

Dupliid

E. KILKSON – J. LANG

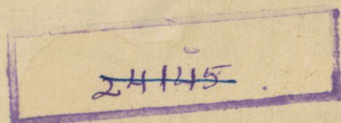
**FÜÜSIKA
ÕPPERAAMAT
KESKKOOLILE**

K. Ü. „L O O D U S“

E. KILKSON — J. LANG

F Ü Ü S I K A

ÕPPERAAMAT
KESKKOOLILE



K. Ü. „Loodus“, Tartu, 1936



A-10207

ARHIIVKOGU

K./ü. „Looduse“ keeleline korrektor H. Pürkop.

G. Roht'i trükk, Tartus 1936.

Eessõna.

Käesolev „Füüsika õpperaamat keskkoolile“ on koostatud vastavate HM-i õppekavade järgi, kusjuures on püütud võimalikult tasa-kaalus käsitleda kõiki õppekavades esinevaid küsimusi. Autoritele tundub, et kehtivad füüsika õppekavad on liiga ulatuslikud 3 tunni jaoks, seepärast tuleb käesolevas õpperaamatus antud materjali võtta kui maksimaalset. Et aga puuduvad kogemused füüsika käsitluseks keskkoolis uute õppekavade järgi, siis tuleb muidugi õpetajail endil kohastada antud materjali ulatust tegelikkudele töövõimalustele.

Mis puutub käsitluse järjekorda, siis ei ole autorid saanud siin kinni pidada HM-i kavast täies ulatuses, nimelt osutus raskeks üles ehitada füüsika kursust, jättes säärased põhimõisted nagu kiirus, tung, töö, võimsus jt. hoopis lõppu. Terviku huvides aga ei olnud sobiv isegi lühikest mehaanika osa käsitleda kahes kohas — alguses ja lõpus. Seepärast on kogu mehaanika osa antud kursuse alguses, kusjuures õpetajale jääb vabadus mõnede raskemate küsimuste (ühtlaselt kiirenev liikumine, kiirendus jt.) käsitlust kursuse lõpu poole edasi lükata.

Raamatu koostamisel on püütud silmas pidada seda, et raamat oleks tarvitatav õpilastel ka iseseisvaks töötamiseks. Seega pole raamatus kirjeldised liiga kokku surutud ega konspektiivsed. Samuti on raamatus füüsika rakendamist tehnikas ja igapäevses elus eriti rõhutatud.

Esimese katsena sisustada keskkooli füüsika õppekava on käesolevas õpperaamatus paratamatud mitmesugused puudused. Seepärast on autorid tänulikud igasuguste näpunäidete eest, mis aitavad paremini kohastada seda raamatut tegelikule tööle keskkoolis.

Tartu, september 1936.

Autorid.

Sissejuhatus.

Mõõtmisi ja mõõteühikuid.

1. Millega tegeleb füüsika. Igapäevsest elust teame, et vaba keha langeb maa poole, et soojuste mõjul tekkinud veeaur paneb liikuma raudteeveduri, et elektrivoolu tarvitatakse valgustamiseks, telefoneerimiseks, telegraferimiseks jne., jne. Liikumis-, soojus-, elektri-, valgus- jne. nähtused kuuluvad füüsikaliste nähtuste hulka. Füüsikas õpime füüsikalisi nähtusi ligemalt tundma, s. o. katsume selgusele jõuda, **kuidas** ja **mispärast** nad tekivad.

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

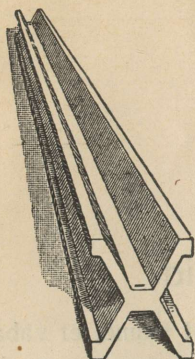
2. Mõõtmisest üldse. Mõõtmine on antud suuruse (näiteks toa pikkus) **võrdlemine** teise sama liiki suurusega (1 meeter), mida nimetame **ühikuks**. Otstarbekohasus nõuab, et mõõteühikud oleksid **muutumatud** (konstantsed), kõigil tarvitajail **samad**, oma suuruselt **mitmesugused**, kuid **üksteisega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

Põhjenda neid nõudeid lähemalt!

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

3. Meeter. Meetermõõdustiku põhiühikuks on pikkusühik **meeter**. Meeter defineeriti esialgu (1795) kui üks neljakümne miljonendik Pariisi läbiva meridiaani pikkusest. Et aga pärastised täpsamad Maa meridiaani pikkuse mõõtmised and-

sid üksteisest erinevad resultaadid (kõik mõõtmise resultaadid on ainult ligikaudsed!), siis loobuti pärast sellest meetri esialgsest definitsioonist. Nüüd nimetatakse meetriks rahvusvahelisele algmeetriks tõmmatud kahe paralleelse kriipsu kaugust teineteisest, mõõdetud jää sulamistemperatuuris. Rahvusvaheline algmeeter on valmistatud plaatina ja iriidiumi sulamist ning hoitakse alal Rahvusvahelises Mõõtude Büros Sèvres'is, Pariisi lähedal (1. joon.).



1. joon. Algmeeter.

Eestis on meetermõõdustik üldiselt tarvitusel 1. jaan. 1929. a. alates. Seejuures on seaduslikuks algmeetriks rahvusvahelise algmeetri koopias (nr. 4) järgi valmistatud koopias, mis hoitakse alal Tartu ülikoolis. Igapäevses elus tarvitusel olevate meetermõõtude kontrolli teostab Proovikoda. Selleks kasutatakse algmõõduks meetermõõtu, mida iga 5 a. järel võrreldakse Tartu ülikoolis oleva algmeetriga. Viimast aga iga 25 a. tagant kord võrreldakse Rahvusvahelises Mõõtude Büros oleva rahvusvahelise algmeetri koopiaga.

1. Kui pikk on Maa ekvaator?
2. Kui suur on Maa meridiaani pikkus põhjapoolusest lõunapooluseni?
3. Mispärast on algmeetril 1. joon. antud kuju?

4. Pikkusühikud. Meetermõõdustik on ehitatud kümnendsüsteemi alusel. Meeter (**m**) jaguneb 10 detsimeetriks (**dm**), detsimeeter 10 sentimeetriks (**cm**), sentimeeter 10 millimeetriks (**mm**); $0,001 \text{ mm} = 1 \text{ mikron } (\mu)$; $0,001 \text{ mikronit} = 1 \text{ millimikron } (\text{m}\mu)$. Meetrist suuremad pikkusühikud on: 1 dekameeter = 10 m; 1 hektomeeter = 100 m; 1 kilomeeter (**km**) = 1000 m. Nii siis:

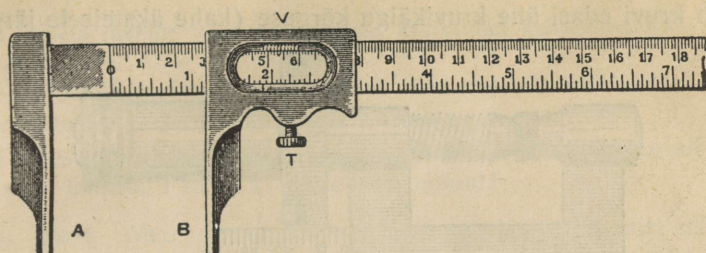
$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm};$$

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

$$1 \text{ mm} = 1000 \mu = 10^6 \text{ m}\mu.$$

1. Kuidas muutub mõõtmise täpsus kultuuri üldise arenemisega?
2. Missugused meetermõõdustiku pikkusühikud on tegelikult elus harilikult tarvitusel? Mispärast ei tarvitata kõiki ühikuid?
3. Määra ära ning pea meeles oma sammu keskmine pikkus meetrites!
4. Muretse endale vähemalt 1 m pikkune mõõtpael! Kanna seda alati kaasas ning kasuta tarbe korral ümberolevate asjade pikkuse hindamisel!

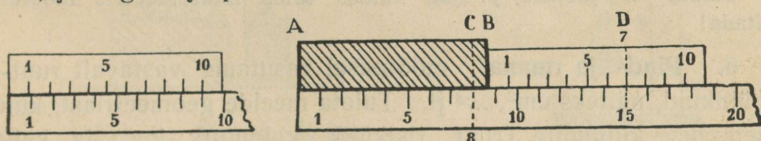
5. **Pikkuse mõõtmise riistad.** Pikkuse mõõtmiseks tarvitatakse mitmesuguseid riistu, nagu mõõtpuu, -pael ning -ahel, varbsirkel (2. joon.), mikromeeter jne.



2. joon. Varbsirkel.

Täpsamaks mõõduühiku murdosade loendamiseks tarvitatakse pikkuse mõõtmisel sagedasti abimõõtu, **nooniust**, mille ehitus ja tarvitamine selgub 3. joon.

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



3. joon. Noonius ja selle tarvitamine.

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

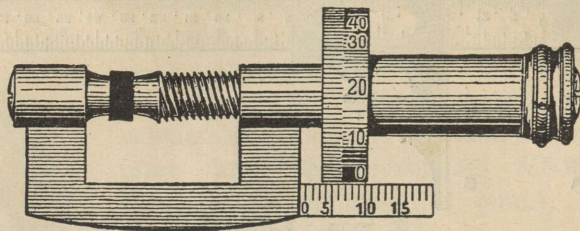
1. Tee noonius (papist, puust jne.), millega saab mõõta 1 mm-lise täpsusega. Harjuta selle riista tarvitamist ja kontrolli tulemusi, samu pikkusi mõnel teisel viisil mõõtes!

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

3. 19 mõõtpuu kriipsuvahet võrduvad nooniusse 20 kriipsuvahega. Mis-suguse täpsusega on võimalik mõõta?

4. 2. joon. põhjal seleta varbsirkli ehitust ja tarvitamist!

Hästi väikeste pikkuste täpsaks mõõtmiseks tarvitatakse **mikromeeterkruvi** ehk **mikromeetrit** (4. joon.), mis on kindlas klambris edasi-tagasi liikuv kruvi. Kui kruvi pea teeb ühe täispöörde, siis nihkub kruvi edasi ühe kruvikäigu kõrguse (kahe üksteisele järgneva



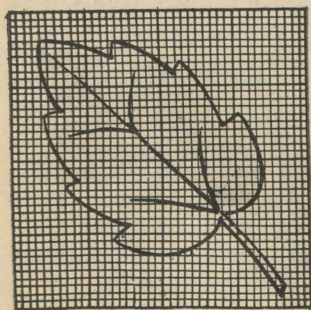
4. joon. Mikromeeter.

kruvilõike vahe) võrra. Olgu näiteks kruvikäigu kõrgus 1 mm, siis 0,2 täispöörde juures on edasinihkumine 0,2 mm, 0,02 juures vastavalt 0,02 mm, jne.

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

Seleta 4. joonise põhjal, kuidas tuleb mikromeetrit mõõtmisel tarvitada!

6. **Pind- ja ruumal mõõtmisel** kasutame vastavalt ruut- ja kuupühikuid, näiteks cm^2 , m^3 jt. Tuleta meelde geometriast, kuidas toimetatakse kujundite (ruut, ristkülik, kolmnurk jne.) ja kehade (kuup, prisma, silinder, kera jne.) pind- ning ruumala arvutamist!



5. joon. Pindala määramine mm-paberi abil.

Väiksemate ebakorrapäraste kujundite, näiteks puulehtede pindala on hõlpsam määrata **mm-paberi abil** (5. joon.). Selgita, kuidas! Õhukeste ühepaksuste kehade puhul (paber, plekk) on võimalik määrata pindala ka kaalumise teel, võrreldes antud keha kaalu mõne teise samsuguse keha kaaluga, mille pindala meile teada. Seleta lähemalt, kuidas!

Väiksema vedelikuhulga ja väikste mitte-korrapäraste kehade ruum-

ala mõõtmisel kasutatakse **mõõtklaasi** ehk **menuuri**. Samaks otstarbeks tarvitatakse ka **ülevoolu-anumat** (6. joon.). — Seleta, kuidas tuleb tarvitada mõlemat riista ruumala mõõtmisel!

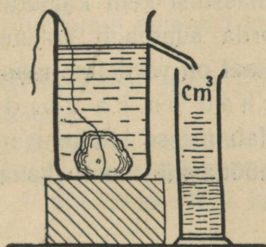
1. Tuleta meelde kõik geomeetrias käsitletud kehade ruumala määramisviisid!

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

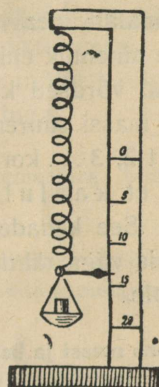
3. Mitu pange on 1 m^3 ? Mitu liitrit on panges?

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

7. **Mass.** Meil on igapäevses elus alatasa tegemist mitmesuguste asjade ehk **füüsiliste kehadega**, nagu laud, raamat, vesi, õhk, sulg, kivi jne. Igal füüsilisel kehal on oma **kuju, suurus ja koht ruumis**. Nende kolme olulise tunnuse abil on meil alati võimalik eraldada üht keha teisest.



6. joon. Menüür ja ülevoolu-anum.



7. joon. Vedrukaal.

Kõik füüsilised kehad ehk lihtsalt kehad koosnevad ühest või teisest **ainest**. Nimetame aine hulka, millest keha koosneb, keha **massiks**. Käega mitmesuguseid kehi liikuma tõugates tunneme, et keha massi oluliseks omaduseks on **vastupanu**, mis ta avaldab **liikumapanemisel**. Sama tõuke mõjul hakkab paigalseisvaist kehadest kõige kiiremini liikuma see, mille mass kõige väiksem. See kehade omadus on aluseks nende masside võrdlemisel.

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

8. **Kaal.** Võtame kätte mingi keha, näiteks kivi. Kivi tungib Maa poole ja rõhub kätt. Kui käsi alt ära võtta, langeb kivi maha. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste kehadega, nagu pliiats, kriit,

raamat jne. Nimetame keha tungi Maa poole keha raskuseks ehk raskustungiks.

Keha raskuse suuruse ehk kaalu üle otsustame kõige lihtsamalt selle rõhumise põhjal, mis keha avaldab meie lihastele. Et niisugune keha kaalu üle otsustamise viis on väga ebatäppis, tarvitatakse keha kaalu täpsamaks määramiseks sellekohaseid riistu — kaalusid. Lihtsaim neist on vedrukaal (7. joon.), kus terasvedru tema otsa riputatud kehade raskuse mõjul korrapäraselt pikemaks venib. Vedru pikenemise suuruse põhjal otsustamegi antud keha kaalu üle.

Ehita endale vedrukaal! Vedru saamiseks tuleb hea pinguletõmmatud terastraat keerata ümber ümmarguse pulga.

9. Side massi ja kaalu vahel. On selge, et samast täiesti ühtlasest aineist, näit. vesi, tina, jne., koosnevad **kehad, kui nad on võrdsed ruumalalt, peavad olema ka võrdsed oma massilt.** Nii on iga liitri vee ainehulk ehk mass sama — 1 kg. Katse näitab, et sel juhul on kehad võrdsed ka kaalult. Võrdmassilisi kehi kaaludes näeme, et keha massi suurenedes 2, 3... korda suureneb ka nende kaal vastavalt 2, 3... korda, s. o. **kehade kaal on võrdeline massiga.** Siit järgneb, et kaalult võrdsed kehad on ka võrdmassilised. See kehade omadus võimaldab masse kaalumise abil võrrelda, mis väga tähtis, sest **kaalud mõõdavad ainult kehade tungi Maa poole.**

Keha massi ja kaalu vahel tuleb kindlasti vahet teha. Kuna keha mass on jääv, oleneb keha kaal kaugusest maapinnast ja väheneb kauguse suurenedes. Ka on pooluse lähedal Maa pöörlemise (kesktõmbetung) ja lapikuse (lähemal tsentrile) tõttu kehade kaal veidi suurem kui ekvaatori lähedal. Samuti teame, et näiteks vedrukaalu otsa riputatud asi kaalu kiiresti üles tõstes rohkem ja alla lastes vähem näib kaaluvat kui paigal seistes, kuna mass jääb muutumatuks. See pärast tuleks täpsamalt nimetada keha kaaluks rõhumise suurust liikumata alusele.

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

10. Massi- ja kaaluühikud. Massi mõõtmise põhiühikuks meetermõõdustikus on **kilogramm** ehk **kilo (kg)**, mis on plaa-tina ja iriidiumi sulamist valmistatud keha (vihi) — rahvusvahelise algkilogrammi — mass. 1 dm³

puhta vee mass 4° C t⁰-l võrdub ligikaudu (27 mg vähem) ühe kiloga.

Kilost suuremad ja väiksemad massi- ning kaaluühikud on:

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

Et meetermõõdustikus, samuti ka teistes mõõtude süsteemides, kaaluühikuks on võetud ühe massiühiku kaal (1 kg massi kaalub 1 kg), siis väljendub keha mass ja kaal, vastavais ühikuis mõõdetud, alati sama arvuga; näiteks keha, mille mass 5 kg, kaalub 5 kg, jne. Seejärest meie ei teegi igapäevses elus vahet *massi* ja *raskuse* vahel; kui meie poemehelt küsime: „Palju leib kaalub“ (näiteks 2 kg), siis ei huvita meid põrmugi leiva tung Maa poole, vaid leiva aine, mass. Ka selles raamatus ei tee meie vahet samanimeliste massi- ja kaaluühikute, näiteks kg, g jne., tähistamisel. Lause mõttest selgub isegi, kas on antud juhul tegemist keha massi või kaaluga.

Eesti seaduslik algkilogramm samuti kui algmeetergi hoitakse alal Tartu ülikoolis.

1. Kui suur on sinu keha mass kg-des, g-des?

2. Eesti Vabariigi 1936./37. a. eelarveaasta korraline eelarve on tasakaalus kr. 70 679 108-ga. Mitu kg kulda saaks osta selle summa eest, kui 1 g kulda maksab kr. 3,9?

11. Erikaal. Võtame tüki kivi (graniiti) ja määrame ta ruumala ning kaalu. Kuidas? Olgu selle kivitüki ruumala 240 cm³ ja kaal 600 g. Siit arvutame **ühe kuupsentimeetri kaalu grammides ehk erikaalu**, mis on $600 \text{ g} : 240 = 2,5 \text{ g}$.

1 cm³ vett kaalub 1 g, järelikult on **vee erikaal** $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ (loe: üks gramm kuupsentimeetris). Üldse nimetame aine erikaaluks arvu, mis näitab, mitu grammi kaalub üks kuupsentimeeter seda ainet.

Tähistades keha kaalu grammides *p* (ladina keeles *pondus* — raskus, kaal), ruumala cm³-tes *v* (lad. k. *volumen* — ruumala), saame erikaalu *e* määramiseks valemi

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

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

Määra eespoolkirjeldatud viisil raua, puu, kivi ja tina erikaal!

Raua erikaal on $7,8 \frac{g}{cm^3}$, järelikut $1 cm^3$ rauda kaalub 7,8 grammi; $1 cm^3$ vett aga kaalub 1 gramm. Seega on raud veest raskem $7,8 : 1$ ehk 7,8 korda. Üldse võime öelda, et erikaal ühtlasi näitab meile, mitu korda on antud aine raskem veest, muidugi, kui mõlemat on võetud ruumalalt ühepalju.

Keha tiheduseks nimetatakse selle keha ühe kuupsentimeetri **massi** grammides. Et keha mass ja kaal, nagu nägime, on arvuliselt võrdsed, siis ka keha tihedus võrdub erikaaluga. Nii on vee tihedus $1 \frac{g}{cm^3}$, raua tihedus $7,8 \frac{g}{cm^3}$ jne.

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

Erikaalude tabel.

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

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

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

2. Kui palju kaalub klaasitäis (250 cm³) elavhõbedat?

3. Kas jõuab keskmine tugev inimene pange (12 liitrit) elavhõbedat või kuupmeetri korki üles tõsta? Kumb on kergem?

4. Mitu korda on õhk veest kergem?

5. Mitu kg kaalub klassitoatäis õhku?

6. Inimese keskmine erikaal on $1\frac{g}{cm^3}$ (too tõendeid selleks). Leia selle põhjal oma keha ruumala liitrites!

7. Kui palju kaalub kuuselaud, mille pikkus on 5 m, laius 1,8 dm ja paksus 3 cm?

8. 4 liitrit piima kaalub 4 kg 120 g. Kui suur on piima erikaal?

9. Kui palju kaalub õhk inimese keha ruumala suuruses?

10. Mitu kg kaaluks massiivsest graniidist tehtud sinu kuju loomulik suuruses?

11. Kui palju kaalub ruutmeeter telliskividest tehtud seina, mille paksus 75 cm (vt. 1. ülesanne)?

12. Põldkivi tükikese mass on 31 g, ruumala 12,4 cm³. Leia tihedus!

13. Maa keskmine tihedus on $5,5\frac{g}{cm^3}$. Arvuta Maa mass tonnides (keskmine raadius 6371 km)!

14. Mitu kg kaalub kivi, mille ruumala on 600 cm³ ja erikaal $2,5\frac{g}{cm^3}$?

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

16. Leia 3 kg petrooleumi ruumala!

17. Raudpomm kaalub 1 kg. Leia selle pommi ruumala cm³-tes!

12. Aja mõõtmine. Aja mõõtmise ühikuks on sekund, mis võrdub $\frac{1}{86400}$ keskmisest Päikese ööst-päevast. Sekundilisi ajavahemikke saame kaunis õieti tekitada pendli abil, mille pikkus on 1 m (õigemini 99,5 cm). Niisugune pendel tarvitab ühest äärmisest asendist teise liikumiseks ühe sekundi ja nimet. seepärast sekundpendliks.

13. Põhiühikud. Nagu nägime, on võimalik pind- ja ruumala-ühikuid tuletada pikkusühikute (cm³, m² jne.), samuti erikaalu — kaalu ja ruumala-ühikute (g, cm³) abil jne. Ühikuid, mille abil kõik füüsikaliste suuruste mõõteühikud lasevad endid väljendada, nimet. põhiihikuiks. Niisuguseiks põhiihikuiks füüsikas on võetud pikkusühik sentimeeter (C), massühik gramm (G) ja ajaühik sekund (S). Nagu edaspidi näeme, lasevad peaaegu kõik teised füüsikalised ühikud endid väljendada nende kolme põhi-

ühiku abil. Seepärast nimet. neil kolmel põhiühikul rajatud füüsikaliste mõõteühikute süsteemi sentimeeter-gramm-sekund (lühidalt CGS) ehk absoluutseks ühikutesüsteemiks.

1. Nimeta meetermõõdustiku ja CGS ühikute süsteemi head küljed!

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

Mehaanika põhimõisteid.

14. Liikumine ja paigalolek. 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 olla paigal; nii näiteks reisija võib olla raudteevagunis paigal vaguni suhtes, kuid liikuda Maa suhtes jne. Liikumisest ja paigalolekust kõneldes peame alati küsima, mis-suguse keha suhtes toimub antud liikumine või paigalolek, sest meie 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?

15. Ühtlane ja ebahühtlane 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 mitteühtlaselt; kaks minutit pärast jaamast väljasõitu liigub rong ühtlaselt igas sekundis 14 m edasi. 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. **ebahühtlaseks** liikumiseks.

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

16. 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: $5 \frac{\text{km}}{\text{tunnis}}$); 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, mis 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), käidud tee pikkuse tähega s (lad. k. *spatium* — ruum, kaugus) ja aja tähega t (lad. k. *tempus* — aeg), siis võime eelmise reegli üles 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 liikumise aja lõpul; selleks on vaja veel teada, missugust teed mööda ja mis suunas (kuhu poole) keha liigub.

