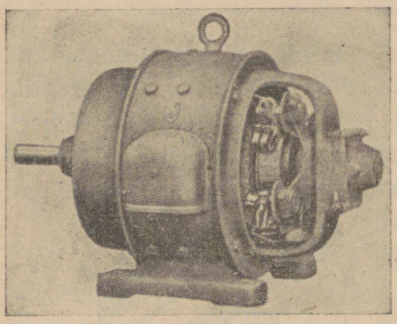


235. joon. Raami liikumine magnetiväljas.

Asetame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, mis võib horisontaalse telje ümber pöörelda (235. joon.). Raamile on keritud rida traadikeerde ehk mähis.

Oletame, et esialgu on raami tasapind horisontaalne. Kui nüüd juhtida raamile keritud mähisest läbi elektrivool, siis hakkab raam magnetivälja toimel liikuma ja võtab vertikaalse asendi. Seda liikumist võime järgmiselt seletada. Eespool nägime, et iga pooli ehk mähist, mida läbib elektrivool, võib vaadelda kui magnetit, mille põhjapoolus asetseb selles otsas, kus, vaadates mähise ees, on voolusuund vastupidine kellaosuti liikumise suunaga, ja lõunapoolus selles mähise otsas, kus voolusuund ühtib kellaosuti liikumise suunaga. On raam horisontaalne, siis selle üks poolus on mähise ülemises otsas, teine alumises otsas. Nendesse poolustesse mõjuvad kahel pool olevad magnetipoolused tõmbavalt või tõukavalt, mistõttu mähis ühes raamiga hakkab liikuma.

Et raami liikumist magnetiväljas kestvaks muuta, seks tuleb iga kord, kui raam võtab vertikaalse asendi, muuta raamile keritud mähises voolusuunda. Seks varustatakse raami pöörlemistelg seadisega, mida nimetatakse **kollektoriks.** Kollektori moodustab teljega ühendatud isoleeriv silinder, millele on kinnitatud üksteisest isoleeritud metallpoolringid ehk lamellid. Need lamellid on ühendatud mähise traadi otstega. Lamelle puudutavad vetruvad **harjad**, ja nimelt kumbagi lamelli ise hari, mille kaudu juhitakse vool raamile keritud mähisesse. Harjad ja lamellid on nii paigutatud, et iga kord kui raam jõuab vertikaalsesse asendisse, libisevad harjad ühelt lamellilt teisele (235. joon.), mistõttu muutubki voolu suund mähises. Seega ei jää raam selles asendis seisma, vaid liigub edasi. Nii saavutataksegi raami kestev pöörlemine. Sellel põhimõttel on ehitatud **elektrimootor.**



236. joon. Elektrimootor.

Elektrimootor koosneb seega liikuvast osast, mähisest, mida nimetatakse **ankruks, magneteist**, mis annavad magnetiväljа, ja **kollektorist.** Ankru pöörlemisjõud on seda suurem, mida tugevam on magnetiväli. Et kõiki magneti tungjooni koondada ankrumähisesse, seks varustatakse mähised raudsüdamikuga, millel on omadus koondada magneti tungjooni. Ühe mähisega ankru käik on ebaühtlane, samuti on sellel vertikaalses asendis surnud punkt, s. o. asend, kus ankrusse ei mõju magnetiväli pöördumapanevalt. Seetõttu varustatakse ankur rohkem kui ühe mähisega, vastavalt sellele suurendatakse kollektori lamellide arvu: kahe mähisega ankru puhul on kollektoril neli lamelli jne. Elektrimootori magnetitena tarvitatakse elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetiväljа kui terasmagnetid.

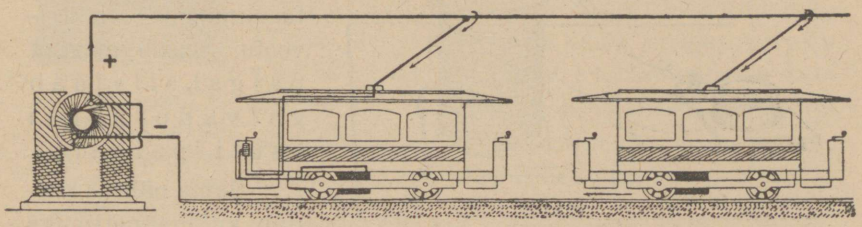
Seega elektrimootor on seadis, mis muudab elektrienergia mehhaaniliseks energiaks.