1. Jalamees käib ühtlaselt 15 minutiga 1,25 km. Kui suur on ta kiirus

$$\frac{\text{km}}{\text{h}}, \frac{\text{m}}{\text{min}} \text{ ja } \frac{\text{cm}}{\text{sek}} \text{-tes?}$$

2. Taskukella minutiosuti pikkus on 2 cm, sekundiosuti pikkus 1,5 cm.

Kui suur on osutite otste kiirus $\frac{\text{mm}}{\text{sek}}$ -tes?

3. 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 384 400 km!

4. Kuidas on võimalik mõõta jõe voolu kiirust?

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

M ä r k u s. Kõige lähema senituntud kinnistähe kaugus Maast on 4,3 valgusaastat.

6. Kui suure kiirusega liigub Maa ümber Päikese?

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

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

Too veel näiteid mitteühtlase liikumise kohta!

Ebaühtlase liikumise puhul kõneleme liikuva keha **keskmisest kiirusest**. Selle saame, jagades kogu käidud tee pikkuse tema ära-käimiseks kulutatud ajaga. Näiteks kulutab kiirrong (Balti ekspress) 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 $\frac{km}{tund}$ -des!

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

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

Kiiruste tabel.

Aurik	30 $\frac{km}{tunnis}$	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 $1 \frac{km}{tunnis}$ kujutamiseks võta 1 mm.

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

3. Jalamees käib 45 minutiga 3 km. Leia ta keskmine kiirus $\frac{km}{tunnis}$.

$\frac{m}{min}$ ja $\frac{cm}{sek}$!

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 jooksus rekordajaks Eestis on praegu 10,7 sekundit. Leia sellele vastav kiirus $\frac{m}{sek}$ -tes. Ülemaailmaline rekordaeg saja meetri jooksus praegu on 10,3 sek. Missugune kiirus vastab sellele? Kui palju suudaks inimene seesuguse kiirusega tunnis edasi liikuda?

6. Soomlane Nurmi on joosnud 5000 m ajaga 14 min. 28 sek. Arvuta selle jooksu keskmine kiirus $\frac{m}{sek}$ -tes ja $\frac{km}{tund}$ -des!

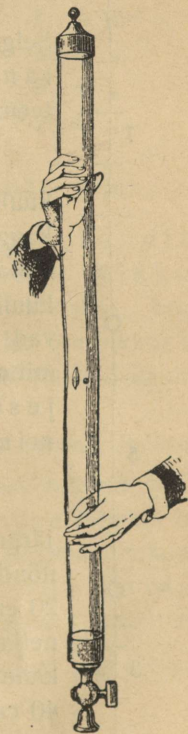
7. Kui palju kuluks aega kiirrongil Kuule sõitmiseks (384 400 km)?

18. Kehade vaba langemine. Galilei I seadus. Vanaaja teadusmehed (Aristoteles, 384—322) arvasid, et rasked kehad langevad kiiremini kui kerged. Sellele otsusele tuldi igapäevsetest tähelepanekutest, milledest teame, et näiteks kivitükk langeb kiiremini kui paberileht, paberileht kiiremini kui udusulg, jne. Kuid siin jäeti arvestamata õhu mõju langemisele, mis kergeid võrdlemisi suure pinnaga kehi (paberileht) palju suuremal määral langemisel takistab kui väikesi ja raskeid kehi (kivitükk). Olles õhu takistava mõju kõrvaldanud, näeme, et nii kerged kui ka rasked kehad langevad täiesti ühtviisi. Esimesena tuli sellele otsusele kuulus Galilei (1564—1642), kes avastas kehade vaba langemise seadused.

Teeme mõned katsed, mis näitavad, et õhutakistuse kõrvaldamisel kõik kehad langevad ühtviisi.

a. Katame metallraha (20-sendine) paberist ringiga nõnda, et paberi ääred üle rahatüki äärte ei ulatuks. Üheskoos langevad rahatükk ja paber ühtviisi, lahus langedes jõuab raha paberist ette. Mis pärast?

b. Võtame kaks ühesuurust paberilehte, näiteks poolpoognat, ja laseme nad langeda. Nad langevad enam-vähem ühtviisi. Nüüd löikame ühe paberitüki näiteks 16-ks võrdseks osaks, paneme nad kõik ühte ja jälle võrdleme mõlema poolpoogna langemist. Katse näitab, et kokkupandud paberitükk langeb palju kiiremini, hoolimata sellest, et mõlema raskused on ühesugused. Kuidas seda seletada?



8. joon. Kehad langevad tühjas ruumis ühtviisi.

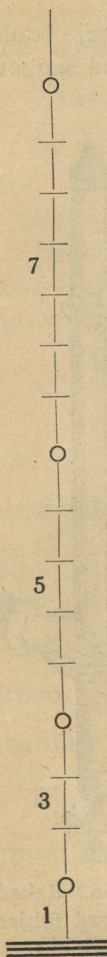
c. Kõige selgemini võime näha õhu takistavat mõju kehade langemisel järgmises katses, mille korraldas esimesena I. Newton. Pikas klaastorus on tinakuulike, korgitükk ja udusulg (8. joon.). Toru äkki ümber pöörates näeme, et korgitükk ja udusulg jäävad langemisel tinakuulist maha. Hõrendame õhupumba abil torus oleva õhu. Nüüd võime tähele panna, et mahajäämine muutub seda väiksemaks, mida suurem on torus oleva õhu hõrendus. On hõrendus küllalt suur, siis langevad tinakuulike, korgitükk ja udusulg täitsa ühtviisi. Uuesti õhu torusse laskmisel saame jällegi udusule ja korgitüki mahajäämise.

Kõigist neist katsetest võime järeldada, et **tühjas ruumis langevad kõik kehad ühtviisi** (Galilei I seadus).

19. Ühtlaselt kiirenev liikumine. Galilei II seadus. Selgitame nüüd lähemalt, kuidas liigub keha vabalt langemisel — kas ühtlaselt või ebaühtlaselt. Selleks teeme järgmise katse.

Seome niidi külge iga 60 cm tagant väikese tinakuulikesega. Sirutame niidi välja nõnda, et alumise kuulikesega kaugus põrandast oleks 60 cm, ja siis laseme kuulikesed vabalt põrandale langeda. Nüüd võime tähele panna, et kuulikesed järjest lühema aja järel vastu põrandat langevad. Sellest järeldame, et kuulikesed langevad **mitteühtlaselt** ja et nende langemise kiirus järjest suureneb. Nii siis keha vaba langemine on kiirenev liikumine.

Langemise kiirenemise ligemaks määramiseks teeme järgmise katse. Seome niidi külge neli tinakuulikest nõnda, et esimese kuulikesega kaugus niidi otsast oleks 20 cm, teise kuulikesega kaugus 80 cm, kolmanda 180 cm ja neljanda kuulikesega kaugus 320 cm, s. o. iga järgmise kahe kuulikesega vahe on eelmisest kuulikesest 2×20 , s. o. 40 cm võrra suurem. Nüüd sirutame niidi välja nõnda, et ots põrandani ulatuks (9. joon.), ja laseme kuulikesed vabalt langeda. Kuulikeste põrandalelangemise hoopisid tähele pannes kuuleme, et nad üksteisele võrdsete ajavahe-
mikkude järel järgnevad. Tähendab,



9. joon.

esim.	ajavahem.	jooksul langeb iga kuulike	20 ehk	1 · 20 cm;
teise	"	" " "	60 "	3 · 20 "
kolmanda	"	" " "	100 "	5 · 20 "
neljanda	"	" " "	140 "	7 · 20 "

Sedaviisi saadud tabelit lähemalt tähele pannes näeme: vabal langemisel iga võrdse ajavahemiku jooksul käidud tee pikkus on eelmisel ajavahemikul käidud tee pikkusest **sama pikkuse võrra**, antud juhul 40 cm, suurem.

Katsed näitavad, et vaba keha langeb **esimese sekundi jooksul 5 m** (õigemini **4,9 m**). Varem leitud korrapärasuse põhjal kirjutame:

1.	sekundi jooksul langeb vaba keha	1 · 5 m
2.	" " " " "	3 · 5 "
3.	" " " " "	5 · 5 "
4.	" " " " "	7 · 5 "
n.	" " " " "	(2n—1) · 5 m.

Eelmise tabeli vaatlusest selgub, et üksikute sekundite jooksul vabal langemisel käidud teede pikkused on **võrdelised vastavate paarituarvudega**, näiteks: teine paarituarv on 3 ning seega teise sekundi jooksul käidud tee pikkus on 3 · 5 m; neljas paarituarv on 7 ning neljanda sekundi jooksul käidud tee pikkus on 7 · 5 m, jne.

Mitu meetrit langeb vaba keha 10., 15., 17., 25., 50. sekundi jooksul?

Edasi järgneb eelmisest tabelist, et iga järgmise sekundi jooksul langeb keha 2 · 5 ehk **10 m** (täpsamini **9,8 m**) võrra rohkem kui eelmise sekundi jooksul. Kui keha langemisel iga järgmise sekundi jooksul käidud tee pikkus on suurenenud 10 m võrra, siis on ka selle keha kiirus iga järgmise sekundi jooksul suurenenud keskmiselt $10 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ võrra. Tõepoolest, sest kiirus näitab 1 sekundi jooksul käidud tee pikkust.

Liikumist, kus keha kiirus mistahes võrdsetes ajavahemikkudes võrdselt kasvab, nimetatakse **ühtlaselt kiirenevaks** liikumiseks ja kiiruse juurdekasvu 1 sekundi jooksul — **kiirenduseks**.

Seega võime eelmiste katsete tulemusena öelda, et **kehade vaba langemine on ühtlaselt kiirenev liikumine, mille kiirendus on $10 \frac{m}{sek}$** (täpsamini $9,8 \frac{m}{sek}$) **ühes sekundis** (Galilei II seadus).

Kehade vaba langemise kiirendus tähistatakse füüsikas tähega **g** ja tema suurus on $980 \frac{cm}{sek^2}$ ehk $9,8 \frac{m}{sek^2}$. Kiirenduse ühikute ($\frac{cm}{sek^2}$, $\frac{m}{sek^2}$ jne.) tähistamisel esineb ajaühiku nimetus ruudus, kuna kiiruse puhul esineb ajaühik esimeses astmes. Põhjus seisab selles, et kiirenduse suuruse arvutamisel tuleb kiiruse juurdekasv jagada vastava ajaga. Sellepärast jagatakse siis ka vastav kiiruse nimetus veel kord ajaga, näiteks: $\frac{cm}{sek} : sek = \frac{cm}{sek^2}$; $\frac{m}{sek} : sek = \frac{m}{sek^2}$ jne.

Nagu teame, õhk teataval määral takistab kehade vaba langemist. Seepärast tuleb silmas pidada, et eelmised korrapärasused on kehtivad langemise kohta vaid tühjas ruumis.

1. Missugune liikumine on ühtlaselt tasanev?

2. Too näiteid ühtlaselt kiireneva ja ühtlaselt tasaneva liikumise kohta.

20. Vabal langemisel käidud tee pikkuse arvutamine. Tahame teada, kui pika tee käib keha vabal langemisel kahe, kolme, nelja jne. esimese sekundi jooksul ühtekokku, selleks liidame järjest esimese, teise, kolmanda jne. sekundi jooksul käidud tee pikkused. Siis saame järgmise tabeli:

esimese sek. jooksul langeb keha	$1 \cdot 5 = 1^2 \cdot 5$ m
esim. + teise " " " "	$1 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 4 \cdot 5 = 2^2 \cdot 5$ "
(esim. + teise) + kolmanda " " " "	$4 \cdot 5 + 5 \cdot 5 = 9 \cdot 5 = 3^2 \cdot 5$ "
nelja esimese " " " "	$9 \cdot 5 + 7 \cdot 5 = 16 \cdot 5 = 4^2 \cdot 5$ "
.....

Saadud tabelist selgub, et vabal langemisel käidud tee pikkuse arvutamiseks meetrites tuleb 5 korrutada vastava sekunditearvu teise astmega. Tähistame käidud tee pikkuse meetrites tähega **s** ja temale vastava sekundite arvu tähega **t**, siis saame vabal langemisel käidud tee pikkuse arvutamiseks järgmise valemi:

$$s = 5 t^2$$

Sellest valemist järgneb, et vabal langemisel käidud tee pikkus on võrdeline vastava aja ruuduga.

Et esimese sekundi jooksul käidud tee pikkus arvuliselt võrdub kiirenduse poolega, s. o. $\frac{g}{2}$, siis võime vaba langemise valemi kirjutada üldkujul nõnda:

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

1. Mitu meetrit langeb keha 3, 5, 8, 10 ja 20 esimese sekundi jooksul?
2. Kui sügav on kaev, kui ülemisest äärest allalastud kivi 4 sekundi pärast jõuab veepinnani?
3. Mitu sekundit tarvitab kivi Eiffeli tornist mahalangemiseks, mille kõrgus on 300 m?
4. Mitme sekundiga langeb keha klassitoa laest põrandale?
5. Vihmapilve kaugus maapinnast on 1 km. Mitu sekundit tarvitab vihmapiisk sellest pilvest mahalangemiseks, oletades, et õhk langemist ei takista?
6. Aeroplaanilt mahalastud kivi jõuab 6 sekundi pärast maapinnani. Kui kõrgel on aeroplaan?
7. Kui kõrge on Oleviste kiriku torn Tallinnas, kui tornist allalastud kivi tarvitab mahalangemiseks $5\frac{1}{4}$ sek?

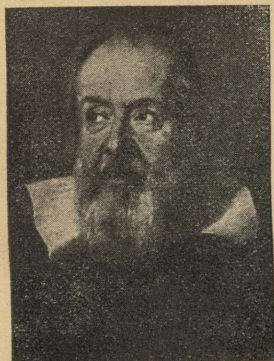
21. Inerts. Palli liikumapanemiseks on vaja teda tõugata; et seisev rong hakkaks liikuma, peab vedur teda tõmbama, samuti vankrit hobune; kõndides liigume edasi lihaste pingutuse abil jne. Nii näeme, et ükski paigalolev keha ei hakka liikuma iseendast, ilma põhjuseta.

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 alal hoida 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 püüab kas paigal püsida või liikuda ühtlaselt ning sirgjooneliselt niikaua, kuni mõni põhjus seda olekut ei muuda. See lause kannab inertsiseaduse nime, sest inertsiall mõeldaksegi kehade omadust alal hoida oma liikumise olekut.



10. 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 Padua 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 Kopernikuse õpetust Maa liikumisest ümber Päikese. Selle eest heideti ta vangi ja sunniti vägivaldselt koguni lahti ütlema oma õpetusest. Kuulus Torricelli oli Galilei õpilane, kes jätkas Galilei tööd.

Katsu sama tugeva tõukega liikuma panna raskeid ja kergeid kehi (kivi, pall, puuklopid). Mida märkad? Kuidas on lugu sama 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 piduriga rongi 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 riiete seest 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 haiget ei saaks?

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?

22. Tung ja selle mõõtmine. Võtame kätte mingi 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 jne. Riputa mõni neist niidi otsa ja põleta niit läbi. Vaata, mis juhtub.

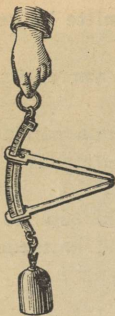
Inertsiseaduse järgi ei hakka ükski keha liikuma iseendast, ilma põhjusest. See maksab ka kehade langemise kohta. Siin on **raskus** ehk **raskustung** selleks põhjuseks, miks kehad Maa poole langevad. Nii siis: kehad langevad Maa poole raskustungi toimel.

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 jne.

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. — 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 kivitõstmisel 10 kg jne.



11. joon.
Dünamomeeter.

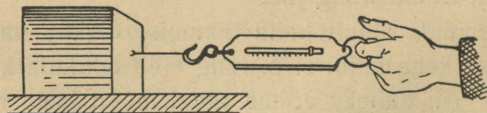
Peale raskusühikute on mehaanikas väga sagedasti tarvitatavaks tungiühikuks **düün**, mille suurus on $\sim 0,001$ (täpsamalt $\frac{1}{1000}$) grammraskusest. Peame meeles:

$$1 \text{ düün} \approx 0,001 \text{ g.}$$

Riistu, mille abil saab mõõta tungi suurust, nimet. **dünamomeetriteks** (11. joon.). Selleks otstarbeks võib tarvitada ka iga kaalu.

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

23. Hõõrdumine. Tasast maapinda mööda visatud kivi, rõhtsal pinnal rööpail liikuma pandud vagun, uisutaja jää, 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 eelmises näiteis takistas kehade liikumist? — Kehade pind ei ole kunagi päris sile, vaid konarlik. Vaatle seda luubiga! Liikumisel jäävad ühe keha pinna konarused teise keha konaruste vahele ja takistavad sedaviisi liikumist. Ütleme sel puhul lühidalt: liikumist takistab **hõõrdumine** ehk **hõõrdumistung**. Kui tahame, et liikumapandud keha liiguks järjest edasi ühtlaselt, s. o. endise kiirusega, peame kogu aeg ületama liikumist takistavat hõõrdumistungi.

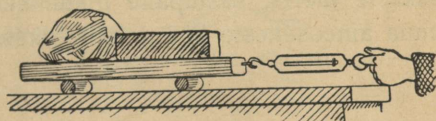


12. joon. Hõõrdumistungi määramine liugumisel.

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: $1 \text{ kg} : 4 \text{ kg} = \frac{1}{4}$. Seda suhet nimetatakse ka **hõõrdumiskoefitsiendiks**.

Määra kirjeldatud viisil hõõrdumistungi suurus klassipingi, laua, puu-
 -halu, kasti jne. vedamisel mööda põrandat. Arvuta iga juhu kohta hõõrd-
 -dumistungi ja keha raskuse suhe ehk hõõrdumiskoefitsient. Võrdle saadud
 hõõrdumiskoefitsiente omavahel. Määra katse abil, kuidas oleneb hõõrd-
 -dumiskoefitsient pinna suu-
 -rusest ja siledusest,
 keha raskusest ja õlita-
 -misest.



13. joon. Hõõrdumistungi määramine
 veeremisel.

Asetame lauatükile raskuse
 suurendamiseks mõned kivid.
 Veame sedaviisi koormatud laua-
 -tükki 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?

Katsed näitavad, et hõõrdumine veeremisel on
 märksa väiksem kui liugumisel. Seepärast püütaksegi
 igal pool, kus vähegi võimalik, liugumine 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, näi-
 -teks 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, rihtmäd ei veaks masinaid ümber jne.

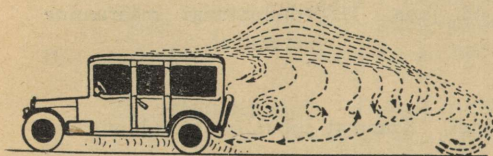
Too veel näiteid, kus hõõrdumine on meile kasulik!

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

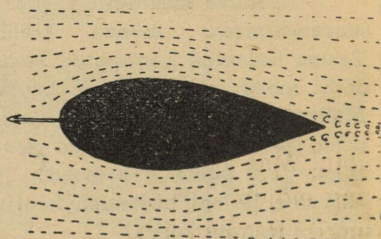
mõjub ka õlitamine: õlikiht katab kokkupuutuvad pinnad ja teeb nad libedaks.

1. Kui puuduks hõõrdumine, kas oleks siis võimalik liikuma hakata, seisma jääda, asju nõõriga kokku siduda, naelu ja kruvisid tarvitada jne.?
2. Mispärast on tähtis, et maanteed oleksid hästi siledad?

24. Keskkonna takistus. Kõik meie liikumised toimuvad kas õhus või vees. Õhk ja vesi, samuti teised gaasid ja vedelikud, takistavad kehade liikumist neis. Juhul, kui keha liigub mõnes **keskkonnas**, näiteks aeroplaan õhus, allveepaat vees, kõneleme selle **keskkonna takistusest liikumisele**. Keskkonna takistuse põhjuseks on keskkonna aineosakeste inerts, vastupanu liikumisele, mis tuleb ületada, ja keskkonna aineosakeste hõõrdumine üksteise vastu.



14. joon. Auto liikumisel tekkinud õhukeerised takistavad liikumist.



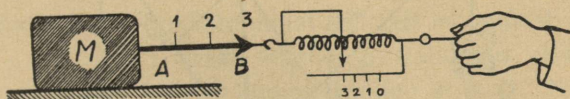
15. joon. Keskkonna takistus on kõige väiksem tilgakujulise keha liikumisel.

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**. Sellepärast ehitataksegi kiirsõidua autod, lennuki tiivad, allveelaeva kered, torpeedod jne. keskkonna takistuse vähendamiseks tilgakujuliselt.

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

25. Tungi graafiline kujutamise. Tungi mõju kehale oleneb tungi suuruselt ja ka sellest, kus kohas 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**. Nii siis, 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** (16. joon.), mille algus asetseb antud tungi rakenduspunktis **A**, suund näitab antud tungi suunda ja pikkus mahutab endas nii mitu mõõtu, kui mitu tungühikut on antud tungi suuruses. 16. joon. kujutab nool **AB** tungi, mille suurus on 3 kg ja mis mõjub antud kehale **M** rakenduspunktis **A** noole **AB** suunas.



16. joon. Tungi graafiline kujutamine.

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

Raudteerong liigub ühtlaselt ning sirgjooneliselt. Vedur tõmbab järjest ühtviisi, kuid kiirus ei suurene, sest veduri tõmbetung kulub selleks, et hoida tasakaalus kõiki rongi liikumise takistusi, nagu hõõrdumist, õhu takistust jne., ja rong liigub inertsil 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. — Kaks tungi, mis hoiavad tasakaalus ehk tasakaalustavad teineteist vastastikku, peavad olema võrdsed suuruse poolest, suuna poolest aga otse vastupidised, ning nimet. seepärast võrdvastupidiseiks.

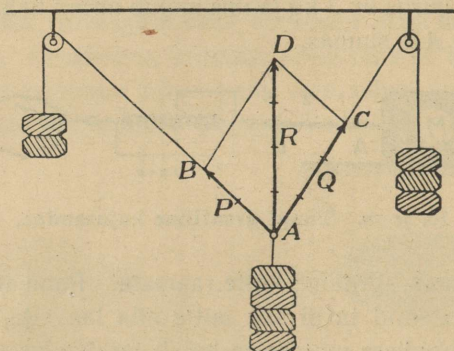
1. Too näiteid tasakaalustatud tungide kohta!
2. Kuidas kujutada graafiliselt võrdvastupidiseid tunge?

27. 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 tungid nimet. **liidetavaiks** ehk **komponentideks**, liitmise

resultaat — **resultandiks**. On selge, et ühes suunas mõjuvate 2 kg ja 3 kg kui komponentide resultant on $2 + 3$, s. o. 5 kg. Järelikult, 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 (17. joon.), kuid nende suunad



17. joon. Tungide rööpkülik.

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 17. joon. kujutatud katse vastab sellele juhisele!

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

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

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 A suurused on:

- (a) $P = 3$ kg, $Q = 4$ kg, $A = 90^\circ$;
- (b) $P = Q = 5$ kg, $A = 120^\circ$;
- (c) $P = 5$ kg, $Q = 12$ kg, $A = 90^\circ$;
- (d) $P = 4$ kg, $Q = 6$ kg, $A = 60^\circ$.

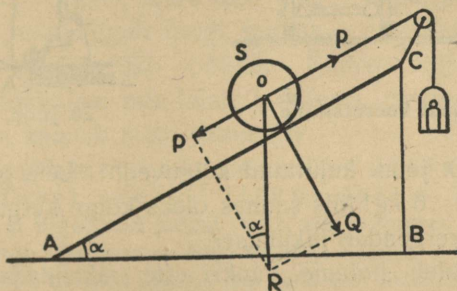
6. Rakenduspunktis A mõjuvad 4 tungi: põhjasuunas $P_1 = 17$ kg, idasuunas $P_2 = 12$ kg, lõunasuunas $P_3 = 13$ kg ja läänesuunas $P_4 = 9$ kg. Leia suunalt ja suuruselt nende resultant P !

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

28. Tungide lahutamine. Tungide liitmisele vastupidiseks teh-
teks on tungide lahutamine. Sel puhul tuleb antud tung (resultant)
asendada kahe või enam tungiga (komponendiga), mis kõik kokku
avaldavad rakenduspunktis samasugust mõju, kui antud tung üksinda.
Kahe antud tungi liitmise puhul joonestame nende kui külgede põhjal
rööpküliku, mille diagonaal on otsitavaks resultandiks. Überpöör-
dult, antud tungi lahutamise puhul tuleb ehitada rööpkülik antud tungi
kui diagonaali põhjal. Et sama diagonaaliga on võimalik ehitada väga
mitu rööpkülikut, siis on ka antud tungi lahutamine komponentideks
võimalik väga mitmel viisil.

Näitena vaatame lähemalt järgmisi tungide lahutamisjuhte.

29. Kaldpind. Olgu kaldpinnal AC , mis moodustab rõhtpinnaga
 AB nurga α (18. joon.), raske silinder S . Lahutame silindri raskus-
tungi R kui resultandi kaheks komponendiks: P ja Q . Komponent P



18. joon. Kaldpind.

on kaldpinnaga rööbiti ja püüab silindrit mööda kaldpinda alla vee-
rema panna, komponent Q on kaldpinnaga risti ja rõhub ainult silind-
rit vastu kaldpinda. Kui tahame, et silinder püsiks kaldpinnal paigal,
tuleb meil tasakaalustada ainult komponenti P , kuna komponent Q
on kaldpinna vasturõhumisega isegi tasakaalustatud. Kolmnurkade
sarnasuse põhjal (täisnurksed kolmnurgad, millede üks teravnurk
võrdne) võime kirjutada:

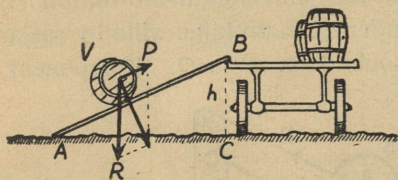
$$P : R = BC : AC,$$

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

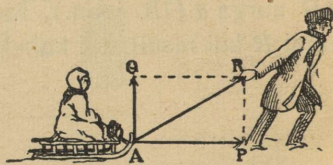
Et $\frac{BC}{AC} = \sin \alpha$, siis võime eelmise võrduse asemele kirjutada $P : R = \sin \alpha$, millest $P = R \sin \alpha$, s. o. kaldpinnaga rööbitine komponent on võrdeline keha raskusega ja kaldenurga siinusega.

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

Mõõda 19. joonisel kujutatud kaldpinna pikkus ja kõrgus ning arvuta, kui suur peab olema tung P , mis hoiaks tasakaalus vaati V , mille raskus $R = 160$ kg.



19. joon. Vaadi veeretamine.



20. joon. Kelguvedu.

Seleta 20. joon. kujutatud kelguvedu! Leia graafiliselt P ja Q suurus, kui $R = 6$ kg! Mis suunas oleks kõige kergem vedada? Kas komponent Q kergendab liikumist?

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

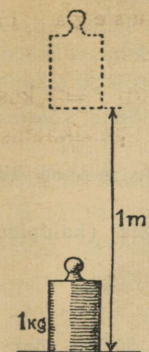
30. Töö ja selle mõõtmine. Meie teeme tööd, kui tõstame kivi või mingisugust muud raskust, veame kelku, pumpame vett jne. Samuti teeb tööd hobune koormat vedades, aurukatel rehepeksu- või mõnd teist masinat ümber ajades, vesi ning tuul veskit käima pannes, jne. Nagu neist näiteist selgub, tuleb töötegemisel alati ületada mõnesugust takistust (raskustung, hõõrdumine jne.). 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. Füüsilikas mõõdetakse töö hulka (U) tungi suuruse (F) ja tungi rakenduspunkti poolt käidud tee pikkuse (S) korrutisega, s. o.

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

$$U = F \cdot S$$

Kui me näiteks tõstame 1 kg vertikaalselt 1 m võrra kõrgemale, siis nihkub 1 kg-se tungi rakendus-punkt edasi tungi suunas 1 m võrra (21. joon.). Seejuures tehtud töö hulka nimetame **kilogramm-meetriks (kgm)** ehk meeter-kilogrammiks (mkg), mis töö hulga mõõtmise ühikuna üldiselt tarvitusele võetud. Eelöeldust selgub, et 3 kg kõrgemale tõstmisel 2 m võrra teeme $3 \cdot 2$, s. o. 6 kgm tööd jne.

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



21. joon.

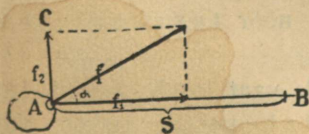
Tööühik kgm.

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

Tuleb silmas pidada, et **töö tegemine ülaltoodud mõt-tes 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 väsis? Samuti „liikumatult“ paigal seistes, kätt kõrvale väljasirutatult hoides, vastu lauda rõhudes jne. väsimise siiski, sellest hoolimata, et füüsika mõttes seejuures tööd ei tee. Mispärast? Too veel sama-laadilisi näiteid!

Inimese ja loomade lihastetungi, masinate, tuule, vee jne. tööd nime-tatakse sagedasti ka **mehaaniliseks** ehk füüsiliseks tööks vastan-dina **vaimsele** tööle, mida teeme lugedes, ülesannet lahendades, üldse mõeldes. Ka vaimse töö juures me väsimise, kuigi siin pole tegemist kehade liikumapanemisega nagu mehaanilise töö juures.

Sagedasti moodustab tungi (f) suund rakendus-punkti edasiliikumise suunaga (AB) teatava nurga (22. joon.). Niisugusel juhul lahutame antud tungi f kaheks komponendiks: rakendus-punkti A edasiliikumise (AB) ja sel-lega risti (AC) suunas. Keha edasiliikumiseks mõjub ainult komponent f_1 , kuna komponent f_2 mõjub edasiliikumise suunale risti. Seega siis on tungi f kasulik töö $u = f_1 s = fs \cos \alpha$, sest $f_1 = f \cos \alpha$.



22. joon. Töö mõiste üldjuhul.

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 raskuse vedamisel mööda põrandat. Kas on olemas tehtud töö hulk ajast, mille jooksul see töö on tehtud?

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

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

6. Leia, kuidas mõõta töö hulka § 27 toodud näiteis (kaldpind, kelguvedu).

7. Kumb on suurem: kas mg-cm või erg?

8. Väljenda kgm ergides ning võrdle teda džauliga!

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

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

11. Kooli veevärgi reservuaar mahutab 1,2 m³ vett ja asetseb 35 m kõrgemal veepinnast kaevus. Mitu kgm (džauli) tööd kulub selle veehulga ülespumpamiseks?

12. 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?

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

14. Poiss viskas 120-grammise kivi 20 m kõrgusele. Kui palju tööd kulub selleks?

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

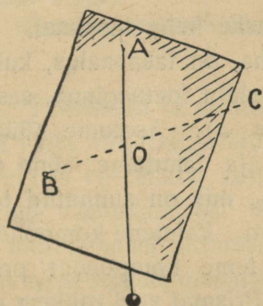
16. Mitu kgm tööd teeb raudteevedur rongi Tartust Tallinnani vedades (191 km), kui rong kaalub 150 tonni ja veduri tõmbetugevus on 0,5% rongi raskusest?

31. Raskuspunkt ja tasakaal. Pilt ripub seinal, lamp laes konksu otsas. Siin hoiab neid asju maha langemast seina või lae külge kinnitatud nöör. Ütleme veel teisiti: nöör t a s a k a a l u s t a b nende asjade raskust.

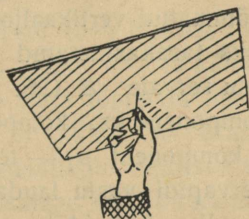
Raamat seisab laual, tool põrandal, vaat lasub vankril, laev sõidab merel jne. Siin t a s a k a a l u s t a b kehade raskust alus, millele need kehad toetuvad: laud, põrand, vanker, merevesi jne. Vaatame lähemalt kehade mitmesuguseid tasakaalu juhtumeid.

Võtame papitüki ja pistame ta ühest äärest nõõpnõela läbi, nii et ta selle ümber saaks vabalt võnkuda. (23. joon.). Nõõpnõel on toeks ehk toetuspunktiks, mis tasakaalustab papitüki raskust. Pärast lühikest võnkumist jääb papitükk seisma. Kui teda sellest asendist välja viia, tuleb ta ise sinna jälle tagasi. Seepärast nimetame säärast keha tasakaaluasendit **püsivaks tasakaaluks**.

Märgime nüüd loe abil papitükile toetuspunktist *A* läbimineva püstsihi. Teeme samuti mõne teise toetuspunkti suhtes (*B*). Seda viisi talitades näeme, et püsiva tasakaalu korral toetuspunktist tõmmatud püstsihid kõik lõikuvad ühes punktis (*O*). Nimetame seda punkti papitüki **raskuspunktiks**. Eelmine katse näitas, et püsiva tasakaalu korral asetseb raskuspunkt alati püstsihis otse toetuspunkti all.



23. joon. Papitüki raskuspunkti määramine.



24. joon. Papitüki toetamine raskuspunktis.

Võime kujutella, et kogu papitüki raskus on mõjumas ehk rakendatud raskuspunktis. Seega on siin raskuspunkt keha raskuse rakenduspunktiks. Tõepoolest, toetades papitükki alt raskuspunktis nõelaga, näeme, et papitükk jääb tasakaalu. See näitab, et oleme raskuspunktis tasakaalustanud kogu papitüki raskuse. Valides toetuspunkti väljaspool raskuspunkti, kukub papitükk ümber, sest raskuspunkt ja toetuspunkt ei asetse ühel ja samal püstsihil.

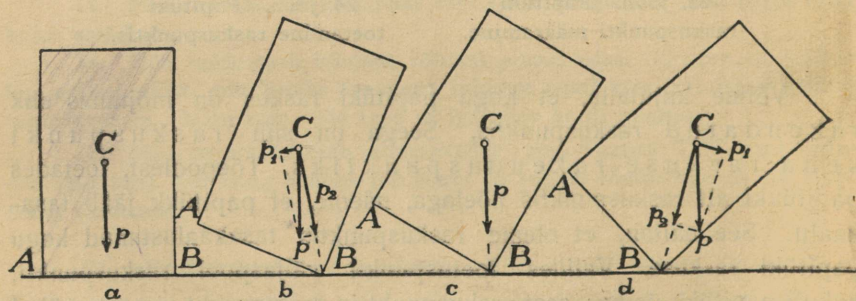
Pistame nüüd papitükist raskuspunktis nõela läbi. Papitükki nõela kui telje ümber ringi pöörates näeme, et ta jääb tasakaalu igas asendis. Seepärast ütleme, et papitükk on ükskõikses tasakaalus. Katsed näitavad, et raskuspunktis toetatud keha on alati ükskõikses tasakaalus.

Ükskõikses tasakaalus on ka jalgratta, vankri ja kõik masinate rattad. See on vajaline, et nad ühtlaselt käiksid ja kuluksid. Muidu saab võll või laager ühelt poolt tugevamaid tõukeid kui teiselt; ta kulub sellelt poolelt kiiremini, hakkab logisema ning läheb rikki.

Igal kehal on oma raskuspunkt. Ta asendi määramiseks võime kasutada sama viisi kui papitüki puhul. Määra sel teel tooli raskuspunkti asend. Raskusi tekitab siin toetuspunktist läbimineva püstsihi märkimine. Harilikult läheb see siht keha seest, kus märkimine võimatu.

Lihtsam on korrapärase geomeetrilise kujuga keha raskuspunkti leidmine. Nii asetseb ühtlase kera raskuspunkt kera tsentris, kuubil ja risttahukal samuti nende tsentris (diagonaalide lõikepunktis), silindril telje keskel jne.

32. Rõhtsale pinnale toetuva raske keha tasakaal. Rõhtsale pinnale toetuv keha, näiteks püstprisma, on tasakaalus, kui raskuspunkti tõmmatud vertikaaljoon läheb läbi toetuspinna, sest siis on keha raskus tasakaalustatud (25. joon. a). Asetame nüüd prisma lauale kaldu servale B (25. joon. b) ja lahutame tema raskuse p kaheks komponendiks: komponent p_2 , mis on suunatud toetuservale B , ja komponent p_1 — temaga risti. Esimene komponent rõhub prisma servapidi vastu lauda, kuna teine komponent prisma ta endisse asendisse tagasi liikuma paneb. Prisma veel rohkem paremale



25. joon. Toetuva keha tasakaalu juhud.

poole kaldu pöörates (25. joon. c) saame asendi, milles raskuspunkt C -st tõmmatud vertikaaljoon toetuservast otse läbi läheb. Tasakaal on küll olemas, kuid ta on püsimatu, sest sellest asendist vähe ühele või teisele poole kõrvale kaldudes ei tule keha enam oma endisse asendisse tagasi.

Viimases 25. joon. kujutatud asendis (d) on komponent p_1 suunatud endisest asendist väljapoole ja keha kukub ümber.

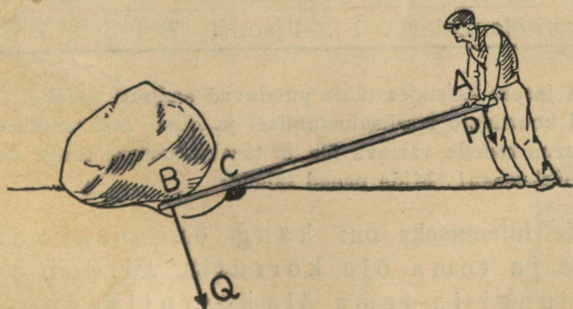
Nagu neist juhtumest näha, tuleb keha, mis püsiva tasakaalu asendist välja viidud, ainult siis oma endisse asendisse tagasi, kui raskuspunkti tõmmatud püstjoon läheb seespool toetus-piirjoont.

Näita, et keha tasakaal on seda püsivam, mida suurem on toetus-piirjoon ja mida madalamal asub raskuspunkt!

1. Kumb läheb kergemini ümber: kas õle- või liivakoorem?
2. Mispärast on karkudega raske kõndida?
3. Mispärast meie mööda palki või latti kõndides käed tasakaalu hoidmiseks kõrvale välja sirutame?
4. Mispärast hoidub inimene, kes mingit raskust kannab, ühele või teisele poole kaldu?
5. Kumb lamp läheb kergemini ümber: kas tühi või petrooleumiga täidetud?

33. **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 masinaiks. Lihtsamad neist on kaldpind, kang, plokk, vinn, kiil ja kruvi.

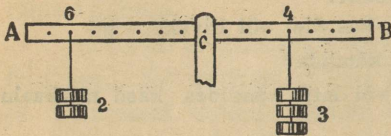
34. **Kang. Tasakaal kangil.** Suurte raskuste nihutamiseks, näiteks kivide ja kändude kaalumisel, on väga kasulik tarvitada



26. joon. Kivi kaalumise kangil abil.

kangi (26. joon.). See on tugev sirge varb AB (puu- või raudlatt), mille üks ots (B) pannakse tõstetava keha alla, teise otsas

(A) surub tööline noole suunas. Kangi toetuspunktiks 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 kujutatud 27. joonisel.



27. joon. Kahepoolne kang.

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 märgimine tabelisse; ühes sellega märgime sinna ka koormise ja tasakaalustava tungi rakenduspunktide kauguse toetuspunktist — koormise ja tungi õla pikkuse.

Siin kang AB annab vabalt pöörduda raskuspunktis C läbimineva telje ümber. Et varva kogu raskust võime kujutella rakendatuna raskuspunktis C, viimasest läbiminev telg aga toetub sambale ning püsib paigal, siis peab ka varb AB jääma igas asendis tasakaalu. Riputame ühele poole kangile

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

Kangil järele katsudes täida puuduvad andmed tabelis! Vaatle veel uusi juhtusid koormiste tasakaalustumisel ja kannad 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 27. joonisel tarvitatud koormise ja tungi tähistust võime eelmise lause lühidalt üles kirjutada nõnda:

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

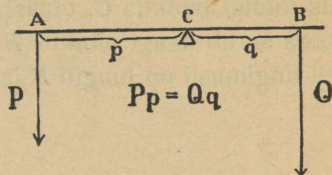
Lahenda nüüd ülesanne: kui tugevasti rõhub kang kivi ülespoole otsas B (26. joon.). Seejuures tuleb silmas pidada, et kang rõhub kivi niisama tugevasti kui kivi kangi.

Nimetame tungi suuruse ja ta õla korrutise tungi momentiks. Seda lühendatud väljendusviisi tarvitades võime kangi tasakaalu tingimuse sõnastada järgmiselt: kang on tasakaalus, kui mõlemal kangi poolel rakendatud tungide momentid on võrdsed, s. o.

$$Pp = Qq.$$

Sellest võrdusest järeldub:

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



28. joon. Kangi tasakaal.

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

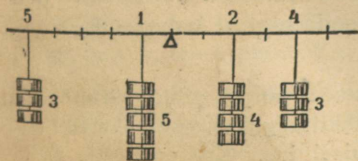
Juhul, kui mitu (kolm ja rohkem) rööptungi on rakendatud kangile, siis kang on tasakaalus, kui tungide momentide summa, mis püüab pöörata kangi ühes suunas, võrdub tungide momentide summaga, mis püüab pöörata kangi vastassuunas. Tõesta seda katseliselt!

Kas 29. joon. kujutatud kang on tasakaalus?

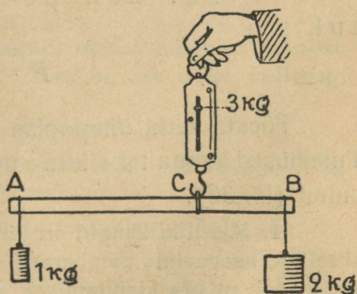
1. Missugused peavad olema kangi tasakaalu korral võrdsete koormiste puhul vastavad õlad?

2. Kangil on ühel pool toetuspunkti koormis 1 kg, teisel pool — 2 kg. Kui suur on kangi rõhumine toetuspunktis?

Märkus. Jätame kangi omaraskuse arvestamata. Siis võime küsimuse lahendada katseliselt järgmiselt: kerge sirge varva otstesse (puust liist, umbes 25 cm pikk) riputame antud koormised (30. joon.). Varva riputame vedrukaalu konksu otsa nii, et ta oleks tasakaalus. Kui palju näitab vedrukaal? Kus on kangi AB toetuspunkt? Missugune on rõhumine toetuspunktis C ?



29. joon. Mitme tungi moment.

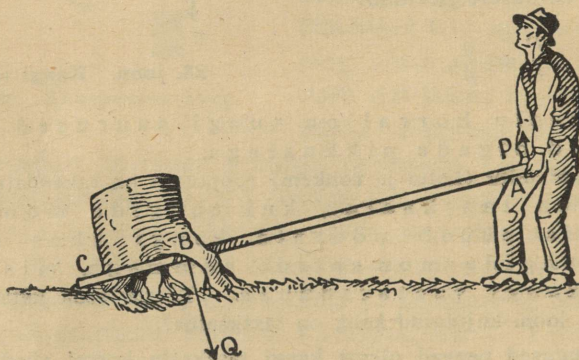


30. joon. Rõhumise määramine toetuspunktis.

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

4. Sa tahad oma raskusega üles tõsta kivi, mille raskus on 500 kg. Missugune peab olema õlgade vahekord kangil?

35. Ühepoolne kang. Kangide liigitamine. Sagedasti kasutatakse kangi 31. joonisel näidatud kujul. Kännukaaluja rõhub kangi, mis toetub punktis *C*, otsas *A* ülespoole *P* kg tugevuselt; käänd oma korda surub kangi punktis *B* allapoole *Q* kg tugevuselt. Missuguseil tingimusil on tungid *P* ja *Q* tasakaalus?



31. joon. Kännu kaalumise kangi abil.

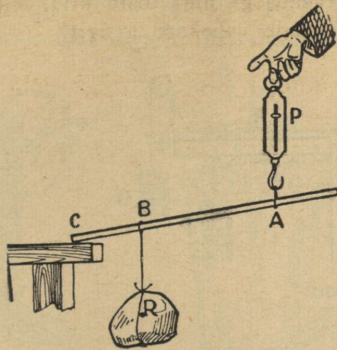
Kirjeldatud kangi nimetatakse ühepoolseks, sest tungid on rakendatud ühel pool toetuspunkti *C*. Varemini kirjeldatud kang (26. joon.) oli kahepoolne. Mispärast? Antud ühepoolse kangi juures on tungi *P* õlaks *AC* ja tungi *Q* õlaks *BC*. Katsed näitavad, et ühepoolse kangi tasakaalu korral kehtib sama seadus kui kahepoolsegi kangi tasakaalu puhul, s. o.

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

Tõesta seda ühepoolse kangi abil 32. joonisel kujutatud viisil! Tulemused kannu tabelisse samuti, nagu seda tegime kahepoolse kangi puhul (lk. 36).

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

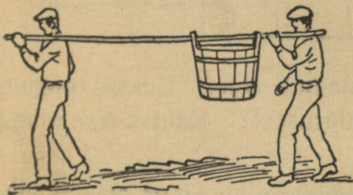
2. Mis kasu on kaelkookudest? Kas nendega on kergem kanda?
3. Kummal on 33. joonisel kujutatud vahepuus kandmine kergem ja umbes mitu korda?



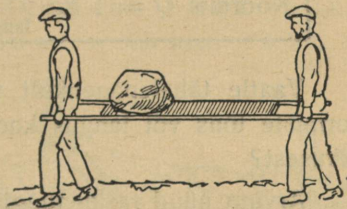
32. joon. Ühepoolne kang.

4. Kuidas tuleb asetada asi kandraamile, et ühel oleks kolm korda kergem kanda kui teisel? Kummal on 34. 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 vajalised, et kaaluda asju igasuguses raskuses?



33. joon. Vahepuus kandmine.



34. joon. Kandraamil kandmine.

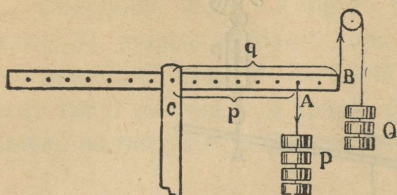
6. Kuulus vanaaja teadusemees Archimedes olevat öelnud: „Andke mulle toetuspunkt, — ma tõstan üles Maa.“ Kas on see ütlus millegagi põhjendatud?

7. Selgita, kas 35. joonisel kujutatud kang on tasakaalus!

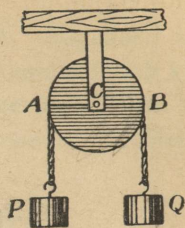
8. Ühepoolse kangi pikkus on 2 m. Temale mõjuvad tungid 20 kg ja 30 kg, mis on tasakaalus. Kui pikk on lühem kangiõlg?