Elektrimootoreid ehitatakse väga mitmesuguses suuruses, $^1/_{10}$ ja isegi vähem hobusejõust kuni mitme tuhande hobusejõuni. Tavaliselt märgitakse elektrimootori võimsus kilovattides.

Elektrimootorid leiavad nüüdisajal laialdast tarvitamist igapäevases majapidamises, eriti aga tehnikas. Nii pannakse elektrimootori abil käima elektertramm, vabrikutes ja tehastes mitmesugused masinad jne. Majapidamises tarvitatakse elektrimootoreid kaevupumba, õhuventilaatori, õmblusmasina jne. käimapanemiseks.

Mootorisse, mis paneb liikuma elektertrammi, juhitakse elektrivool postide külge kinnitatud juhtme kaudu, mida puudutab trammi liikumisel trammivaguni laele kinnitatud metallvibu. Mootorist läbinud vool juhitakse vaguni rataste ja trammi rööbaste kaudu tagasi elektrijaamas olevasse dünamosse.

Uuemal ajal tarvitatakse elektertrammi ühenduse pidamiseks mitte üksnes ühe ja sama linna osade vahel (Eestis näiteks Tallinna ja Nõmme vahel), vaid ka kaugel olevate linnade vahel. Seejuures on tarvitusele võetud mitmest vagunist koosnevad elekterrongid. Eriti laialt tarvitatakse elekterronge aururongide asemel seal, kus elektrienergia on odav, nagu näiteks Šveitsis, Põhja-Itaalias ja Norras.



237. joon. Voolu juhtimine elektertrammi.

Elektrimootori ankru takistus on üldiselt väga väike. Et suurte elektrimootorite ankrud kohe pärast voolu ühendamist ei oma küllalt suurt kiirust, siis algul lülitatakse vooluahelasse reostaat, mille takistust pikkamööda vähendatakse, ja kui ankru pöörete arv on juba küllalt suur, siis lülitatakse reostaat välja. Sellega kaitstakse elektrimootori ankrut läbipõlemise eest, mis võib tekkida väga suure voolutugevuse puhul. Niisugust reostaati nimetatakse ka käivitajaks. Kui aga ankur pöörleb suure pöörete arvuga, siis, nagu järgmises peatükis näeme, tekib vastusuunaline induktsioonipinge, mis mõjub pidurdavalt voolu suurenemisele.

1. Missugused paremused on elektrimootoril võrreldes aurumasinaga ja plahvatusmootoriga?

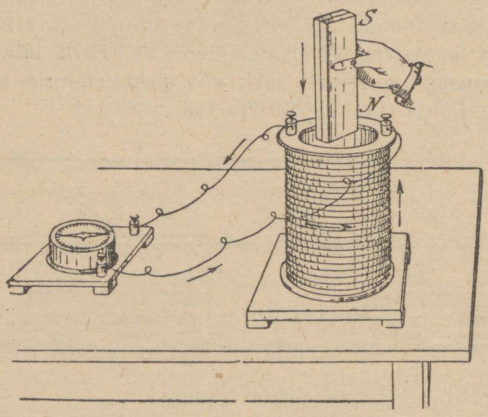
2. Mitu amprit elektrivoolu tarvitab elektrimootor võimsusega 1,1 kilovatti, kui see mootor on ehitatud pinge jaoks 220 V?

3. Kui suur on elektrivoolu võimsus, kui ta 110 V pinge puhul tarvitab 20 amprit voolu?

Induktsioonvool ja dünamomasin.

183. Induktsioonvool. Elektrivalgustuseks ja teisteks otstarveteks saab elektrivoolu elektrijaamas olevast **dünamomasinast** ehk **dünamost.** Dünamomasin põhineb järgmisel nähtusel.

Ühendame pooli mähise (mitmest traadikeerust koosnev spiraal) traadi otsad tundliku galvanoskoobiga. Pistame nüüd poolisse tugeva magnetipooluse: magnetipooluse liikumise hetkel paneme tähele, et galvanoskoop näitab voolu. Kui magnet poolist välja võtta, siis näitab galvanomeeter magneti liikumise hetkel vastusuunalist elektrivoolu. Seisab magnet paigal, siis ei jääb galvanoskoobi osuti paigale.

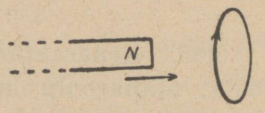


238. joon. Induktsioonvoolu tekkimine poolis.

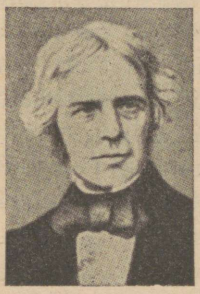
Sama nähtus kordub, kui magnetipulga asemel tarvitada teist pooli, mida läbib elektrivool. Eriti tugev elektrivool tekib poolis, kui tarvitada elektromagnetit, s. o. pooli raudsüdamikuga. Paigutame nüüd väikese pooli suuremasse pooli ja ühendame väiksema pooli traadi otsad vooluallikaga. Katse näitab, et suuremas poolis tekib iga kord elektrivool, kui väiksemas poolis voolu ühendada või katkestada, suurendada või vähendada.

Need ja teised sellelaadsed katsed näitavad, et kinnises poolis tekib alati elektrivool, kui muutub poolist läbimine-

vate magneti tungjoonte hulk. Niiviisi juhtmes tekitatud elektrivoolu nimetatakse **indutseeritud** ehk **induktsioonvooluks**, nähtust ennast aga **elektromagnetiliseks induktsiooniks.** Katsed näitavad ka, et induktsioonvool poolis on seda tugevam, mida suurem on pooli keerdude arv ja mida kiiremini liigutame pooli lähedal magnetit või teist pooli, mida läbib elektrivool. Täpsemalt: **poolis tekkinud induktsioonvool on võrdeline ajaühiku kestel lõigatud magneti tungjoonte arvuga.** Induktsioonvool tekib ka üksikus traadis, kui teda liigutada magnetiväljas, kuid sel puhul on indutseeritud voolu tugevus nõrk.



239. joon. Lenzi reegel. Arvesse võttes voolu suunda, esineb siin tõukamine.



240. joon. Michael Faraday, kuulus inglise füüsik (1791—1867), oli sepa poeg, astus noorena raamatuköitja õpilaseks, pääses oma andekuse ja töökuse tõttu Kuningliku Teadusliku Asutise laborandiks, tõusis hiljemini selle presidendiks. Avaldas teedrajavaid uurimusi elektriõpetuse alalt.

184. Lenzi reegel. Induktsioonvoolu suunda võib määrata mitme reegli abil, milledest lihtsaim on Lenz'i reegel: Indutseeritud vool on säärasesuunaline, et ta takistab seda voolu tekitavat liikumist. Lähendame poolile näiteks magneti põhjapooluse, siis tekib poolis induktsioonvool, mille suund on säärane, et magneti põhjapoolusele lähemas pooli otsas tekib põhjapoolust tõukav poolus, seega ka põhjapoolus. Ümberpöördult, viime poolist magneti põhjapooluse eemale, siis induktsioonvoolu suund on säärane, et pooli lähemas otsas on lõunapoolus, mis takistab magneti põhjapooluse eemaldamist.

Magneti või pooli liigutamisel tuleb meil teha tööd. Selle mehhaanilise töö arvel tekib induktsioonvool. Nii muundub siin mehhaaniline energia elektrienergiaks.

Induktsioonvoolu avastas M. Faraday aastal 1831. Faraday lähtus seejuures oletusest, et kui

elektrivool võib tekitada magnetismi (elektromagnet oli juba varemini tuntud), siis peab olema ka vastupidine nähtus: magneti abil võib tekitada elektrivoolu.

185. **Generaator.** Tehnikas tarvitatakse kahte liiki elektrivoolu: **alalisvoolu** ja **vahelduvvoolu.** Alalisvool on niisugune, kus voolu suund ei muutu, kuna vahelduvvoolu suund muutub perioodiliselt. Vooluallikatena tarvitatakse peamiselt **generaatoreid,** mis võivad anda alalis- kui ka vahelduvvoolu, ja galvaani elemente ning akumulaatoreid. Viimased annavad ainult alalisvoolu. Elektrivoolu generaatorite tegevus põhineb induktsioonvoolul. Selle selgitamiseks korraldame järgmise katse. Paigutame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, nagu seda kirjeldasime elektrimootori seletamisel leheküljel 213. Pöörame raami seal telje ümber, siis tekib raamile keritud traadis induktsioonvool, sest pöörlemisel lõikavad traadid magneti tungjooni. Et liikuvalt raamilt võtta elektrivoolu, seks ühendame mähise traadi otsad raami teljel olevate m e t a l l r õ n g a s t e g a. Neid rõngaid puudutavad metallvedrud või h a r j a d, millede kaudu juhitakse tekkinud elektrivool välisjuhtmetele.