9. Plokk on keskpunktist läbimineva telje ümber vabalt pöörduv ketas, mille äärelle tehtud soonest käib nöör üle (36. joon.). Nööri otstes mõjuvad tungid P ja Q , mille rakenduspunktideks on A ja B . Vaatle plokki kui kangi, mille toetuspunkt asetseb C -s, ja järelda sellest ploki tasakaalu tingimused ($P = Q$)!

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



35. joon.



36. joon. Plokk.

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

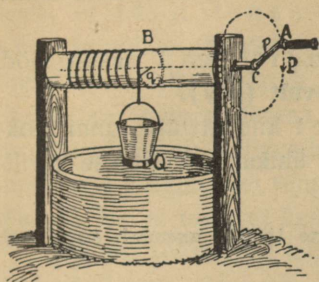
Koormis $P = 2$ kg	langes	6 cm			
	tõusis				
Koormis $Q = 1$ kg	tõusis	12 cm			
	langes				

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

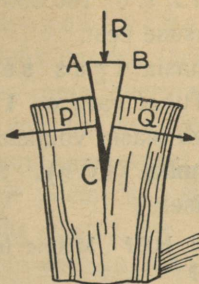
Arvuta nüüd raskustungi töö koormiste nihkumisel üles ja alla eelmise tabeli andmete põhjal. Missugune on tasakaalu korral kangil kulutatud (koormis langeb alla) ja saadud (koormis tõuseb üles) töö vahekord?

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 mehaanilise 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 ümberpöörduvalt. Sel teel saame oma nõrga jõuga ületada suuri raskusi.

37. **Vinn, kiil, kruvi.** Vinna kasutatakse meil harilikult kaevust vee vinnamisel ja noodatõmbamisel; kiilu — tugeva küljerõhu tekitamisel puu- ja kivilõhkumisel, laudade ligiajamisel põrandapanekul; kruvid leiavad rakendamist asjade ühendamisel (puu- ja rauakruvid),



37. joon. Vinn.



38. joon. Kiil.



39. joon. Tungraud.

samuti tugeva rõhumise tekitamisel (tungraud, raamatukõitmispress jne.). Vaatle 37.—39. joon. kujutatud vinna, kiilu ja tungrauda ning katsu seletada nende töötamist.

38. **Võimsus.** Masinate nagu iga teisegi tööjõu tarvitamisel peame teadma, kui suur on antud masina või tööjõu **võimsus**, s. o. töö hulk, mida masin või tööjõud teeb 1 sek. jooksul. Kui masin teeb igas sekundis 75 kgm tööd, siis



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

40. joon.

ütleme, et selle masina võimsus on **1 hobusejõud**. Sõna „hobusejõud“ asemel tarvitatakse sagedasti tähti HP, mis on esimesed tähed inglise keele sõnadest *horse power* — hobusejõud.

Tugeva hobuse võimsus on 1 HP, inimese võimsus aga umbes $8 \frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$.

$W = \frac{a}{t}$

Võimsus näitab, kui palju suudab masin teha tööd 1 sek. jooksul, kui masin tööpoolest töötab. Tehtud töö hulga arutamiseks korrutame võimsust sekundite arvuga, mille jooksul masin töötab. Näiteks, kui masin võimsusega 2 HP töötab 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. **vattiks (W)**. Tuhat vatti on **1 kilovatt (kW)**.

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

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

2. Narva kose võimsus on ligikaudu 75 000 HP. Mitu töömeest suudavad teha 8-tunnise tööpäeva puhul niisama palju tööd kui Narva kosk?

3. Mitu korda on hobuse võimsus inimese võimsusest suurem?

4. Mitu kgm on üks kilovatt-tund?

5. Leia inimese südame võimsus vattides (vt. ülesanne 12, § 29)!

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

7. 1 kilovatt-tund (el.-voolu) tööd maksab (Tartus) 16 senti, inimese tööjõud aga 30 senti tund. Kumb tööjõud on odavam, oletades, et tööline võimsus on $8 \frac{\text{kgm}}{\text{sek}}$?

39. Energia. Me teame, et töötegemisel tuleb võita ehk ületada mõnesuguseid takistusi, nagu raskustungi, hõõrdumist, inertsit jne. 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 raskusil (kellapommid), kokkukeeratud vedrul (kellavedru), kuumal aurul katlas, lõhkeaineil (püssirohi, dünamiit) jne. Keha võimet tööd teha nimetatakse keha **energiaks** ja teda mõõdetakse kõige selle tööhulgaga, mis keha suudab teha. Nii siis on energia kehas oleva töö tagavara. Kõigis eespool-toodud näiteis nimetatud kehadel on energiat.

Harilikult eristatakse kahte liiki energiat: **kineetilist** ehk **liikumisenergiat** ja **potentsiaal-** ehk **asendienergiat**. Kineetilist energiat omavad liikuvad kehad, potentsiaalset energiat — pingulitõmmatud 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 vahetevahel sööma ning puhkama, et energiat koguda, samuti ka hobune koorma vedamisel; kellavedru kaotab kellavärgi ümbervedamisel pikkamisi oma pinguloleku ning meie peame aeg-ajalt vedru uuesti üles käänama, kui ei taha, et kell jääks seisma, jne.

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

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

See võrra kui looduse nähtusi on uuritud, pole seni kuski tähele pandud energia hävimist, vaid ainult ta moondumist ühest liigist teise, kusjuures tekib alati ekvivalentne ehk samaväärne teise liigi energia hulk.

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

2. Jälgi energia moondumist päikesekiirte energiast kuni elektri- valguseni!

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

Vedelikud.

Rõhumise nähtused vedelikkudes.

41. Vedelikkude üldomadused. Vedelikud (vesi, piiritus, petrooleum jne.) koosnevad osakesist, mis on üksteise suhtes kergesti liikuvad. Seepärast puudub vedelikel oma kindel kuju ning vedelik võtab alati selle anuma kuju, milles ta asub. Vastandina gaasidele pole vedelikud kuigi suurel määral kokkusurutavad, neil on oma kindel ruumala. Sellele vaatamata on vedeliku-osakeste vahel tühja ruumi, mis näiteks järeldub piirituse ja vee segamiskatses (1 liiter piiritust segatud 1 liitri veega annab 1,94 liitrit segu). Ka ei püsi vedeliku osakesed paigal, vaid nad on alalises liikumises, mis järeldub segunemis-, aurumis- jne. nähtusist. Osakeste kergest liikuvusest järeldub ka, et vedeliku vaba pind on alati rõhtus, s. o. risti raskustungiga. Kontrolli seda nurklauda ja loe abil!

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

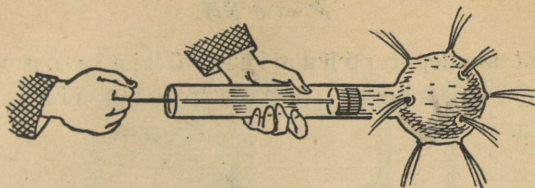
Rõhumise suuruse üle otsustamiseks on vaja teada ühele pinnahikule mõjuva tungi suurus, näiteks 2 kg 1 cm²-le ehk lühidalt $2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, 5 g 1 mm²-le ehk $5 \frac{\text{g}}{\text{mm}^2}$ jne. Rõhumised on võrdsed, kui võrdsetele pindadele mõjuvad võrdsed rõhumistungid, näiteks $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ja $10 \frac{\text{g}}{\text{mm}^2}$. Rõhumist $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ nimet. **tehniliseks atmosfääriks.**

Kuidas vedelikud rõhumist edasi annavad, seda näitab meie järgmine katse (41. joon.).

Õõnes kera on ühendatud toruga, milles käib tihedalt edasi-tagasi kann. Täidame riista veega ja rõhume kannuga. Kera augukesist purskuvad nüüd veejoad igas suunas laiali. Kõik joad on ühetuge-

vused; see näitab, et kannu rõhumine vees andub edasi igas suunas ühtviisi. Sama nähtus kordub ka kõigi teiste vedelikkudega. Tähendab,

Kõik vedelikud annavad rõhumist edasi igas suunas ja ühtviisi.



41. joon. Rõhu edasiandumine vedelikus.

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

Pascali seaduse juures tuleb pidada silmas, 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**, mis leiab laialdast praktilist kasutamist ehitusmaterjalide tugevuse proovimisel, kohedate ainete (puuvill) kokkupressimisel jne.

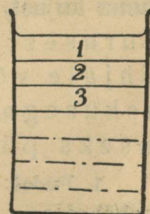
1. Kuidas annavad rõhumist edasi herved, haavlid, viljaterad salves, linaseemned jne.? Katsu võrdluseks nende nähtustega selgitada rõhu edasiandumist vedelikes!

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

3. Leia $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ja $10 \frac{\text{g}}{\text{mm}^2}$ suuruseline vahekord!

42. Vedeliku rõhumine anuma põhjale.

Võtame püstseintega anuma (42. joon.) ja täidame veega. Lahutame vee anumal mõttes üksikuiks rõhtsaiks kihtideks. Kiht 1 rõhub oma raskusega kihti 2; kiht 2 annab kihile 3 edasi 1. kihi rõhumise (Pascali seadus), samuti ka oma raskuse rõhumise jne. Nõnda edasi arutades järeldame, et anuma põhjale mõjub rõhumine vee kogu raskuse suurusel. Sama mõttekäik käib iga püstseintega anuma ning iga teise vedeliku kohta.

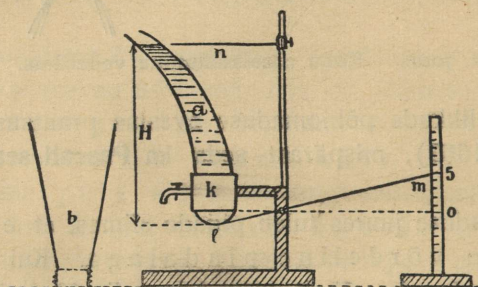


42. joon. Rõhumine põhjale.

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

$$P = e SH.$$

Valemist näeme, et rõhumine põhjale on võrdeline vedeliku erikaaluga ja põhipinna ning sügavuse suurusega.



43. joon. Rõhumine põhipinnale ei olene anuma kujust.

Katse (43. joon.) näitab, et leitud korrapärasus on õige mistahes-kujulise (ka mitte-püstseintega) anuma kohta.

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

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

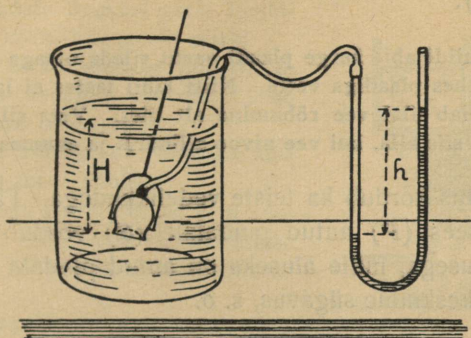
Sellest katsest järeldame, et vedeliku rõhumine põhjale ei olene anuma kujust, vaid ainult põhipinna ja ta sügavuse suurusest ning vedeliku erikaalust. Rõhumine põhjale võrdub alati selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on anuma põhi ja kõrguseks põhja keskmine sügavus.

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. Mõõsur on täidetud 20 cm kõrguseni väävelhappega. Leia rõhumine põhjale $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ -tes!

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

44. Rõhumine vedeliku sees. Vaatame nüüd, millest oleneb rõhumine vedeliku sees. Selleks teeme järgmised katsed (44. ja 45. joon.).

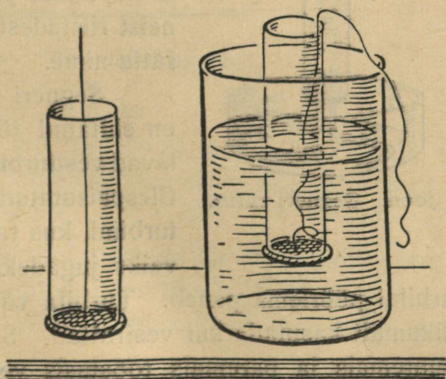


44. joon. Rõhumine vedeliku sees.

Kummitoru abil vesi-manomeetriga (vaata § 59) ühendatud lehtri ots on õhukese kummikelmega kinni pandud. Hargi abil lehtrit veeanumas hoides näeme, et vesi kummikelmelme 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;



45. joon. Rõhumine vedeliku sees.

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

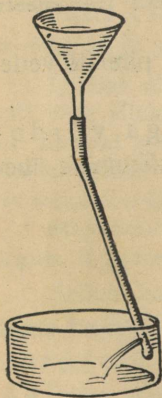
Rõhumise suuruse üle vedeliku sees aitab otsustada järgmine katse (45. joon.).

Pigistame niidi abil kerge plaadi vastu sileda otsaga klaasilindrit 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 anum as on ühekõrgune.

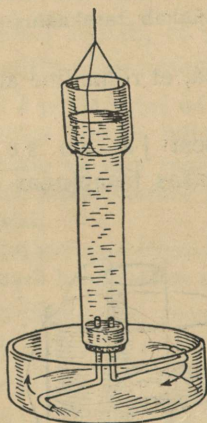
Sama nähtus kordub ka teiste vedelikkudega. Tähendab, rõhumine vedeliku sees (P) antud pindalale (S) võrdub selle vedeliku püstsamba raskusega, mille aluseks on antud pindala (S) ja kõrguseks (H) aluse keskmine sügavus, s. o.

$$P = eSH.$$

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



46. joon.



47. joon. Segneri ratas.

Vedeliku rõhumist anuma küljele näitavad ka 46. ja 47. joonisel kujutatud katsed. Mõlemas hakkab anum liikuma vee väljavoolamise suunale vastupidises suunas. Viimane neist riistadest kannab **Segneri ratta** nime.

Segneri ratta põhimõttel on ehitatud tööstuses tarvitatavad **vesiturbiinid** (48. 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 vesirattaste asemel turbiine. Eestis töötavad eriti tugevajõulised turbiinid (1200 HP)

Narva kosele ehitatud vabrikuis. Vee langemine on siin keskmiselt 8,5 m.

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

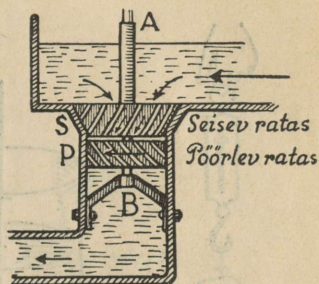
1. Ehita endale Segneri ratas lambi-klaasist (lisaks kork, klaastoru, niit)!

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

3. Leia vee rõhumine atmosfäärides kõige sügavamas mere põhjas!

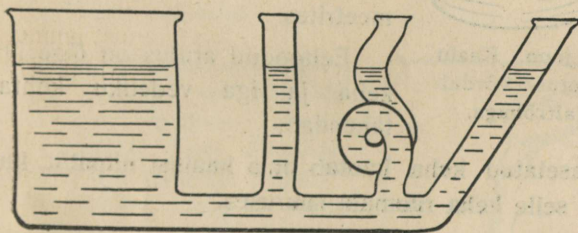
4. Kala tõusis järve põhjast 6 m veepinnale lähemale. Kui palju vähenes rõhumine kala keha välispinnale, mille suurus 1,5 dm²?

5. Kui suure rõhumise all on inimese keha (välispind ~ 2 m²) vees 1,5 m sügavusel?

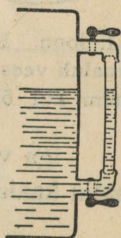


48. joon. Vesiturbiin.

46. Ühendatud anumad. Katse näitab, et ühendatud anumais, mis täidetud sama vedelikuga, on vede-



49. joon. Ühendatud anumad.



50. joon. Aurukatla veeklaas.

liku vaba pind (nivoo) alati rõhtus (49. joon.), sest muidu poleks ka anumaid ühendava toru läbilõikes rõhumine mõlemalt poolt ühesuurune.

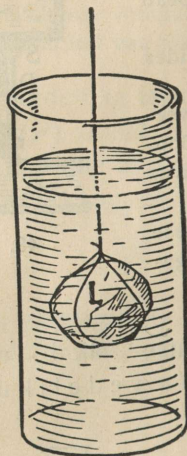
Seleta ühendatud anumate omaduse põhjal järgmiste riistade ja sisseseadude tarvitamist: aurukatla veeklaas (50. joon.), loodimisriist ehk nivelliir, veevärk, purskkaev, kohvikann jne.

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

47. **Archimedese seadus.** Seome kivi niidi otsa ja riputame kaalu külge (51. 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.



51. joon. Kivi kaalub vees vähem kui õhus.



51. joon. Kaalu kaotus võrdub altrõhuga.

Kaalu kaotuse suuruse üle otsustamiseks üldjuhul (52. joon.) arutame järgmiselt. Kui vette asetatud keha L moonduks veeks, siis tasakaal ei muutuks, sest ümberolev vesi hoiaks ta ülal. Tähendab, keha L raskusest kannab vesi niipalju, kui palju kaalub vesi selle keha ruumala suurus. Selle väite katseliseks tõestuseks määrame keha kaalu-kaotuse näiteks kilogrammides ja ruumala kuupdetsimeetrites ning võrdleme saadud arve. Väiksemate kehade puhul tuleb kaalu-kaotus ja ruumala määrata vastavalt grammides ja kuupsentimeetrites.

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

iga vedelikku asetatud keha kaotab oma kaalust niipalju, kui palju kaalub vedelik selle keha ruumala suurus.

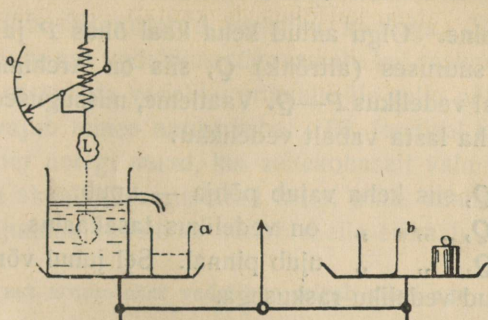
Selle seaduse avastas kreeklane **Archimedes**; tema nime järgi nimetatakse seda seadust ka **Archimedese seaduseks**.

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

Sõnasta Archimedese seadus altrõhu abil!

Vesi (üldse vedelik) rõhub temasse asetatud keha alt üles, kuid keha rõhub vett niisama tugevasti ülalt alla, järelikult vee kaal (rõhumine vaekausile) suureneb keha kaalu kaotuse võrra. 53. joon. kujutatud katse abil on seda kerge näidata. Kaaludel on tasakaalustatud ülevooluanum veega. Vedrukaalu otsas

rippuvat keha L vette lastes kaob tasakaal, ja klaasi a voolab vett keha L ruumala suuruses. Kui selle vee valame paremal vaekausil asuvasse klaasi b , siis on tasakaal jälle jalule seatud.



53. joon. Vedeliku kaal suureneb altrõhu võrra.

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

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

3. Kui palju kaaluks 10-grammine kullatükk elavhõbedas?

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

5. Seest õõnes raudpomm kaalub 3 kg ja püsib vee sees tasakaalus.

Leia õõnsuse ruumala!

Archimedes on suuremaid vanaaja teadusmehi. Rahvuselt kreeklane, sündis ta Sürakuusi 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 altrõhu seaduse avastaja; ka määras ta esimesena π suuruse ja arvutas ringi pindala. Kui roomlased piirasid Süraküüsi, aitas Archimedes mitmesuguste uute masinate abil edukalt kaitseda oma kodulinna. Kolmeaastase piiramise järele langes Sürakuus siiski roomlaste kätte ja Archimedes sai surma rooma sõduri käe läbi. Räägitakse,



54. joon. Archimedes (287—212 e. Kr.).

et parajasti enne surma Archimedes olevat uurinud mingisugust joonist liival. Rooma sõdurile, kes tuli teda tapma, olevat Archimedes hüüdnud: „Ära astu mu ringidele!“

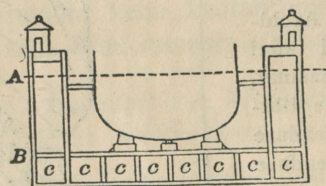
48. **Ujumine.** Olgu antud keha kaal õhus P ja vedeliku kaal keha ruumala suuruses (altrõhk) Q , siis on Archimedese seaduse põhjal keha kaal vedelikus $P - Q$. Vaatleme, missugused juhud võivad esineda, kui keha lasta vabalt vedelikku:

- $P > Q$, siis keha vajub põhja — upub.
- $P = Q$, „ „ on vedelikus tasakaalus.
- $P < Q$, „ „ ujub pinnal. Sel juhul võrdub keha raskus väljatõrjutud vedeliku raskusega.

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

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

- Nimeta kehi, mis vees kas ujuvad, on tasakaalus või vajuvad põhja!
- Missugused kehad ujuvad elavhõbeda pinnal ja missugused vajuvad temas põhja?
- Kui suur osa sinu keha ruumalast vajuks elavhõbedasse temas ujudes?
- Kus seisab laeva kere sügavamal vee sees: kas jões või meres?

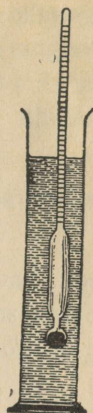


55. joon. Ujuv dokk.

5. 55. 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 nivoooni 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 „Imperatorit“, mille raskus on 50 000 tonni?

- Kui suur osa meres ujuvast jäämäest ulatub välja merepinnast?

49. **Areomeetrid.** Vedeliku erikaalu kiireks leidmiseks tarvitatakse nn. areomeetreid. Archimedese seaduse põhjal teame, et keha on vedelikus tasakaalus, kui keha kaal võrdub väljatõrjutud vedeliku kaaluga. Sama keha langeb kergemas vedelikus sügavamale kui raskemas. Nii siis võime otsustada vedeliku erikaalu üle selle põhjal, kui sügavale vajub temas antud keha. 56. joonisel kujutatud areomeeter polegi muud, kui sellekohaselt valmistatud ja vastava skaalaga varustatud keha, mille enam või vähem sissevajumine vedelikus näitab meile erikaalu.



56. joon.
Areomeeter.

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

Gaasid.

Rõhumisnähtused gaasides.

50. Gaaside üldomadused. Gaasid (õhk, söehappe- ning valgustusgaas jne.) koosnevad väikestest osakestest, molekulidest, mille vahel ei ole märgata sidet. Gaasi molekulid on alalises liikumises, mis järeldub gaaside segunemistähtsustest (samasse kinnisse anumasse kaks erisugust gaasi juhtides saame nende ühtlase segu; lõhnade levimine, karm, valgustusgaas jne.).

Gaasimolekulide liikumise kiirus on võrdlemisi suur: nii näiteks on 0° C -l vesinikumolekuli kiirus $1700 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, hapnikumolekulil $\sim 450 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ jne. Võrdluseks peame meeles, et kahurikuuli kiirus on umbes $900 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Sirgjooneliselt suure kiirusega liikudes põrkavad molekulid vastu seina, teda rõhudes, või vastu teisi molekule, muutes seejuures oma suunda. Molekulide liikumine on korraldamatu liikumine oma suunalt kui ka kiiruse suuruselt, s. o. igas suunas liigub umbes niisama palju molekule teatava keskmise kiirusega. Gaasimolekulide suurest liikuvusest järeldub, et gaasidel ei ole kindlat kuju.

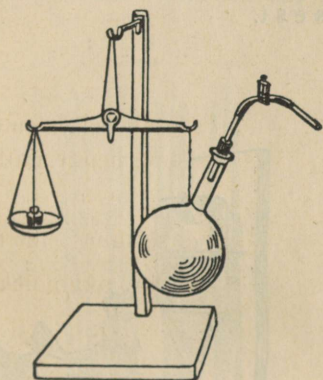
Lihtsad katsed näitavad (nimeta mõned), et gaasid on kergeresti kokkusurutavad, s. o. molekulidevaheline ruum on võrreldes molekulide endi ruumalaga nähtavasti väga suur. Tähen-dab, gaasidel puudub kindel ruumala. Nõnda siis võime kujutella gaasi koosnevat suurest hulgast molekulidest, mis liiguvad ruumis vabalt suure kiirusega. Sellest siis ka gaaside omadus lõp-mata paisuda ja täita ühtlaselt ruumi kinnises anum.

Samuti kui vedelik võib gaas tasakaalustada ainult ta pinnaga risti (normaalselt) rakendatud tunge, mitte aga puuteliselt (tangentsiaalselt); ka rõhumist annavad gaasid edasi igas suunas ja ühteviisi (Pascali seadus), mis kerge näidata 41. joonisel kujutatud riistaga, tarvitades vee asemel suitsu.

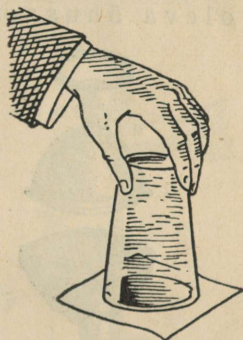
Nimeta gaaside, vedelikkude ja kõvade kehade ühised ning erilised omadused!

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

Õhu kaalutavust võime näidata järgmise katse abil (57. joon.).



57. joon. Õhu kaalumine.



58. joon. Õhu rõhuline ei lase veel klaasist välja voolata.

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?

M ä r k u s: Eelmise katse korraldamisel on kasulikum tasakaalustada kaalud pärast õhu väljaimemist, mitte enne. Miks?

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

1. Leia õhu erikaal läbipõlenud elektripirni abil! Kuidas?
2. Mitu kg kaalub klassitais õhku normaaltingimustes?
3. Mitu korda on õhk normaaltingimustes veest kergem?
4. Nimeta mõned gaasid, mis on õhust kergemad, veest raskemad!
5. Kui palju kaalub õhk sinu keha ruumala suuruses?

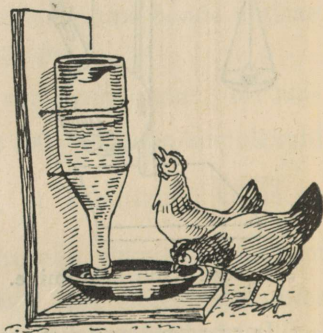
1,3 kg 1m³

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



59. joon. Magdeburgi poolkerad.



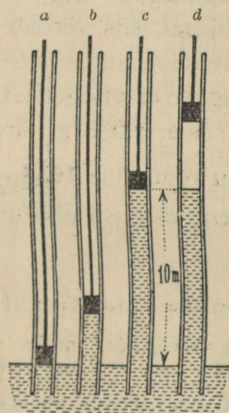
60. joon. Kanade jooginõu.

Õhu rõhumist tõendavad järgmised katsed.

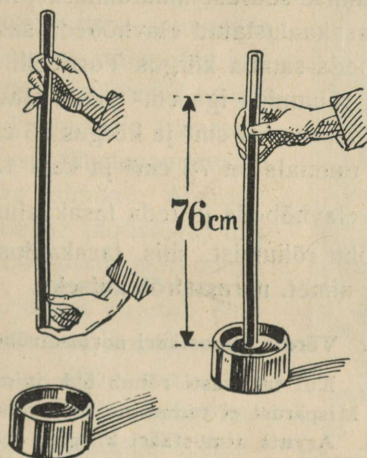
1. Täidame klaasi ääreni veega, katame papitükiga ja pöörame ümber (58. joon.). Vesi ei voola mitte välja, ka siis mitte, kui tugevasti raputada ja klaas küljeli pöörata.
2. Magdeburgi poolkerad (vt. 59. joon.), mis tihedalt kokku pandud ning õhust võimalikult tühjaks pumbatud, võib lahti tõmmata ainult tugeva tõmbega.
3. Plekktuos, 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 60. joon. kujutatud kanade jooginõu!

53. Torricelli katse. Nähtuste hulka, mis seletuvad õhurõhumise abil, kuulub ka vee tõusmine pumba torus, kus tõusva kannu taha jääb tühi ruum, mis veega täitub. Vanad kreeklased ja roomlased oletasid selle nähtuse seletuseks, et „loodus kardab tühja ruumi“, mis seletus püsis Galilei päevini. A. 1640 leidis Toscana hertsog, kes Firenze lähedal ehitas endale sügavat kaevu, et vesi ei tõuse pumba torus kõrgemale kui umbes 10 m vee-pinnast (61. joon.). Imelikule nähtusele seletuse saamiseks pööruti elatanud Galilei poole, kes arvas, et vee tõusmise põhjuseks pumba torus on õhurõhumine. Galilei suri (a. 1642) enne, kui ta suutis oma arvamusi katse-liselt tõendada. Selle töö viis lõpule Galilei õpilane Torricelli.



61. joon. Vee tõus pumba torus.



62. joon. Torricelli katse.

Torricelli mõttekäik oli järgmine: Kui õhu rõhumine suudab hoida ülal veesamba, mille kõrgus 10,3 m, siis peab elavhõbeda-samba kõrgus olema 13,6 korda väiksem, s. o. $10,3 \text{ m} : 13,6 \approx 76 \text{ cm}$, sest elavhõbeda erikaal on vee omast 13,6 korda suurem. Selle tõen-duseks tegi Torricelli a. 1643 katse, mis praegugi kannab tema nime (62. joon.).

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

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

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

1. Kui pikk vähemalt peaks olema toru, et temaga saaks teha Torricelli katset petrooleumi abil? 1033 · 0,8

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

54. **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 aluseks on 1 cm^2 ja kõrgus 76 cm. Niisuguse elavhõbedast püstsamba ruumala on 76 cm^3 ja kaal $13,6 \cdot 76$, s. o. 1,033 g, järelikult on siis elavhõbeda ja teda tasakaalustava õhu rõhumine $1033 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$.

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

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

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

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

4. Õhurõhumise 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 õhurõhumise ole-
nevust kõrgusest.

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

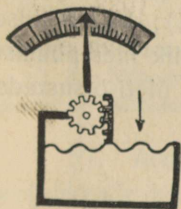
5. Leia ligikaudu Maa atmosfääri kaal tonnides!

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

55. **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 anumast. Niisugust baromeetrit nimetatakse **anubaromeetriks**.

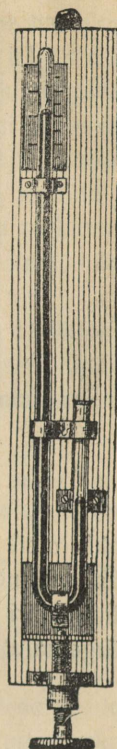
Sifoonbaromeeter (63. joon.) on lahtise otsa lähedusest kõveraks painutatud klaastoru, kus õhurõhumist mõõdab elavhõbeda nivoode vahe mõlemas torus.

Igapäevases elus on väga laialt tarvitusel nn. **aneroid-** ehk **metallbaromeetrid** (64. joon.). Nende oluliseks osaks on õhukindel metallkarbik, mille kaas on tehtud hästi vetruvast plekist. Õhurõhumise suurenedes paindub kaas veidi sissepoole, rõhumise vähenedes aga ümberpöörduvalt. Karbi kaane võrdlemisi väikesed edasitagasi nihkumisel suuredatakse kangide ja hammasrataste süsteemi abil meile kergesti tähelepandevaiks osutilikumisteks astmikul. Aneroidi astmik varustatakse jaotistega, mis vastavad elavhõbe-baromeetri omile.



64. joon. Aneroid-baromeeter.

Riista, mis järjest kirjutab õhurõhumise iga momendi kohta, nimetatakse **barograafiks** (65. joon.). See pole muud midagi, kui üleskirjutamisvahenditega varustatud metallbaromeeter.

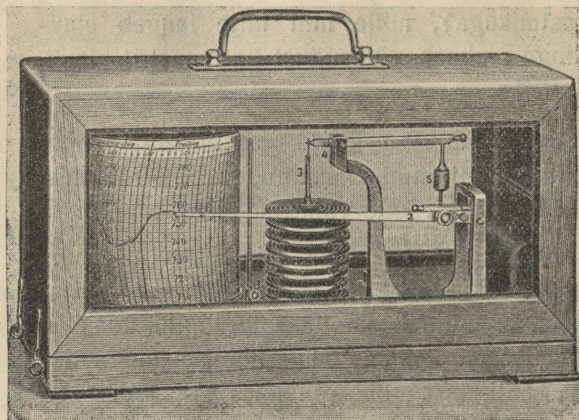


63. joon. Sifoonbaromeeter.

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

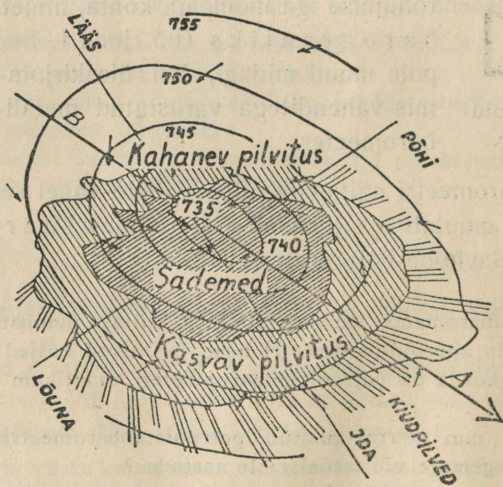
1. Metallbaromeetri karbik on õhust tühjaks pumbatud. Mispärast?
2. Nimeta aneroid-baromeetri head ja halvad küljed!
3. Mitu korda on petrooleumbaromeeter tundlikum elavhõbe-baromeetrist?
4. Mitme mm võrra muutub petrooleumbaromeetri kõrgus baromeetrit 1 m kõrgemale või madalamale asetades?
5. Missugune elavhõbeda-samba kõrgus baromeetris vastab rõhumisele 1 tehniline atmosfäär?

56. Baromeetri kasutamine. Varemini (§ 54) nägime, et maapinnast kõrgemale tõustes õhurõhumine väheneb. Nende kahe suuruse — õhurõhumine ja kõrgus merepinnast — vahel on kindel side,



65. joon. Barograaf.

ehkki meie ei saa teda väljendada päris täpsalt, 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



66. joon. Madalrõhkonna ehitus.

tõusu kõrguse üle. Sedaviisi määravad kõrgust õhusõitjad ja rändajad mägedes. Praktiliselt võib öelda, et maapinna läheduses iga **11 m** võrra kõrgemale tõustes baromeeter langeb **1 mm** võrra.

Palju laialdasem on baromeetri kasutamine ilmade ennustamisel. Vaatlused näitavad, et kuiva ilmaga on õhurõhumine harilikult kõrge, vihmase ilmaga — madal. Siin on põhjuseks nn. tsüklonid (madalrõhu-ala) ja antitsüklonid (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 tulevast ilma, harilikult 1—2 päeva ette.

Vaatle lähemalt 66. 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 vee-pinnast 1 m allpool?

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

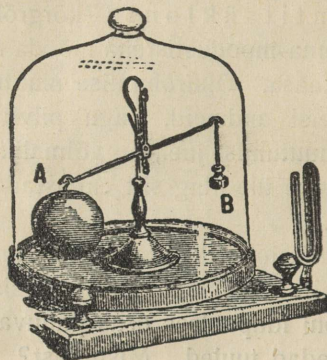
3. Mispärast õhurõhumine õõnsaid asju (pudeleid, klaase jne.) ära ei purusta? Kuidas suudab inimene ületada ta kehale mõjuvat õhurõhumist?

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

Katseliselt võime näidata Archimedese seaduse kehtivust gaaside kohta nn. baroskoobi abil (67. joon.). Ruumalalt suur keha (õõnes kera) on tasakaalustatud väikesel kangkaalul õhus väikese keha abil (vihid). Asetame niisuguse riista õhupumba kupli alla ja hakkame hõrendama õhku, siis kaob tasakaal ning suurem keha langeb alla, tähendab, suurem keha on absoluutselt raskem. Mispärast nad siis õhus kaalusid ühepalju?

Järeldusena Archimedese seadusest gaaside kohta võime öelda (nagu ujumise puhul vedelikes): **iga keha, mis kaalub rohk-**

kem kui gaas selle keha ruumala suuruses, langeb selles gaasis alla; keha, mis kaalub vähem kui gaas selle keha ruumala suuruses, tõuseb selles gaasis üles. On aga keha ja gaasi kaalud sama ruumala puhul võrdsed, siis püsib keha selles gaasis tasakaalus. Sel gaaside omadusel põhineb



67. joon. Baroskoop.

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 (erikaal $0,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$), valgustusgaas (erikaal $0,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) jne. Õhupallide leiutajad vennad Montgolfier (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 kaalub sinu keha õhus vähem kui tühjas ruumis?

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

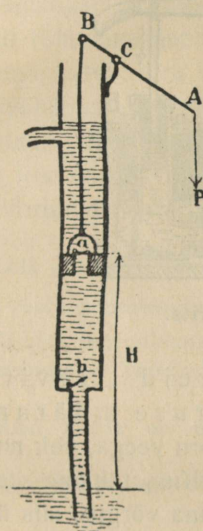
5. Seleta, milles seisab sisse- ja väljahingamine ning joomine!

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?

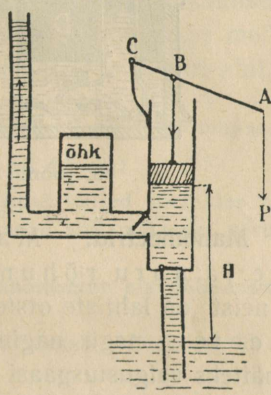
7. Prof. Piccard stratosfääri uurimisel 1931. a. kasutas õhupalli, mille gaasipallongi mahtuvus oli 14 000 m^3 . Kui suur oli sel puhul õhu altrõhk maapinna lähedal ($p = 760 \text{ mm}$; $t = 0^\circ$)?

Mõned gaaside omadustel põhinevad riistad.

58. **Veepumbad.** a) Imeva pumba ehitus ja töötamine selgub 68. joonisest. Säärasena on teda inimsugu juba üle 2000 aasta tarvitanud. Tuleb tähele panna, et klapid võivad lahti käia ainult vee liikumise suunas.



68. joon. Imev pump.



69. joon. Suruv pump.

b) Suruva pumba (69. joon.) ehitus ja töötamisviis on sarnane imeva pumba omaga, ainult kolb on ilma klapita ja ülemise klapi peal on õhureservuaar, mis teeb vee surumise pidevaks ning ühtlaseks. Suruvat pumba tarvitatakse vee juhtimiseks reservuaaridesse, mis pumpamiskohast kõrgemal või kaugemal.

c) Tuletõrje-prits (70. joon.) pole muud midagi, kui kahe suruva pumba ühend. Selgita joonise põhjal ta ehitust ja töötamist!

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

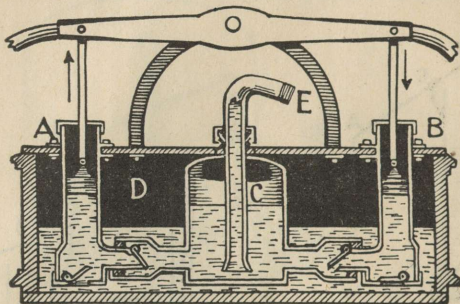
Vasta sama küsimus elavhõbeda ja petrooleumi kohta!

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?

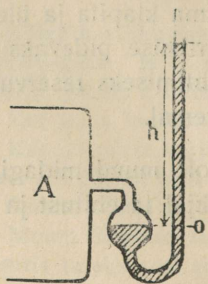
4. Millest tuleb, et üks pump on teisest palju „raskem“?

5. Seleta, mis tähtsus on pumbaraual, ja kuidas mõõta pumpamisel tehtud töö hulka. Mitu korda võidame tungi suuruselt ja kaotame tee pikkuselt 68. ja 69. joon. kujutatud pumbaga töötamisel?

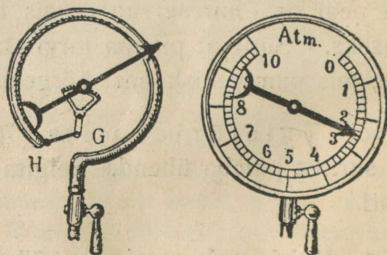


70. joon. Tuletõrje-prints.

59. **Manomeetrid.** Manomeetreid tarvitatakse gaaside ja auru rõhumise suuruse määramiseks. Lihtsaim neist on lahtiste otstega kõver toru veega, ehk nn. vesimanomeeter, nagu nägime § 44. Kui tahame tema abil määrata näiteks valgustusgaasi rõhumist linna võrgus, siis ühendame toru ühe haru gaasitoruga ja vaatame, kui palju tõuseb vesi teises (lahtises) harus kõrgemale. Olgu vee nivoode vahe h cm, siis võrdub valgustusgaasi rõhumine õhurõhumisega $+h$ cm kõrguse vee samba rõhumine.



71. joon. Lahtine elavhõbe-manomeeter.



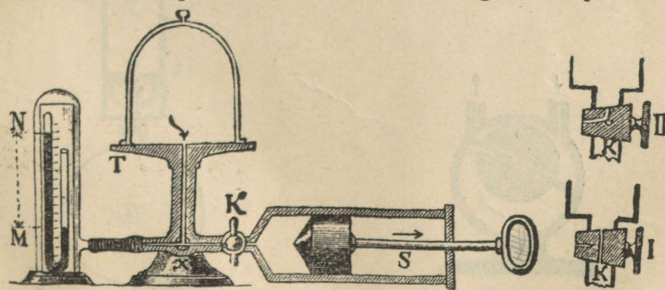
72. joon. Metall-manomeeter.

Suuremate rõhumiste mõõtmisel on kasulik tarvitada lahtises manomeetris vee, petrooleumi jne. asemel raskemat vedelikku, nimelt elavhõbedat. Ka tehakse siis harilikult toru ühe haru asemel jämedam reservuaar, et 0-punkt jääks ligikaudu muutumatuks (71. joon.). Elavhõbe-manomeeter on niioelda normaal-manomeeter, millega võrreldakse teisi manomeetreid.

Tööstuses tarvitatakse harilikult metallmanomeetreid (72. 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 rõhumine välispinnale tugevam; rõhumise vähenedes tekib vastupidine nähtus. Kangikeste abil tehakse toru otsa nihkumised nähtavaks osuti liikumiseks astmikul. Muidugi toimetatakse metallmanomeetri kaliibrimist mõne teise, nn. normaal-manomeetri abil.

1. Leia gaasi rõhumine ($\frac{g}{cm^2}$) linna võrgus, kui 754-mm-se õhurõhumise puhul vesi-manomeetri nivooide vahe oli 4,5 cm!
2. Nimeta petrooleum-manomeetri head küljed võrreldes vesi-manomeetriga (soovitav tarvitada *radix alcanthae* abil punaseks värvitud petrooleumi).
3. Mitu korda on petrooleum-manomeeter elavhõbe-manomeetrist tundlikum?
4. Kui kõrge elavhõbede-sammast annab rõhumise 10 tehnilist atmosfääri?

60. Õhuhõrenduspump. Hõrenduspumba abil hõrendame õhku antud ruumis. Ta tegevus selgub 73. joon. kujutatud skeemist. Kuppel, milles õhku hõrendame, lasub lihvitud taldrikul *T* ja on ühendatud toruga kraani *K* kaudu silindriga *S*. Silindris liigub edasi-tagasi umbne kolb. Kraanist *K* on tehtud läbi kaks auku: esimene ühendab kuplit silindriga (seis I), teine, kraani 90° võrra pöörates, silindrit välisõhuga. Pumpamine (hõren-



73. joon. Õhuhõrenduspump.

damine) toimub järgmiselt: avame kraani (seis I) ja tõmbame kolvi välja-poolse niipalju kui võimalik. Nüüd tungib õhk paisudes kupli kolvi taga olevasse ruumi, jäädes kuplis hõredamaks. Kääname kraani kinni (seis II) ja lükkame kolvi teise otsa tagasi. Seega surume kõik õhu silindrist välja. Pöörame uuesti kraani seisu I 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 vajalise hõreduseni, kuid kuplit õhust täitsa tühjaks teha me ei saa.

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

Õhuhõrenduspumba leiutaja oli Magdeburgi linnapea Otto von Guericke umbes a. 1650. Praegusel ajal on tarvitusel mitmel teisel viisil ehitatud õhupumbad, mis annavad palju kiiremini ja suurema hõrenduse.



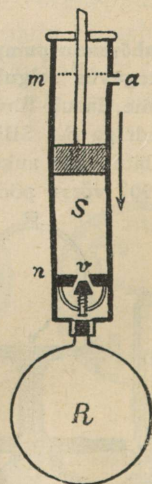
74. joon. Otto von Guericke (1602—1686).

Noorena õppis mitmes ülikoolis õigusteadust, füüsikat ja matemaatikat. Pärast Magdeburgi linnapea. Leiutas õhuhõrenduspumba (a. 1650) ja korraldas õhurõhumise demonstreerimiseks rea huvitavaid katseid, millest väga tuntud on katse nn. Magdeburgi poolkeradega. Ehitas elektri hõõrumismasina (pöörlev väävlikera) ja näitas esimesena, et samanimelised elektrilaengud tungivad teineteisest eemale.

Moodsatest hõrenduspumpadest on tähtsam pöörlev õlipump, mis leiab laialdast kasutamist tehnikas. Pöörleva õlipumba peaosaks on silindriline kapsel, millesse paigutatud ekstsentriliselt metallsilinder ja mis on varustatud kahekordselt toimiva siibriga. Eri-line vedru surub siibri õhutihedalt vastu kapsli sisemist seina. Tihedust siibri ja kapsli seina vahel kindlustab pumbas olev õli. Nagu juurdelisatud joonisest näha, metallsilindri pöörlemisel imeb pump vasemal pool oleva toru kaudu, teise, paremal pool oleva toru kaudu surub pump õhku välja.



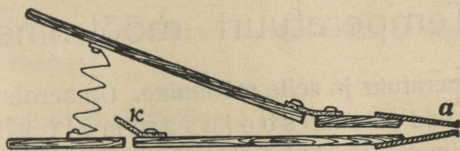
75. joon.
Pöörlev õlipump.



76. joon. Õhu suruv pump.

61. **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. Tema ehitus selgub 76. joon. Silindris *S* liigub tihedalt umbne kolb. Silindri alumises osas on allapoole lahti käiv klapp (ventiil) *v*. Kolbi varre abil alla lükates surume silindris oleva õhu klapi vahelt läbi anumasse *R*. Klapp käib vedru abil kinni. Tõmbame kolvi ülemisse otsa, siis tungib õhk läbi augu *a* uuesti silindrisse.

62. **Lõõts.** Lõõts on samuti õhu suruv pump. Teda tarvitatakse tugeva õhuvoolu saamiseks sepapajas, mesilas jne. Lõõts 77. joon. koosneb



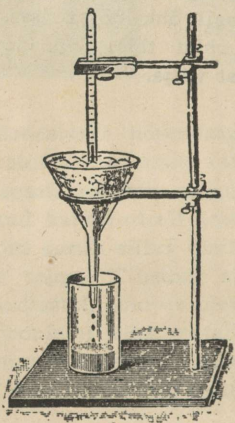
77. joon. Lõõts.