Raamile keritud mähises raami pöörlemisel tekkinud induktsioonvool muudab iga kord voolusuunda, kui raami tasapind on vertikaalne, mida võib järeldada ka Lenzi reeglist. Seega tekib siin vahelduvvool. Et saada a l a l i s v o o l u, seks asendame pöörlemisteljel olevad metallrõngad üksteisest isoleeritud poolrõngastega ehk lamellidega ja paigutame need pöörlemisteljele nii, et iga kord, kui muutub induktsioonvoolu suund raamis, libiseb hari ühelt lamellilt teisele. Viimast seadist nimetasime **kollektoriks.** Seega muutub voolu suund küll mähises, kuid välise ahela osas jääb ta muutumatuks. Kirjeldatud põhimõttel ongi ehitatud alalisvoolu generaator ehk dünamo.

Dünamomasin koosneb seega nagu elektrimootorgi **väljamagnetitest,** mis annavad tugeva magnetivälja. Selles magnetiväljas liigub nn. **ankur,** millele keritud traatmähis lõikab tungjooni ja milles siis tekib induktsioonvool.

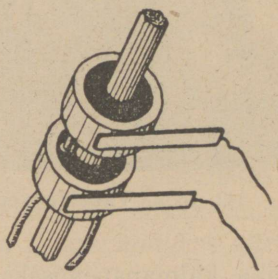
Väljamagnetitena tarvitatakse peamiselt elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja kui terasmagnetid. Alalis-

voolu dünamo väljamagneteid ergutatakse seejuures sama vooluga, mis tekib ankrus ankru pöörlemisel (W. Siemensi iseergutamisprintsiip).

Vahelduvvoolu generaatori kollektor koosneb rõngastest (kontaktrõngastest), mida puudutavad kestvalt harjad (241. joon.).

Vahelduvvoolu generaatoris tavaliselt pöörleb väljamagnet, mida nimetatakse **rootoriks**, kuna raudsüdamikkudele keritud poolid, milledes indutseeritakse elektrivool, seisavad paigal ja on kinnitatud ringitaoliselt ümber rootori. Seda paigalseisvat osa nimetatakse **staatoriks.** Staatoris indutseeritakse elektrivool seega, et rootori pöörlemisel muutub staatori raudsüdamikule keritud poolidest läbiminevate magnetitungjoonte arv. Rootorit, mis samuti koosneb raudsüdamikkudele keritud poolidest, ergutatakse alalisvooluga, mis juhitakse sinna rõngaskollektorite kaudu.

Tehnilise vahelduvvoolu puhul voolab vool 50 korda sekundis ühes suunas, 50 korda vastassuunas. Seega ta sagedus on 50 Hertzi.



241. joon. Rõngaskollektor.

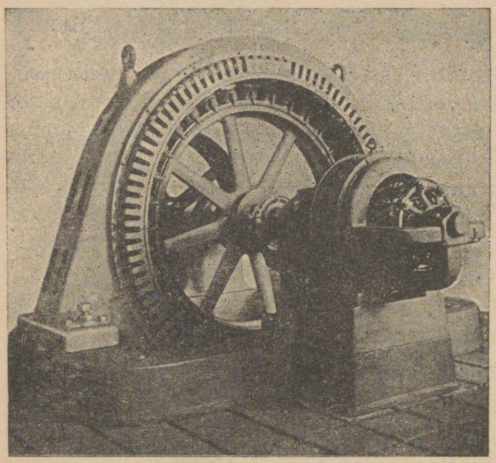
Nagu kirjeldusest järgneb, on generaatori ehitus samasugune nagu elektrimootorilgi. Seega dünamomasinat võib tarvitada elektrimootorina ja ka ümberpöördult, elektrimootor, kui ta ankrut ringi ajada, töötab dünamona. Mõlemaid neid nimetatakse elektrimasinaiks.

Generaatorid leiavad suurt kasutamist elektrivoolu andjatena elektrijaamades ja mujal. Praegusajal ehitatakse generaatoreid kuni mitmekümne tuhande kilovatise võimsusega.

Elektrijaamades pannakse generaatorid käima auru, vee jne. jõul. Traatide kaudu juhitakse elektrivool sealt tarvitajaile.

Võrreldes auru, veekose ja teiste energiaallikatega on elektrienergial see paremus, et teda võib hõlpsasti juhtida traatide kaudu kauge maa taha, kuna näiteks veekose energia abil liikuma pandud veeturbiini energiat võib otseselt kasutada ainult koha peal. Seetõttu viimasel ajal suuremate jõumasinate energia muudetakse elektrienergiaks ja juhitakse traatide kaudu tarvitamiskohta, kus vastavad masinad pannakse käima elektrimootori abil. Pealegi on sel puhul võimalik iga üksikut masinat

seisma panna ja käima lasta, vaatamata sellele, kas teised sama jõumasina energiaga töötavad masinad käivad või seisavad. Viimane asjaolu ongi peamiseks põhjuseks, miks suuremates tehastes ja vabrikutes muudetakse ka kohapealsete jõumasinate energia elektrienergiaks ja alles elektrivooluga pannakse masinad käima. Elektrivoolu tarvitamine masina käimapanemiseks teeb masina käigu sõltumatuks teiste masinate käigust. See võimaldab suurt energia kokkuhoidu, sest masina mittetarvitamise puhul võib teda seisma panna. Muidugi on seejuures tarvilik iga üksiku masina käimapanemiseks omaette elektrimootor.



242. joon. Vahelduvvoolu generaator.

Ka väiksematele töökodadele on elektrivoolu tarvitamisele võtmine toonud suuri hõlbustusi, sest suurte elektrijõujaamade elektrivoolu tarvitamise puhul pole neil tarvis muretseda enam üksikult jõumasinaid ega kanda sellega ühenduses olevaid lisakulusid.

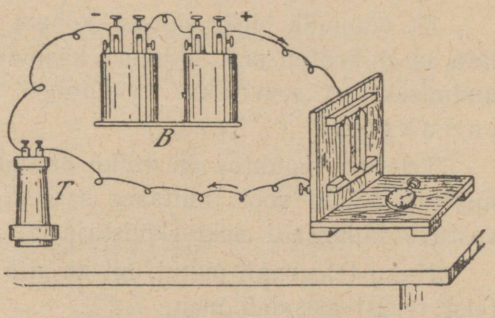
Eesti tähtsamad elektrijõujaamad on Ulila elektrijaam, mis varustab elektrivooluga Tartu linna ja Lõuna-Eestit, Ellamaa elektrijaam, mis varustab elektrienergiaga Tallinna, Tallinna linna elektrijaam jne.

186. Telefon. Telefoni tarvitatakse kõne edasisaatmiseks traadi kaudu. Telefoni kaudu kõneldes hoiame suu **mikrofoni** ees. Lihtsat mikrofoni kujutab 243. joonis. Siin on puulauakesele kinnitatud kaks söepulka, mis on ühenduses elektripatareiga. Neile söepulkadele tuginevad lõdvalt kaks teist söepulka.

Rääkimisel tekivad häälelained, mis panevad pisut liikuma ka söepulki. Seetõttu puudutavad nad rohkem või vähem teine-

teist, mille tagajärjel pulgakesi läbiv elektrivool leiab kord suurema, kord väiksema takistuse. Tekib muutliku tugevusega elektrivool, mis juhitakse vastuvõtuaparaadi kuuldetorusse.

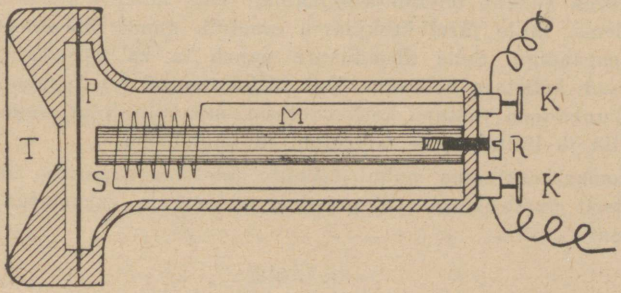
Nüüdisajal tehnikas tarvitatav mikrofon ei koosne söepulkadest, vaid selleks on söekuulikestega täidetud kapsel. Seega esineb siin hulk puutekohti, millede takistused hääle lainete mõjul muutuvad.



243. joon. Mikrofon.

Kuuldetoru läbilõiget kujutab 244. joonis. Ta peaosaks on magnetipulk *M*, mille ühe otsa ümber mähitud isoleeritud traat *S*. Traadi otsad on ühenduses mikrofonist tulevate juhtmetega kruvide *KK* kaudu. Mähisega pooluse ees asetseb õhuke raudplekk *P*. Raudpleki ees on kuuldetorus ava *T*, kus hoitakse kõrv telefoniga kõnelemisel.