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 kokkuliikmisel sulgub klapp ja õhk surutakse torust välja.

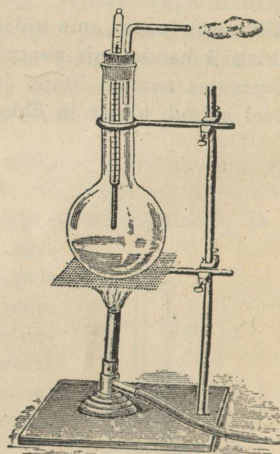
Soojus.

Temperatuuri mõõtmine.

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



78. joon. Termomeetri nullpunkti määramine.



79. joon. Termomeetri keemispunkti määramine.

Teatavais piires võime ligikaudu otsustada kehade temperatuuri üle otsese kokkupuutumise, kompimise abil, näiteks käega katsudes. Sagedasti võime aga temperatuuri määramisel keha otsese tunde abil raskesti eksida, mis selgub järgmisest lihtsast katses.

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 ühtviisi „põletavalt“, tekitades valu. Täpsamaks temperatuuri määramiseks tarvitatakse sellekohaseid riistu, mida nimetatakse soojamõõtjaks ehk termomeetriks. Nende ehitus põhineb kehade omadusel paisuda soojenemise mõjul.

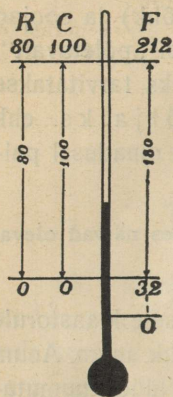
Too näiteid, kus sama temperatuuriga kehad katsudes näivad olevat erisuguse temperatuuriga!

64. **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 samm pikeneb; jahtumisel tekib vastupidine nähtus. Tähendab, elavhõbeda-samba pikkus termomeetri torus on seotud temperatuuriga ja suureneb temperatuuri tõusuga. Temperatuuri kõrguse ja elavhõbeda-samba pikkuse olenevuse ligemaks määramiseks varustatakse termomeeter skaala ehk astmikuga, mis toimub järgmiselt.

Võtame termomeetri ja asetame ta sulavasse jäässe (78. joon.). Niikaua kui jää sulab, seisab elavhõbe termomeetri torus ühel ja samal kõrgusel. Sellest järeldame, et jää sulamistemperatuur on jääv. Märgime elavhõbeda-samba otsa asukoha kriipsuga. See on termomeetri üks jääv ehk **põhipunkt** ja nimetatakse **jää sulamispunktiks**. Nüüd võtame termomeetri ja asetame ta keeva vee auru (79. 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.

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

65. Termomeetri skaalad. Praegusel ajal on tarvitusel jäävate punktide vahe jagamisel pügalaiks 3 viisi: Réaumuri, Celsiuse ja Fahrenheit'i oma (80. joon.).



80. joon. Termomeetri skaalad.

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

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

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.

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

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

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

tähendab

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

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

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

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

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

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

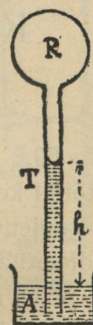
Teaduslikes töis võetakse temperatuuri mõõtmisel nullpunktiks sagedasti nn. **absoluutne null**, mis on 273 C pügalat allpool jää sulamistemperatuuri. Absoluutsest nullist temperatuuri mõõtes väljenduvad kõik temperatuurid absoluutsete arvudega (ilma plussi või miinuseta), sest temperatuuri, mis oleks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

Elavhõbe külmub -39°C t^o-l ja keeb $+357^{\circ}\text{C}$ t^o-l, seepärast ei saa tarvitada elavhõbe-termomeetrit kange külma (näiteks Põhja-Siberis) ega kõrge kuumuse mõõtmiseks. Madala temperatuuri mõõtmisel tarvita-takse elavhõbeda asemel piiritust, mis mitte nii kergesti ei külmu (kõlblik kuni -60°C). Et piiritust kergemini silma paistaks, lisandatakse talle mõnd sinist või punast värvainet. Veel kõrgemaid või madalamaid temperatuure mõõdetakse nn. **gaas-termomeetri** abil.

1. Väljenda Réaumuri kraadides: $+30^{\circ}\text{C}$; $+22,5^{\circ}\text{C}$; -20°C ; -273°C ; -4°F ; -22°F ; $+14^{\circ}\text{F}$; $+50^{\circ}\text{F}$; $+221^{\circ}\text{F}$.
2. Väljenda Celsiuse kraadides: $+24^{\circ}\text{R}$; $+30^{\circ}\text{R}$; -8°R ; -75°R ; -4°F ; $+5^{\circ}\text{F}$; $+41^{\circ}\text{F}$; $+122^{\circ}\text{F}$.
3. Väljenda Fahrenheiti kraadides: $+32^{\circ}\text{R}$; -6°R ; -20°R ; -15°C ; $+50^{\circ}\text{C}$; -8°C ; -273°C .
4. Kui kõrge on inimese keha normaaltemperatuur ($+98,4^{\circ}\text{F}$) R ja C skaala järgi?
5. Leia temperatuur, mis avaldub R ja F ning C ja F skaalade (astmikkude) järgi sama kraadide arvuga.
6. Mispärast ei tarvitata termomeetriverdelikuna vett, vaid enamasti elavhõbedat?
7. Vedela õhu temperatuur on -180°C . Kui palju see on R ja F järgi?

66. Termomeetri ajaloo. Esimese termomeetri (termoskoobi) ehitas kuulus Galilei, Padua ülikooli professor Itaalias, a. 1592. Galilei termomeetri ehitus on väga lihtne, nagu selgub 81. joon. Reservuaariga varustatud pikk toru on otsapidi vette pistetud. Temperatuuri langeses tõmbub õhk kokku ja vesi torus tõuseb kõrgemale, temperatuuri tõustes ümberpöörduvalt. Kuid selle riistaga on võimalik näidata temperatuuri muutumist ainult väikesis piires ja vähese täpsusega. Pealegi näitab ta ühtlasi ka õhurõhumise muutumist.

Jäävaiks punktideks olid esialgu Toskaana kõige madalam talve- ja kõige kõrgem suvetemperatuur (päikesepaistel). XVII sajandi lõpul avastati, et jää sulamis- ja vee keemistemperatuur on jääv (Renaldini, Hooke, Boyle). Newton (1643—1727) tarvitas termomeetri toru täitmiseks linaõli ja võttis jäävaiks punktideks jää sulamis- ning inimese keha temperatuuri. Esimese elavhõbe-termomeetri ehitas Daniel Fahrenheit (1686—1736), klaasipuhuja Amsterdamis. Fahrenheit võttis skaala pügalaiaks jagamise aluseks 3 jäävat punkti: kõige madalam tolle aja kunstlik temperatuur (0°F),



81. joon. Galilei termomeeter.

jää sulamistemperatuur (32° F) ja inimese keha soojus (96° F). Aastal 1730 soovitas Réaumur, zooloogiaprofessor Pariisis, võtta jäävaiks punktiks jää sulamis- ja vee keemistemperatuuri ning jagada vahe 80 võrdseks pügalaks. Upsala ülikooli professor Celsius tegi a. 1743 ettepaneku jagada samade jäävate punktide vahe 100 võrdseks osaks. Kümneksüsteemile vastavuse tõttu on see jaotus leidnud kõige laialdasemat tarvitamist.

67. 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 $+37^{\circ}$ C.

68. Soojuse mehaaniline teooria. Selle teooria põhjal on iga keha ainemolekulid 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 meie seda teame aurumasinast. Samuti on ümberpöörduvalt võimalik liikumist muuta soojuseks (hoog, hõõrdumine).

Kehade paisumine soojendamisel.

Kõvade (tahkete) kehade paisumine.

69. Paisumisest üldse. Igapäevse elu tähelepanekuist teame, et kõigil kehadel, olgu nad kõvad, vedelad või gaasid, on ühine omadus soojendamisel paisuda, jahtumisel aga kokku tõmbuda. Näiteid: raudteerööpad päikesepaistel, vesi kohvimasinas, petrooleum pudelis, õhk põies ning kummipallis kuuma ahju ääres jne. Too veel näiteid kehade paisumise kohta!

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

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

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

Soojuse mehaanilise 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 raudteerööbaste vahele väikesed vahed?

4. Mispärast kange külmaga jää praguneb?

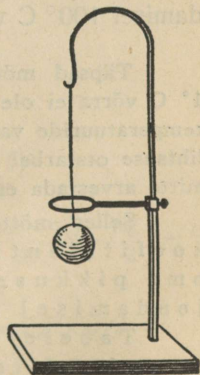
5. Tulle visatud kastanid ja pähklid lõhkevad. Mispärast?

6. Klaasanumad lõhkevad sagedasti kuuma vee sissekallamisel. Mispärast?

70. Kõvade kehade joonpaisumise koefitsient. Katsed näitavad, et kõik kehad ei paisu temperatuuri tõusmisel ühtviisi. Kõige suuremal määral paisuvad gaasid, siis vedelikud ja kõige vähem kõvad kehad. Kuid ka kõvad kehad on väga erisuguse paisumisega. On leitud koguni sulameid, nagu invaar (64 Fe, 36 Ni), kus paisumist peaaegu üldse ei ole märgata.

Kõva keha paisub mitte ainult ühes, vaid igas suunas. Seda näitab meile lihtne katse metallkerakesega (82. joon.), mis harilikus temperatuuris igas asendis rõngast vabalt läbi mahub, kuumaksäetuna mitte; ära jahtudes või rõnga soojenedes aga jällegi rõngast läbi mahub.

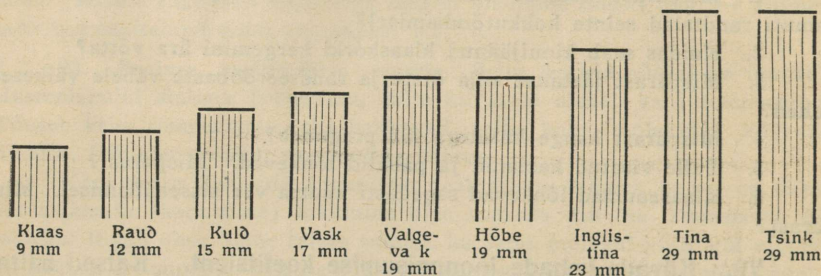
Katsed näitavad, et keha soojendamisel sama kraadide arvu võrra pikeneb (ligikaudu) niisama palju, s. o. keha pikenedamine on võrdeline keha temperatuuri juurdekasvuga. Nii näiteks pikeneb 10 meetri pikkune raudvarb temperatuuri tõusmisel iga 10°C võrra (10° – 20° ; 50° – 60° jne.) 1,2 millimeetrit.



82. joon. Metallkeraka paisub soojendamisel igas suunas.

Keha piknemise suurus oleneb keha esialgsest pikkusest, temperatuuri juurdekasvust ja ainest. Antud aine joonpaisumise iseloomustamiseks on võetud tarvitusele nn. **joonpaisumise koefitsient**. Nimetame aine joonpaisumise koefitsiendiks (α) arvu, mis näitab, kui suure osa oma pikkusest (0°C^{-1}) pikeneb sellest ainest keha soojendamisel 1°C võrra.

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



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

Meile tuntud kehade võrdlevat joonpaisumist näitab 83. joon., kus on üles tähendatud 10-meetrise varva pikkuse juurdekasv soojendamisel 100°C võrra.

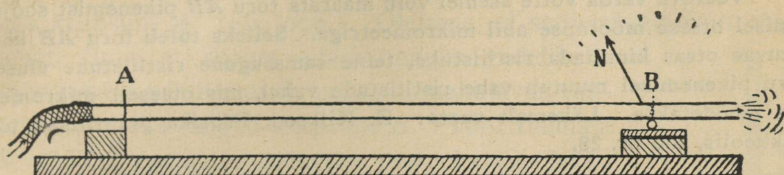
Täpsad mõõtmised näitavad, et kehade piknemine soojendamisel 1°C võrra ei ole mitte igas temperatuuris ühesugune. Et aga kitsamas temperatuuride vahemikus (0° — 100°) on vahed väga väikesed, siis võime lihtsuse otstarbel joonpaisumise koefitsiendi määramisel tegelikult mitte arvestada esialgset temperatuuri,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

Selles mõttes võime defineerida lihtsamalt joonpaisumise koefitsienti kui arvu, mis näitab, kui suure osa oma pikkusest paisub sellest ainest keha soojendamisel 1°C võrra.

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

71. Joonpaisumise koefitsiendi määramine. Teeme joonpaisumise koefitsiendi määramiseks järgmise katse (84. joon.). Olgu valgevasest toru kinnitatud otsast *A* alusele, ots *B* aga lasub vabalt peenikesel metallvardal

(sukavarras, nõel), mille külge on kinnitatud osuti N (õlekõrreke). Et soojuse kaotus oleks väiksem, on toru vildiga ümber mähitud. Pikenedes soojendamise mõjul paneb toru varda veerema (soovitav teha varda alus klaasist) ja osuti pöörduv paremale poole. Osuti pöördumisenurga (φ) ja varda raadiuse (r) põhjal on võimalik arvutada toru pikenedmist. Kui osuti



84. joon. Joonpaisumise koefitsiendi määramine.

pöörduv nurga φ° võrra, siis nihkub toru ja varda puutumispunkt edasi kaare $\frac{2\pi r\varphi}{360}$ võrra, niisama palju nihkub edasi ka varda tsenter. Seetõttu siis toru AB kogu pikenedmine võrdub toru ja varda puutumispunkti edasi-nihkumise **k a h e k o r d s e** suurusega, s. o. $2 \cdot \frac{2\pi r\varphi}{360}$ ehk $\frac{\pi r\varphi}{90}$.

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

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

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

ehk, tähistades lõpp-pikkuse l_2 -ga, lühidalt

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

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

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

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

Nii näiteks:

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

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

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \alpha t) \dots \dots (3)$$

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

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

Joonpaisumise koefitsiendid.

Alumiinium	0,0000244	Marmor	0,0000117
Hõbe	195	Nikkel	151
Inglistina	225	Plaatina	092
Invaar	023	Räud	111
Jää	507	Tina	293
Klaas	091	Tsink	292
Kuld	143	Valgevask	198
Kuusepuu: pikuti	037	Vask	171
„ risti	584		

1. Vaskvarva pikkus $10^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$ on 2 m. Kui pikk on sama varb $40^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$?

2. Klaastoru pikkus $100^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$ on 1 m. Kui pikk on see toru 50° ning $0^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$?

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

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

72. Ruum- ja pindpaisumine. Soojendamisel paisub keha igas suunas, järelikult suureneb paisumise tõttu ka keha ruum- ning pindala. Ruum- ja pindpaisumist iseloomustavad vastavad ruum- ja pindpaisumise koefitsiendid, mida defineeritakse samuti kui joonpaisumise koefitsientigi. Matemaatiline arutus 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 $0^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$ 20 cm lai ja 30 cm pikk. Kui suur on selle tahvli pindala $60^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$?

3. Raudplekist anuma mahutavus $15^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$ on just 3 liitrit. Kui suur on sama anuma mahutavus $95^\circ \text{ t}^\circ\text{-l}$?

Vedelikkude paisumine.

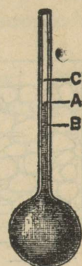
73. Vedelikkude tõeline ja näiv paisumine. Vedelikel puudub kindel kuju, seepärast võib kõnelda vedelikkude puhul ainult ruumpaisumisest. Olgu peenikese toruga varustatud anum täidetud vedelikuga kriipsuni *A* (85. joon.). Oletame, et soojendame esiti ainult anumad, ilma et soojus edasi anduks vedelikule. 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. Tõepoolest 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 mõõttub toru ruumalaga *AC*. Nagu 85. joon. näha,

$$BC = AB + AC, \text{ s. o. vedeliku}$$

tõeline paisumine = näiv paisumine + anuma paisumine.

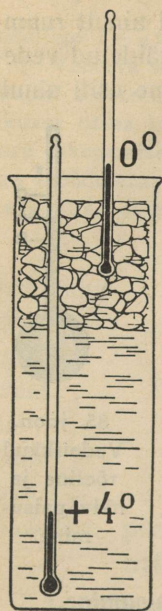
Katse näitab, et vedelikkude paisumiskoeffitsiendid on tahkete kehade omist suuremad (umbes 10 korda) ning igal vedelikul erisugused. Ka oleneb vedeliku paisumine temperatuurist, s. o. sama vedeliku paisumiskoeffitsiendid on erisuguste temperatuuride puhul erisugused. Kõige korrapärasemalt paisub elavhõbe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

74. Vee paisumise iseärasus. Vee paisumist uurides selgub, et vesi soojendamisel igas temperatuuri vahemikus ei paisu, vaid vahel otse ümberpöörduvalt soojendamisel tõmbub kokku. Seda vee omadust võime katseliselt näidata järgmiselt. Võtame kõrge anuma (86. 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 4°C jahtunud, ei lange temperatuur enam,



85. joon.
Vedelikkude
tõeline ja
näiv paisu-
mine.

millest järeldame, et ses temperatuuris on vee tihedus kõige suurem, järelikult ruumala kõige väiksem. Edaspidisel vaatlusel näeme, et ülemine termomeeter järjest langeb ja võib minna 0° -ni, mis laseb järeldada vee vähemat tihedust (suuremat ruumala) ses temperatuuris võrreldes 4° -ga.



86. joon. Veel on $4^{\circ}\text{C}^{\circ}\text{-l}$ kõige suurem tihedus.

Eelmisest katsest selgub, et kõige suurem tihedus, järelikult ka kõige väiksem ruumala, on veel $4^{\circ}\text{C}^{\circ}\text{-l}$. Selles seisabki veepaisumise iseärasus.

Kirjelatud veepaisumise iseärasusel on suur tähtsus looduses, nimelt veekogude kinnikülmutumisel. Välispinnal jahtunud veeosad kui tihedamad langevad alla ja nende asemele tulevad põhjast uued soojemad veeosad. Nii kestab vee segunemine seni, kui kõik vesi on jahtunud 4° -ni C. Alles siis jäävad edaspidisel jahtumisel 0° -ni 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 kinnikülmutumine siis, kui veel 0° puhul oleks kõige suurem tihedus. Missugust mõju avaldaks see asjaolu jääkorra tekkimisele?

Vedelikkude ruumpaisumis-koefitsiendid.

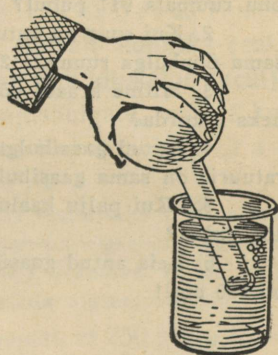
Bensiin	0,00138	Petrooleum	0,00095
Eeter	166	Piiritus	104
Elavhõbe	018	Tärpentiin	097
Glütseriin	051	Vesi	043
Oliiviõli	072	Väävelhape	055

- 1) Kui palju muutub vaaditäre piirituse (500 liitri) ruumala temperatuuri muutumisel -10° -st $+20^{\circ}$ -ni?
- 2) Klaasanum mahutab endasse $40^{\circ} \text{ t}^{-1}$ 850 g elavhõbedat. Kui suur on selle anum mahutavus 0° puhul?
- 3) Vask-kohvimasin mahutab $15^{\circ} \text{ t}^{-1}$ 2 liitrit vett. Mitu cm^3 suureneb kohvimasina mahutavus ja mitu cm^3 vee ruumala soojendamisel kuni 100° ?
- × 4) Raudplekist anum mahutab 0° t^{-1} 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! Mis-pärast vesi enam-vähem sügavas veekogus kange külmaga ei muutu põh-jani jääks?

Gaaside paisumine.

75. **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 tõendavad eelmised nähtused?

Võtame pika kaelaga keedupudeli ja asetame ta kaela otsapidi vee alla (87. 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 keedupudelis ei mahu. Jahtudes tõmbub õhk keedupudelis kokku, tema ruumala väheneb, ja varsti tungib keedupudeli kaela.



87. joon. Õhk soojendamisel paisub.

Katsed teiste gaasidega annavad meile samad tulemused. Tähendab, gaasid, samuti kui kõvad 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 ühtviisi, ja nimelt nõnda, et temperatuuri tõusmisel 1°C võrra suureneb gaasi ruumala $0,00366$ ehk $\frac{1}{273}$ osa võrra oma ruumalast 0°C t^o-l. Seega on siis kõikide gaaside kohta ühine ruumpaisumis-koefitsient.

Tähistame antud gaasihulga ruumala 0°C t^o-l v_0 -ga, $t^{\circ}\text{C}$ v₀-ga ja gaaside ruumpaisumis-koefitsiendi α -ga, siis võime Gay-Lussac'i seaduse põhjal kirjutada:

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

millest järeldub:

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

1. Antud õhuhulga ruumala 0°C t^o-l on 3 liitrit. Kui suur on sama õhu ruumala 91° puhul?
2. Kui suur on antud õhuhulga ruumala -25°C t^o-l, kui $+20^{\circ}$ puhul on sama õhuhulga ruumala 240 cm^3 ?
3. Mitme kraadi võrra tuleb 0° -st õhku jahutada, et ta ruumala väheneks 2 korda?
4. Antud gaasihulga ruumala 0°C t^o-l on v^6 liitrit. Missuguses temperatuuris on sama gaasihulga ruumala $2v^0$ liitrit?
5. Kui palju kaalub normaalrõhumisel klassitäis õhku ($9 \times 6 \times 4\text{ m}$) 15° puhul?
6. Leia antud gaasihulga ruumala 0°C t^o-l, kui -30° puhul ta ruumala on 360 cm^3 !

Soojushulga mõõtmine.

76.) 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 soojusest kui teatavast suurusest, mis andub ühest kehast teise ja mille hulka võib mõõta.

Too veel selliseid näiteid!

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 asub 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.

77. Soojushulga mõõtmine. Segamis-ülesanded. Soojushulga (energia) mõotmisel on võetud ühikuks see soojushulk, mille 1 g vett juurde saab (või kaotab), kui ta temperatuur tõuseb (või langeb) 1°C võrra. Nime-tame selle soojushulga **gramm-kaloriks** ehk lihtsalt **kaloriks** (**cal**, ladina keeles: *calor* — soojus). **Kilogramm-kalor** ehk **kilokalor** (**kcal**) on 1000 väikest 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 (p e a a e g u) ühepalju soojust, vaatamata algtemperatuurile, millest algab soojendamine (kas 0° , 15° või 60° jne.), seepärast ei ole meil t e g e l i k u l t 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 soojus
250 " " " "	1°C " "	250 " "
250 " " " "	10°C " "	250 · 10 " "

Tähistades otsitava soojuse hulga Q-ga, saame:

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

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

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

N ä i d e. Segati 200 g vett $15^{\circ}\text{t}^{\circ}$ -l 300 g veega $40^{\circ}\text{t}^{\circ}$ -l. Leida segu temperatuur.

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

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

millest $x = 30$.

1. Tee vee segamise katse ja võrdle katseliselt leitud lõpptemperatuuri sellega, mis saadud eespool-näidatud viisil kalkuleerides. Millest on tingitud väike vahe resultaates?

2. Lahenda üldisel kujul vee segamise ülesanne: m_1 g vett t_1° puhul segati m_2 g veega t_2° puhul, leida lõpptemperatuur t . Näita, et saadud valem on kehtiv ka iga teise vedeliku segamisel.

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

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

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

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

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

8. 1 m^3 vee soojendamiseks kulutati 2500 kcal soojust. Kui palju tõusis vee temperatuur?

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

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

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

12. Mitu g 100° -st vett tuleb segada 80 g veega 30° t $^\circ$ -l, et segu temperatuur oleks 72° ?

13. Mitu liitrit vett 10° t $^\circ$ -l tuleb segada 3 liitri veega 40° t $^\circ$ -l, et segu temp. oleks 28° ?

14. Segati 2 liitrit vett 10° t $^\circ$ -l 3 liitri veega 15° t $^\circ$ -l. Leia segu temperatuur!

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

78. Keha soojusmahutavus. Aine erisoojus. Võtame 500 g rauda (naelad) ja 500 g tina (haavlid), soojendame neid näiteks

100°-ni (keevas vees hoides) ja asetame siis ühe ühte, teise teise anumasse veega. Veehulk ja algtemperatuur olgu mõlemas anumad samad, soovitav, et ka anumad ise oleksid ühesugused (mis-pärast?). Mõõtes vee temperatuuri tõusu anumais näeme, et see ei ole ühesugune, vaid raua jahtumise mõjul umbes 3 korda suurem kui tina mõjul. Sellest järeldame, et samas hulgas võetud erisuguste ainete (raud, tina) soojendamiseks sama kraadide arvu võrra tarvitab üks keha tublisti rohkem soojust kui teine.

Nimetame keha **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 (tina, 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° C võrra kulub 1 cal soojust, järelikult vee erisoojus on 1 cal; 1 g raua soojendamiseks 1° C võrra kulub 0,1 cal soojust, seega on siis raua erisoojus 0,1 cal, jne.

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

Klassi erisoojus on 0,17 cal, järelikult 1° C võrra jahtudes kaotab teeklaas 0,17 · 200 cal, 60° võrra jahtudes 0,17 · 200 · 60 ehk 2040 cal.

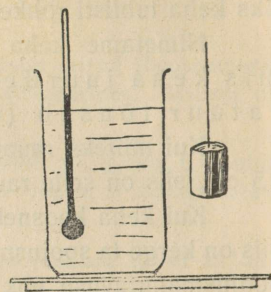
Üldse, kui meil on **m** g ainet, mille erisoojus **c** cal, siis kaotab ta temperatuuri langemisel **t**° võrra soojust

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

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

79. X Erisoojuse leidmine segamisviisi abil. Tahame näiteks leida tina erisoojust, siis võtame tüki tina, olgu 645 g, soojendame

teda keeva vee aurus hoides 100°-ni ja asetame anumasse, milles on näiteks 400 g vett 13,5° t°-l (88. joon.). Nüüd läheb tinast osa soojust vette ja vee temperatuur hakkab tõusma. Segame vett ümber ja paneme tähele kõige kõrgema temperatuuri, mis termomeeter näitas. Olgu see 17,5°. Siis oli vesi niisama soe kui tina. Tähendame tina otsitava erisoojuse x -ga ja arvutame soojushulga, mis tinatükk jahtudes kaotas ja veele andis. Üks gramm tina, jahtudes ühe kraadi võrra, kaotab x cal soojust, 645 g kaotab aga 645 x cal. Tinatükk jahtus (100—17,5)°, tähendab, tinatüki soojusekaotus kokku on 645 · (100—17,5) x cal. Samuti leiame, et vesi anumasse soojenedes sai soojust juurde 400 · (17,5—13,5) cal. Kui oletada, et muud soojusekaotused, näiteks kiirgamise ja juhtivuse teel, on niivõrra väikesed, et neid võib jätta tähelepanemata, siis peab soojushulk, mis tinatükk kaotas, võrduma soojushulgaga, mis vesi sai juurde, s. o.



88. joon. Erisoojuse leidmine.

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

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

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

Riista, mille abil määratakse erisoojust, nimet. **kalorimeetriks**. Mis oli kalorimeetriks siinkirjeldatud katses?

Erisoojuste tabel.

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

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

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

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

3. Missugust mõju avaldab vee erisoojus kliima kujunemisele?

4. Kui palju soojust kaotab 4,5-kg-ne klaasitükk, jahtudes 200°-st 0°-ni?

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

6. 500 g vaske jahtus 100°-st 28°-ni. Kui palju kaotas ta soojust?

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

8. Segati liiter 40°-st vett liitri piiritusega 20° t°-l. Leia segu temperatuur!

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

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

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

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

13. 300-g-se tinatüki soojendamiseks 15°-st 35°-ni kulub 186 cal soojust. Kui suur on tina erisoojus?

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

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

Aine oleku muutumine.

Sulamine. ×

80. **Sulamis- ja kõvastumisnähtus ning -seadused.** Keha olek (kõva ehk tahke, vedel, gaasiline) oleneb temperatuurist. Keha üleminekut kõvast olekust vedelasse nimetame **sulamiseks**. Vaatame, kuidas toimub sulamine. Võtame näiteks tüki jääd (lund), paneme anumasse ja hakkame soojendama. Olgu alul jää temperatuur -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° t $^{\circ}$ -l. 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 — kõvastuma. Kogu kõvastumise kestel on vee temperatuur sama, nimelt 0° . Temperatuuri langemine algab alles siis, kui kõik vesi on muutunud jääks.

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

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

2) sulamistemperatuur on ühesugune kõvastumistemperatuuriga;

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

4) kogu sulamise (kõvastumise) 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 pehemaks, kuni lõpuks jõuab vedela olekuni. Sel klaasi omadusel on suur tähtsus klaasitööstuses, sest ta võimaldab välja töötada klaasist väga mitmekujulisi asju. Sarnaselt klaasiga sulavad (kõvastuvad) mitmed teised kehad, nagu või, rasv, vaha, pigi, kummi jne.

81. 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 kõva keha molekulide vahel olevate sidemete lõhkumiseks, nn. sisemiseks tööks,

sest kõva keha molekulid on palju tugevamini üksteisega seotud kui vedeliku molekulid.

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

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

82. Jää sulamissoojuse leidmine. Olgu kalorimeetris 434 g vett algtemperatuuriga $52,8^{\circ}$. Võtame tükikese kuiva jääd 0° t $^{\circ}$ -l ja laseme kalorimeetrisse. Jää sulamisel langeb vee temperatuur kalorimeetris. Segame vett järjest ümber ja märgime temperatuuri kohe, kui viimane jääraasuke on ära sulanud. Olgu vee lõpptemperatuur $27,6^{\circ}$ ja kogu vee hulk 536 g. Leiame saadud andmeist jää sulamissoojuse. Vesi jahtus kalorimeetris $52,8 - 27,6^{\circ} = 25,2^{\circ}$ võrra. Ära sulanud jää mass on $536 \text{ g} - 434 \text{ g} = 102 \text{ g}$. Vesi kalorimeetris kaotas $25,2 \cdot 434$ g-kalorit soojust; sellest soojuse hulgast kulus, tähistades jää sulamissoojuse x -ga, $102 x$ g-kalorit jää sulatamiseks ja $27,6 \cdot 102$ g-kalorit jää sulamisest tekkinud vee soojendamiseks 0° -st $27,6^{\circ}$ -ni. Et mõlemad soojuse hulgad peavad olema võrdsed, siis saame võrrandi

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

millest $x = 79,6$.

Täpsad mõõtmised näitavad, et jää sulamissoojus on 80 gramm-kalorit iga grammi kohta.

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

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

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



89. joon. Jääks muutudes paisub vesi tugevasti ja lõhub raudpommii.

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

Kui tugevasti vesi jääks muutudes paisub, näitab katse raudpommiga (89. 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 jahutudes ja paisub soojenedes.

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

Sulamistemperatuurid ja -soojused.

Aine	Sulamis-temperaatuur	Sulamis-soojus	Aine	Sulamis-temperaatuur	Sulamis-soojus
Alumiinium	657°	102	Raud (puhas)	1528	49
Eeter	—132	—	Tina (seatina)	327	6,3
Elavhõbe	—39	2,8	Tsink	419	26,6
Hõbe	961	24	Vaha	63—64	42,3
Inglitina	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	—	Sõehappegaas	—56,3	45,3
Plaatina	1764	27	Vesinik	—258	14

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

2. Millisel ainel tabelis lk. 88 on kõige kõrgem (madalam) sulamistemperatuur ja kõige suurem (väiksem) sulamissoojus?

3. Missugune on lume (jääd) 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, mille ruumala kõvastumisel suureneb, või need, mille ruumala väheneb? Mispärast raha ei valata, vaid pressitakse („lüüakse“)?

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

7. Kui palju -20° -st jääd on võimalik ära sulatada 120 g vees, mille temperatuur on 20° ?

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

9. Segati 400 g vett $+80^{\circ}$ t $^{\circ}$ -l 40 g jääga -10° t $^{\circ}$ -l. Leia segu temperatuur!

10. Mitu g jääd -6° t $^{\circ}$ -l peab 3 liitris 60° -ses vees ära sulatama, et vee temperatuur langeks 20° võrra?

11. Mitu g $+40^{\circ}$ -st vett tuleb segada 30 g lumega, mille temp. -8° , et pärast lume ärasulamist segu temp. oleks $+10^{\circ}$?

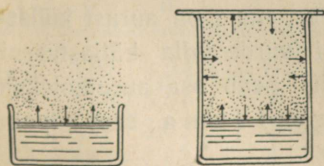
12. Leia raua erisoojus, kui 600 g rauda, jahtudes 80° võrra, sulatab ära 60 g jääd.

13. Kui suur on tina erisoojus, kui 800-grammine tinatükk, jahtudes 90° võrra, sulatab ära 27 g jääd?

14. Kui paksu jääkihi suudaks Päikeselt aasta jooksul saadud soojust ümber Maa ära sulatada (jääd algtemperatuur 0°)? Kas oleneb kihi paksus Maa raadiusest?

Aurustumine ja niiskus.

84. **Aurustumine lahtises anumast.** Me teame, et kuivas ruumis vesi lahtisest anumast (90. 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. Nii siis nimetame a u r u s t u m i s e k s a i n e a e g l a s t m u u t u m i s t v e d e l a s t o l e k u s t g a a s i l i s s e, k u s j u u r e s s e e m u u t u m i n e t o i m u b v e d e l i k u p i n n a l j a i g a s u g u s e s t e m p e r a t u u r i s. A u r u s t u m i s e l g a a s i l i s s e o l e k u s s e l ä i n u d v e d e l i k u (v e e) n i m e t a m e a u r u k s.



90. joon. Aurustumine lahtises ja kinnises anumast.

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

Molekulaarhüpoteesi põhjal võime aurustumist seletada järgmiselt. Vedelikumolekulid on alalises liikumises ja selle keskmine kiirus oleneb temperatuurist. Et vedelikumolekulid asetsevad üksteisele väga lähedal, siis on sagedad kokkupõrked möödapääsetamatud. Need pinna lähedal olevad vedelikumolekulid, mille 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 vedeliku kohal. Nii siis moodustavad vedeliku auru need peajasjalikult 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.

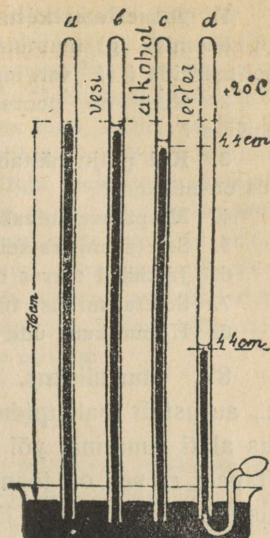
85. Aurustumine kinnises anumä. Kui aurustumine toimub kinnises anumä (90. joon., b), siis ei pääse aurumolekulid vedeliku peal olevast ruumist mitte eemale, vaid kogunevad kõik sinna piiratud ruumi. Aurumolekulide arv suureneb järjest, kuid lõpuks tekib nn. **liikuv tasakaal**, s. o. seisund, kus vedelikust väljunud (auruks muutunud) molekulide 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 ei esine mitte üksnes vedeliku- ja aurumolekulide liikumises, vaid väga sagedasti ka mujal. Kui rahva-arv ei kasva, siis on siin liikuv tasakaal: niipalju kui sureb, 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 **küllas-tamatu** ja vedelikust võib molekule ruumi juurde tulla küllastuseni. Vähendame auruga küllastatud ruumi, siis peab osa aurumolekule paratamatult vedelikku tagasi minema — v e e l d u m ä, 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 aarul võrreldes küllastumatu auruga ka kõige suurem rõhumine.

Auru rõhumise uurimiseks võib tarvitada tühja ruumi baromeetri torus (Torricelli tühik). Olgu meil 4 ühesugust baromeetri toru täidetud elavhõbedaga (91. joon.). Juhime kõvera otsaga pritsi abil toru *b* alla vett, *c* alla piiritust ja *d* alla eetrit. Vedelik tõuseb torus üles ja muutub elavhõbeda kohal olevas ruumis auruks. Juhime vedelikku niikaua torudesse juurde, kuni elavhõbeda peale tekib õhuke vedelikukiht. Sellest järeldame, et ruum vedeliku kohal on aurust küllastatud, sest vedelikku enam auruks ei muutu. Toru *b*, *c* ja *d* elavhõbeda-samba kõrgust toru *a* omaga (baromeeter) võrreldes näeme, et esimestes küllastunud auru rõhumise mõjul on elavhõbe langenud, nimelt $+20^{\circ}\text{C}$ t^o-l: torus *b* (vesi) 1,7 cm, torus *c* (piiritus) 4,4 cm ja torus *d* (eeter) 44 cm. Sellest järeldame, et $+20^{\circ}\text{C}$ t^o-l on küllastunud vee-auru rõhumine 1,7 cm, piiritusel 4,4 cm ja eetril 44 cm.



91. joon. Küllastunud auru rõhumise määramine.

Katseist selgub, et küllastunud auru rõhumine oleneb vedeliku ainest, auru temperatuurist ja suureneb temperatuuri tõustes.

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

Küllastunud veeauru rõhumine (p_{mm}) ja absoluutne niiskus ($A \frac{g}{cm^3}$) mitmesugusel temperatuuril ($t^{\circ}\text{C}$).

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

1. Joonesta eelmise tabeli põhjal graafik, mis näitab küllastunud veeauru rõhumise (p) muutumist temperatuuri tõusmisel 0°-st 160°-ni. Rõhtteljel märkida t (1° vst. mm) ja püstteljel p (100 mm vst. 1 mm)!

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

3. Kui palju näitab baromeeter 20° C t°-l vähem, kui baromeetri torus on niiskust?

4. Mispärast kuivab pesu tuule käes paremini kui vaikselt õhus?

5. Seleta, milles seisneb lehviku tarvitamise jahutav mõju!

6. Jäämäed meres on sagedasti ümbritsetud uduga. Mispärast?

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

8. Hommikune udu kaob harilikult enne lõunat. Mispärast?

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

Relatiivset niiskust võime leida absoluutse niiskuse abil. Kui näiteks teame, et 20°C t°-l on õhu absoluutne niiskus 8,65 $\frac{g}{m^3}$, siis on relatiivne niiskus $\frac{8,65}{17,3}$ ehk $\frac{1}{2}$. Tõepoolest, sellekohasest tabelist (vt. lk. 91) leiame, et 20°C t°-l mahub 1 m³ õhusesse 17,3 g küllastunud veeauru. Harilikult väljendatakse relatiivne niiskus %-des (meie juhul $\frac{1}{2}$ — 50%); siis näitab relatiivne niiskus küllastuse määra, s. o. mitu % moodustab õhus juba olev veeauru hulk sellest, mis sinna antud temperatuuris mahuks maksimaalselt.

Kõige lihtsam on õhu relatiivset niiskust leida nn. **k a s t e p u n k t i m e e t o d i** abil. Me teame, et gaasi, samuti ka auru rõhumine antud temperatuuris oleneb antud ruumalal olevate molekulide hulgast, sest auru rõhumine pole muud, kui üksikute molekulide tõugete summa. Sellest järeneb, et absoluutne niiskus on võrdeline auru rõhumisega ja seetõttu

$$\text{rel. niiskus} = \frac{\text{õhus oleva veeauru rõhumine}}{\text{küllast. veeauru rõhum. samas temp.}}$$

Suhte teise liikme leiame sellekohasest tabelist, kuna suhte esimene liige tuleb igal juhul katseliselt eraldi määrata. Selleks leiame nn. kaste-punkti, s. o. temperatuuri, milleni tuleks jahutada õhku, et temas olev veeaur küllastuks. Olgu näiteks toa temp. 18°C . Jahutame sileda läikiva välispinnaga anumad (hõbetatud või kullatud klaas jne.), milles on kas jäävesi või mõni kiiresti aurustuv vedelik (eeter), niikaua kui läikivale pinnale tekib õhuke kaste kord ja ta muutub tuhniks. Olgu seejuures anuma temperatuur 12° . Anuma jahtudes jahtub ühtlasi ka ta seintega kokkupuutuv õhk ja veeaur; seejuures ei muutu jahtunud veeauru rõhumine, sest ta (jah-tunud aur) on otseses kokkupuutes ümberoleva veeauruga. Seepärast võime õhus oleva veeauru rõhumise 18°t^{-1} lugeda niisama suureks kui kül-lastunud veeauru rõhumine 12°t^{-1} . Viimase suuruse leiame tabelist; ta võrdub 10,5 mm. Seega siis on otsitav relatiivne niiskuskus

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

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 niiskuskus oleks 50—60%, seepärast tuleb tähele panna relatiivset niiskust haigemajades, elutubades jne. Ka taimemajades peab valitsema taimekasvule paras relatiivne niiskuskus. Relatiivsest niiskusest oleneb suurel määral ka sademete tekkimise võimalus jne.

88. Hügromeetrid. Riistu, mille abil määratakse õhu niiskuse suurus, nimet. hügromeetriks. Nad põhinevad kastepunkti määramisel, mille põhjal siis arvutatakse relatiivne niiskuskus.

Niiskushulga suurenemist ja vähenemist õhus vaadeldakse nn. niiskuse-näitajate ehk hügrokoopide abil.

Üks lihtsam neist on kujutatud 92. 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 näitaja. Juuksekarva pikkuse muutumine paneb näitaja ühes või teises suunas liikuma, mis numbrilaual näitab märgitud niiskusk-määra protsentides.

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

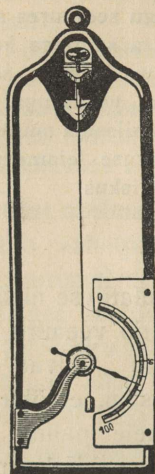
2. Mispärast ei ole kaste alati ühtviisi tugev?

3. Me tarvitame sagedasti kõnekäändu „kaste langeb maha“. Kas on see õige?

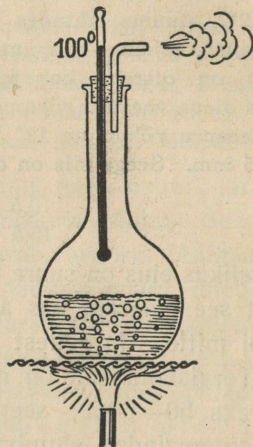
4. Klassi ($9 \cdot 6 \cdot 4 \text{ m}^3$) õhu relat. niiskuskus 18°t^{-1} on 60%. Kui palju kaalub kogu klassis olev veeaur?

5. Mitu kuupmeetrit ruumi on võimalik küllastada 20°t^{-1} 344 g vee arvel?

6. $15^{\circ} \text{ t}^{\circ}\text{-l}$ on õhu relatiivne niiskus 55%. Leia absoluutne niiskus!
 7. $18^{\circ} \text{ t}^{\circ}\text{-l}$ on toa õhu relatiivne niiskus 65%. Leia kastepunkt ja veeauru rõhumine!
 8. Õhus $25^{\circ} \text{ t}^{\circ}\text{-l}$ olev niiskushulk suudaks küllastada seda õhku $14^{\circ} \text{ t}^{\circ}\text{-l}$. Leia relatiivne niiskus!



92. joon. Juushügrokoop.



93. joon. Vesi keeb $100^{\circ} \text{ C t}^{\circ}\text{-l}$.

Keemine.

89. Keemistähtus ja -sädused. Võtame keedupudelisisse vett ja hakkame teda soojendada (93. 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 veesadad kui vähem tihedad pinnale ja nende asemele langevad pinnalt jahedamad veesadad. On vesi sedaviisi segunedes 100°C soojaks saanud, hakkab ta edaspidisel soojuse juurdevoolamisel **keema**, s. o. kiiresti auruks muutuma ehk auruma, kusjuures aumullikesed 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 aumullikesed, 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 täpsamalt vee keemistemperatuuriks (keemispunktiks) nimetada seda temperatuuri, millel küllastunud veeauru rõhumine võrdub välisrõhumisega.

Vee, samuti ka teiste vedelikkude keemisel kehtivad korrapärasused on sarnased kõvade 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.

Veeaur on nähtamatu. Kui aga veeaur jahtudes tiheneb väikesteks veepiiskadeks ning seetõttu saab meile nähtavaks, siis ei ole see enam veeaur, vaid toss ehk udu. Kus on 93. joonisel veeaur ja kus toss?

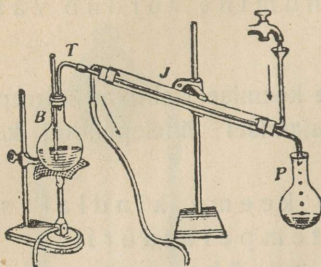
Katsed näitavad, et vedeliku temperatuur keemisel oleneb teataval määral anumast, milles vedelik keeb (anuma aine ja sisepinna puhtus). Kuid keeva vedeliku kohal oleva küllastunud auru temperatuur on alati jääv, kui ei muutu rõhumine, mille all on keev vedelik. Seepärast määratakse vedeliku keemistemperatuur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

90. Veeldumine. Destillatsioon. Vedelik, soojendatud keemistemperatuurini, hakkab soojuse juurdevoolamisel keema. Ümberpöörduvalt — aur, jahutatud keemistemperatuurini, kui talt soojust ära võtta, tiheneb uuesti vedelikuks ehk veeldub. Veeldumisel vabaneb kõik soojus, mis kulus keemisel vedeliku aurumiseks.

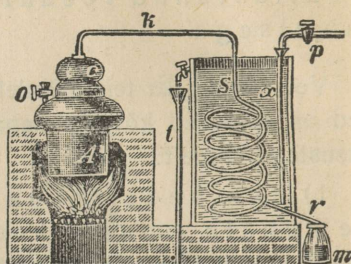
Katse näitab, et keemisel muutub auruks ehk aurub ainult puhas vedelik, kuna kõik vedelikus lahustunud kõvad ained sinna alles jäävad. Sellel auru omadusel põhineb üks vedelikkude puhastamise ehk destillatsiooni viis (94. joon.). Keedupudelis *B* on puhastatav vedelik, mille aur torus *T* veeldub jahutajast *J* läbi minnes ja

voolab anumasse *P*. Suuremal määral destilleeritud vee saamiseks tarvitatakse sellekohaseid seadiseid, nagu näha 95. joon.

Seleta, kuidas töötab 95. joon. kujutatud destilleerimisaparaat.



94. joon. Destillatsioon.



95. joon. 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.