Mikrofonist tulev muutliku tugevusega vool muudab kuuldetorus magnetitungjoonte välja. Seetõttu kord suureneb, kord



244. joon. Telefoniaparaadi kuuldetoru.

väheneb magneti külgetõmme raudplekile, vastavalt elektrivoolu võnkumistele. Raudplekk hakkab võnkuma, tehes järele sama häält, mis kõneleja teeb mikrofoni.

Kui kõnelda telefoni kuuldetoru ees, siis hakkab raudplekk võnkuma, mis tekitab traadis induktsioonvoolu. Seega võib seda kõnet kuulda teise kuuldetoruga. Kuid hääl on siis palju nõrgem.

Et võimalik oleks samast kohast ise rääkida ja teist kuulata, on mikrofon ja kuuldetoru käepidemega ühendatud. Märguandmiseks, et soovitakse telefoniga kõnelda, on *telefoni induktor*.

Telefoni induktor on väike dünamomasin, mille ümberajamisel tekkinud vool juhitakse saateaparaadist juhtmete kaudu vastuvõtuaparaadi elekterkõlistajasse, mis siis kõlisema hakkab.

Nagu telegraafi puhul, nii ka siin ei tarvitata kahte traati, teist traati asendab maa.

Maa kasutamine teise juhtmena võimaldab kokkuhoidu juhtme materjalis, mis eriti tähtis on suurte kauguste puhul. Sõja ajal peab aga säärase ühendusviisiga olema ettevaatlik, sest nõrka maavoolu võib vaenlane kuulata tundlikkude aparaatidega. Sama kehtib ka telegraafi puhul.

187. **Telefonivõrgu keskjaam.** Majades ja mujal ülesseatud telefoniaparaadid pole üksteisega alaliselt ühendatud. Kahe telefoniaparaadi omavaheline ühendamine toimub ühe telefonitarvitaja igakordsel soovil telefonivõrgu keskjaamas. Igalt aparaadilt on juhitud traat keskjaama, kus see lõpeb vastaval tahvlil kontaktiga, mis kannab telefoniaparaadiga sama numbrit. Soovib abonent (telefonitarvitaja) ühendust teisega, siis kõlistamisega hakkab telefoni-keskjaamas tema numbri kohal olev hõõglamp põlema, mille järel keskjaama ametnik annab ühenduse soovitud telefoniaparaadiga. Selle ühendusega paneb ta ka väljakutsutud telefoniaparaadi kõlistaja helisema. Kui väljakutsutud telefoniabonent võtab telefoni kuuldetoru vastava konksu otsast, siis lülitab ta seega kõlistaja voolu välja ja lülitab sisse mikrofoni ja kuuldetoru.

Automaatkeskjaama puhul toimub telefoniaparaatide ühendamine automaatselt numbriketta pööramisega, millega on varustatud iga telefoniaparaat.

Sisukord.

Lk.

Eessõna 3

Mõõtmisi ja mõõduühikuid. 5

Mehhaanika põhimõisteid.

Raskuspunkt ja tasakaal 18
Liikumisnähtusi 22
Tung ja töö 26
Lihtmasinad 37
Võimsus ja energia 47

Vedelikud ja gaasid.

Rõhumisnähtusi vedelikes 51
Rõhumisnähtusi gaasides 65
Mõningaid gaaside omadustel põhinevaid riistu 76

Soojus.

Temperatuuri mõõtmine 83
Kehade paisumine soojendamisel 87
Soojushulga mõõtmine 94
Sulamine 98
Aurustamine ja niiskus 101
Keemine 104
Soojuse levimine 109
Soojusenergia ja töö 114

Hääl.

Hääle tekkimine ja levimine 124
Inimese hääl ja kuulmine 132

Valgus.

Valguse levimine 136
Valguse peegeldumine 138
Valguse murdumine 144
Optilised läätsed 148
Optilised riistad. Silm ja nägemine 150
Spekter 163

Magnetism.

Magnetilised põhinähtused 166
Magnetiväli 170

Elekter.

Hõõrdumiselekter 175
Õhuelekter 185
Elektrivool ja selle omadused 187
Elektrolüüs 197
Voolusoojus 200
Voolu magnetiline toime 207
Induktsioonvool ja dünamomasin 216

HIND RM. 2.60