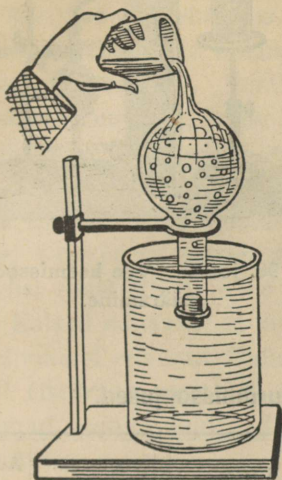
91. Keemistemperatuuri olenevus rõhumisest. Rõhumise vähenedes vee keemistemperatuur märksa langeb, mida on kerge näidata järgmise katse abil.

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 (96. 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.

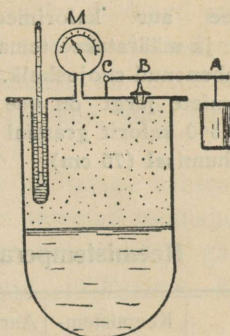
Vesi keeb $100^{\circ} \text{ t}^{\circ}\text{-l}$ ainult siis, kui õhurõhumine on normaalne (76 cm). Maapinnast kõrgemale tõustes väheneb õhurõhumine, järelikult ka keemistemperatuur. Nii näiteks keeb Ecuadoris Quito linnas vesi $90^{\circ}\text{C t}^{\circ}\text{-l}$, Mont Blanc'i tipus $84^{\circ}\text{C t}^{\circ}\text{-l}$, jne.

Välisrõhu suurendamisel tõuseb keemistemperatuur. Selle täpsaks uurimiseks tarvitatakse nn. Papin'i katelt (97. joon.),

mis on tugevate seintega kinnine katel, varustatud termomeetri ja manomeetriga.



96. joon. Rõhumise vähenedes langeb keemistemperatuur.



97. joon. Papin'i katel.

Täpsad mõõtmised annavad järgmise keemistemperatuuri ($t^{\circ}\text{C}$) olenevuse rõhumisest ($p \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)

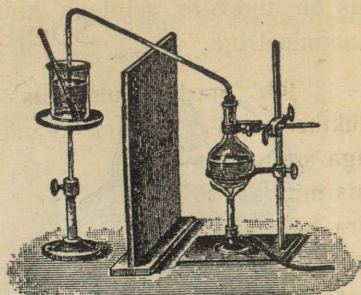
p	t	p	t	p	t	p	t
1	99	6	158	11	183	16	200
2	119	7	164	12	186	17	203
3	132	8	169	13	190	18	206
4	142	9	174	14	194	19	209
5	151	10	179	15	197	20	211

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

2. Seleta, kuidas töötab Papin'i katla kaitseventiil. Oletame, et ventiili kangil punktis A rippuv koormis kaalub 1 kg ja kaitseventiili läbilõige on $0,2 \text{ cm}^2$. Mitme-atmosfäärilisel rõhumisel hakkab ventiil auru välja laskma?

92. Vee aurumissoojus ja selle määramine. Soojushulka, mis läheb vaja, et 1 g antud ainet keemistempe.

ratuuril vedelast ole-
kust muuta auruks, ni-
metatakse selle aine
aurumissoojuseks. Et keemisel
kulunud soojus võrdub täpsalt selle
soojushulgaga, mis veeldumisel
vabaneb, siis mõõdetakse esimest
viimase abil. Selleks juhitakse
keeva vee aur kalorimeetrise
(98. joon.) ja määratakse tema veel-
dumisel vabanenud soojushulk. Täp-
sate mõõtmiste järgi on vee auru-
missoojus 540 kalorit grammi kohta
normaalrõhumisel (76 cm).



98. joon. Vee keemissoojuse
määramine.

Keemistemperatuurid ja aurumissoojused.

Aine	Keemistem- peratuur	Aurumis- soojus	Aine	Keemistem- peratuur	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 keemis-
temperatuuris?
3. Seleta, kuidas saadakse soolajärvedes soola aurustumise teel!
4. Mispärast mõjub kuum aur põletavamalt kui vesi samas tempe-
raatuuris?
5. Kui palju on keemistemperatuur S.-Munamäe otsas madalam kui
merepinnal?
6. Kas saavad hästi suurel tulel munad rutemini keenuks, kui väi-
kese tulega keetes?
7. Kui palju kulub soojust, et 50 g -10° -st jääd auruks muuta
 100° t $^{\circ}$ -l?
8. Mitu g jääd -12° t $^{\circ}$ -l sulatab ära 20 g 100° -st veeauru?
9. Kui kõrgele tõuseb 500 g 15° -se vee temperatuur, kui tema
veeldub 25 g 100° -st veeauru?

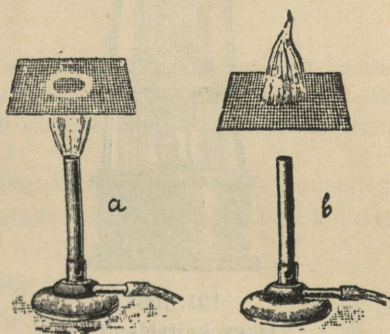
Soojuse levimine.

93. **Soojuse juhitevus.** 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 juhitevuseks ja keha, mida mööda soojus sedaviisi edasi läheb, soojusjuhiks.

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



99. joon. Vask on hea soojusjuht.



100. joon. Leek püsib ühel pool vaskvõrku.

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

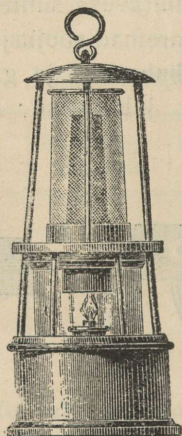
Väga hea soojusjuht on vask. Rõngasse käänatud vasktraati küünla leegil hoides (99. joon.) kustub küünal. Põhjuseks on asjaolu, et soojus leegist vasktraati mööda laialj kandub ja jahutab põleva gaasi niivõrra ära, et leek kustub. Sellel vase omadusel põhineb vaskvõrgu tarvitamine, et gaasi leeki hoida ühel pool võrku (100. joon.); esimesel juhul (a) on gaas süüdatud altpoolt, teisel juhul (b) ülaltpoolt võrku.

Vaskvõrgu suur juhtivus leiab kasutamist ka Davy kaitse-

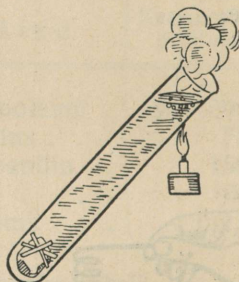
lambi ehitamisel (101. joon.). Lambi leek on ümbritsetud tiheda vaskvõrguga. Kui kaevanduses on kogunenud plahvatavat gaasi, siis tekivad väikesed kahjuta plahvatused võrgu sees ja annavad märku hädaohtlikust seisukorrast.

Vesi on halb soojusjuht; seda näitab lihtne katse: täidame katseklaasi veega ja soojendame teda lahtisest otsast (102. joon.). Sedaviisi võime lahtises otsas vee koguni keema ajada, kuna teine ots jääb täitsa jahedaks ja teda võib vabalt käes hoida.

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



101. joon.
Davy kaitselamp.



102. joon. Vesi on halb soojusjuht.

Võttes hõbeda soojusejuhtivuse 100-ks, saame meile tuntud kehade võrdleva juhtivuse mõõtmiseks 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
Inglüstina	15	Männipuu pikuti	0,03	Õhk	0,005

1. Kuidas võiksime kujutella soojuse levimist juhtivuse teel molekulaarhüpoteesi põhjal?

2. Mispärast karusnahk, villane riie, suled, õled jne. kaitsevad hästi külma eest?

3. Mispärast lähevad raudahjud ruttu kuumaks, aga ka jahtuvad ruttu?

4. Mis kasu on talveaknaist?

5. Missugune soojusjuht on Maa koor?

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

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

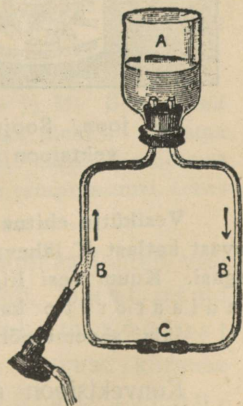
94. Soojuse konvektsioon. Katseklaasis vett alt soojendades näeme, et vesi hakkab ka pealt kohe soojaks minema, sest soojenedes veeosad paisuvad, nende tihedus väheneb ja nad tõusevad üles. Üles tõusnud veeosade asemele langevad ülalt alla jahedad suurema tihedusega veeosad. Nii kandub soojus segunedes laiali ja kõigil veeosadel katseklaasis on alati enam-vähem ühtlane temperatuur. Et vee liikumist katseklaasis parem oleks tähele panna, lisame vette peenikest puupuru, mis veega ühes hakkab liikuma ja sellega vee liikumise teeb meile nähtavaks. Veel selgema pildi vee liikumisest soojendamisel saame, kui sama katset teeme sellekohase anumaga, nagu näha 103. joon.

Anum *A* on täidetud veega nii, et toru *BCB* otsad oleksid kaetud. Lisandame veele anumasse *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 edasikandumiseks ehk konvektsiooniks.

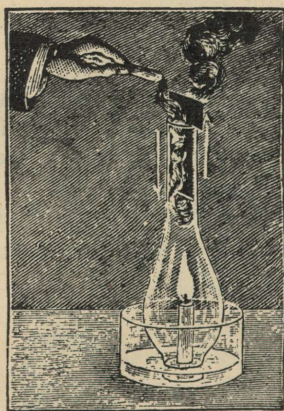
Mõistagi, et konvektsioon on võimalik keha- des, mille osad üksteise suhtes annavad kergesti liikuda, s. o. vedelais ja gaasilistes keha- des, kuid mitte tahketes.

Näiteks soojuse konvektsiooni kohta õhus on meil soojuse levimine kõetud 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.

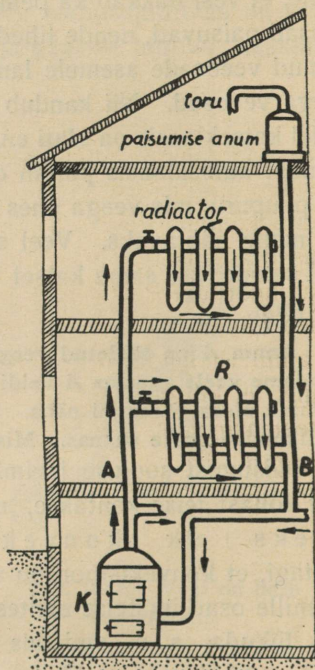


103. joon. Soojuse konvektsioon vees.

Konvektsiooni õhus näitab meile selgesti ka järgmine katse (104. joon.). Madala anuma põhjal seisev küünal põleb lambiklaasi sees. Kui anuma põhja valada veidi vett, kustub küünal peagi, sest vesi takistab värsket õhu juurdevoolu. Nüüd jagame lambiklaasi ülemise osa papitükiga pooleks. Küünalt uuesti süüdates ei kustu ta enam, sest nüüd voolab värsket õhk kui korstnast ühelt poolt sisse ja põlemisproduktid teiselt poolt välja. Seda õhuvoolu on suitsu abil kerge tähele panna.



104. joon. Soojuse konvektsioon õhus.



105. joon. Vesikütte skeem.

Vesikütte ehitus selgub 105. 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 igapäevses elus. Tuuled, merehoovused, ventilatsioon, vesiküte jne. on kõik konvektsiooninähtused.

1. Mispärast saepuruga täidetud vaheseinad juhvivad 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?

95. 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 juhitudvuse abil ei saa me nähtust seletada, sest konvektsioonivool ahju suunas hävitab täiesti juhitudvuse abil õhus levinud soojuse mõju. Sellest järeldame, et peale juhitudvuse ja konvektsiooni peab olema veel mõni viis soojuse energia levimiseks. Juhitudvuse 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, Päikesest jne., **k i i r g u m i s e k s**. 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 ($\sim \frac{1}{2}$ l). Ühe pinna katame väljast nõega, teise pinna jätame puhtaks (valge plekk). Valame mõlemasse ühepalju kuuma vett ($\sim 70^\circ$). Laseme veel jahtuda mõlemas anumal samasuguseis tingimuis ja jälgime kogu aeg vee temperatuuri, tehes mõõtmisi näiteks iga 2 min. tagant.

Vaatlused näitavad, et nõestatud seintega anumal jahtub vesi kiiremini kui valgete seintega anumal. Tähendab, must pind kiirgab välja sama aja jooksul rohkem soojust kui valge pind. Ka ümberpööratud juhul, soojuse kiirguse neelamisel, on musta pinna neelamisvõime tunduvalt suurem valge pinna neelamisvõimest.

Kui päikesevarjutamisel valgus ära kaob, siis ühes sellega

lõpeb ka soojuste kiirgumine. Sellest järeldame, et soojuste kiirgumise levimise kiirus võrdub valguse omaga, s. o. $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

Lihtsad tähelepanekud (missugused?) näitavad, et soojuste kiirgumine toimub sirgjooneliselt.

Ka võib kiirguv soojus keskkonnast läbi minna, ilma et ta seda keskkonda soojendaaks. Näiteks Päikese kiired võivad õhust läbi tungida, ilma et õhk läheks seejuures tunduvalt soojemaks. On ju õhk ülemistes kihtides ka kõige palavamal suvepäeval väga külm.

1. Mispärast kantakse lõunamaal valgeid riideid?
2. Kevadisel päikesepäistel 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.

96. Päike energia allikana. Päikesekonstant. Kõige tähtsamaks Maa soojuste ja üldse kogu energia allikaks on **Päike**. Suure kuuma kerana (raadius 109 Maa raadiust ja temperatuur $\sim 6\,000^\circ\text{C}$) saadab Päike kiirgamise teel vahetpidamatult määratu hulga energiat maailmaruumi laiali; Maa peale langeb ainult väike osa ($\sim \frac{1}{2 \cdot 10^9}$) sellest energiast. Ka ei jää kõik Maa peale langenud Päikese energia siin püsima, vaid suurem osa peegeldub (pilved, veepind jne.) ning kiirgub Maapinnalt 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 täpsad mõõtmised näitavad, et päikesekonstandi suurus on ~2 gramm-kalorit (õigemini 1,93). Et meil võimalik ei ole õhkkonna neelavat mõju kõrvaldada, siis jõuab paremal juhul (Päike on seniidis ja õhk selge ning tolmuvaba) ainult 0,8 sellest soojusest merepinnani, kuna 0,2 jääb õhku. Mida madalamal on Päike, seda pikem on ta kiirte tee õhkkonnas ja seda vähem soojusenergiat saab Maa pind.

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

Nii näiteks tekib 1 kg puusöe ärapälemisel, s. o. süsiniku ja hapniku ühinemisel söehappegaasiks (CO₂), ~8000 kilokalorit soojust. Veel rohkem soojust tekib vesiniku ühinemisel hapnikuga ehk veeks põlemisel, kus tekib iga kg vesiniku ärapälemisel ~34 000 kilokalorit soojust. Kütteinete põlemisel tekkinud soojust võime lugeda igapäevses elus peale Päikese kõige tähtsamaks soojusallikaks. Ka meie kehas tekib soojus toiduainete pikaldase põlemise, s. o. õhu hapnikuga ühinemise tagajärjel.

Põletusainete hindamisel tuleb silmas pidada nende kütteväärtusi, s. o. soojushulka, mis tekib 1 kg selle aine täielisel ärapälemisel. Toome järgnevas tabelis tähtsamate põletusainete kütteväärtused kg-kaloreis.

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

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

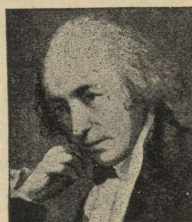
2. Oletame, et eelmises ülesandes õhu puuduliku juurdevoolu tõttu 10 kg ei põlenud täiesti ära, vaid muutus süsihapiidiks (CO). Mitu % läks selle läbi terve ahjutäie kütteväärtusest kaduma?

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

98. **Töö muundumine soojuseks.** Mehaanilist tööd võime kergesti muundada soojuseks. Selleks on meil igapäevsest elust küllalt näiteid. Hõõrume peopesi kiiresti teineteise vastu, siis tunneme, et



106. joon. Eskimod puurivad tuld.



107. joon. James Watt (1736—1819).

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. 106. joon. kujutab sellekohast puuri, mida eskimod tarvitasid tule saamiseks. Alasi läheb tagumisel kuumaks, väikesed kosmilised kehakesed, sattudes Maa õhkkonda, lähevad vastu õhku hõõrudes kuumaks, hakkavad helenduma ja põlevad sagedasti hoopis ära; jalgratta kummisid õhuga täites läheb pump kuumaks, traadi painutamisel painutamiskoht jne. Neist näiteist selgub, et mehaaniline töö muundub kergesti soojuseks.

1. **Too veel näiteid mehaanilise töö soojuseks muundumise kohta!**
2. **Meie esivanemad tarvitasid tule saamiseks nn. tulerauda. Seleta selle tarvitamist!**
3. **Seleta lähemalt 106. joon. kujutatud eskimote tule saamise viisi!**

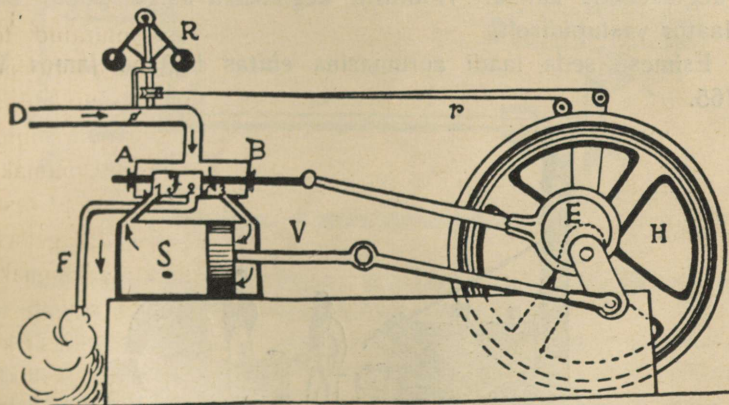
99. **Soojuse mehaaniline ekvivalent.** Nägime, et mehaaniline töö võib muunduda soojuseks. Täpsama sideme kulutatud töö hulga ja sellest tekkinud soojuse hulga vahel leidsid esimestena sakslane Robert Mayer (1814—1878) ja inglase James Prescott Joule (1818—

1889). Suure hulga täpsate katsete tulemusena võib öelda, et töö muundumisel soojuseks on alati **427 kgm** ühevääriline ehk ekvivalentne **1 kilokaloriga**, seepärast nimetatakse 427 kgm soojuse (1 kilokalori) mehaaniliseks ekvivalendiks.

Lihtsamal kujul võib toimetada soojuse mehaanilise 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 alg- ning lõpptemperatuuri, võime saadud andmeist arvutada soojuse mehaanilise ekvivalendi. Kuidas?

1. Väljenda soojuse mehaaniline ekvivalent ergides ja töö soojuse ekvivalent kalorites.
2. Kui suure igapäevse söekaevanduse-toodanguga (tonnides) on ühevääriline Narva kose energia (75 000 HP)?
3. Eesti vabariigi 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?

100. Aurumasin. Soojusenergia muundumine tööks toimub peasjalikult aurumasina ja plahvatusmootori abil.



108. joon. Aurumasina skeem.

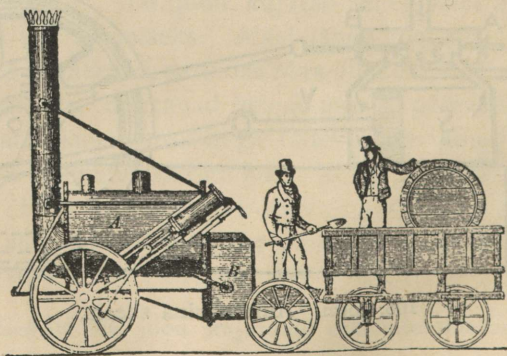
Aurumasina töötamine selgub skemaatilisest 108. joonisest. Toru *D* mööda juhitakse aur katlast aurukarpi *AB*, millest väljuvad kolm toru: torud 1 ja 3 ühendavad aurukarpi auru-silindriga *S*, toru 2 kaudu juhitakse läbitöötatud aur masinast

välja. Aurukarbis liigub tihedalt edasi-tagasi ja otaja *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 kannu paremale poole silindri otsa, kuna kolvi taga olev aur endist viisi toru 2 kaudu masinast välja juhitakse. Kolvi edasi-tagasi-liikumised antakse vântade 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 rihmade *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.

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



109. joon. Rocket.

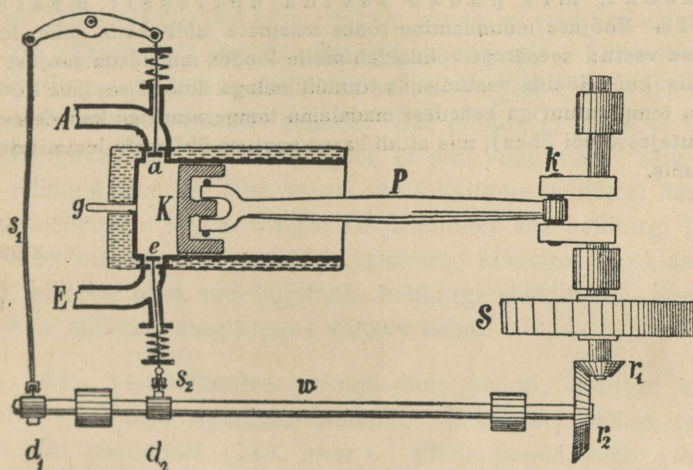
Esimene raudtee avati umbes sada aastat tagasi (1825) Inglismaal. 109. joon. kujutab esimeste vedurite ja raudteede ehitaja G. Stephensoni poolt a. 1829 ehitatud vedurit (Rocket), mis hulk aega püsis tarvitusel.

Kirjelda seda vedurit ja võrdle teda praeguste veduritega. Kust tuleb sõna vagun?

101. Plahvatusmootori töötamine selgub 110. joon. kujutatud skeemist. Jahutajaga ümbritsetud silindris liigub edasi-tagasi 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.

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

2) Kann 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 süüdetorus *g*.



110. joon. Plahvatusmootori skeem.

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.

Klappide *a* ja *e* avanemine toimub 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.

Nimeta plahvatusmootori head ja halvad küljed võrreldes aurumasinaga!

102. Soojuse tööks muundumise koefitsient Aurumasina ja plahvatusmootori abil muundame soojusenergiat mehaaniliseks tööks. Seejuures saame iga 1 kilokalori arvel 427 kgm tööd. Kuid kahjuks ei võimalda aurumasin ega plahvatusmootor kuigi suurt osa masinas tekitatud soojusest tööks muundada. Paremad aurumasinad muundavad tööks praegusel ajal ainult ~ 17 % kütteinest tekkinud soojusest, kuna kõige paremal (ideaalsel) juhul see protsent võiks tõusta 23-ni. Harilikud vedurid ja lokomotiivid ei muunda tööks rohkem kui ~ 8%. Plahvatusmootoritel on soojuse tööks muundumise % suurem (~25%).

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

Hääl.

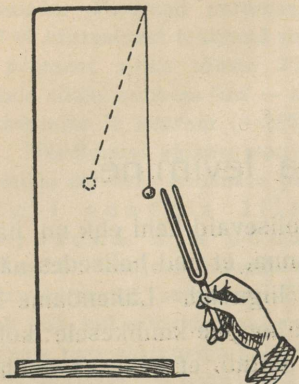
Hääle tekkimine ja levimine.

103. Hääle tekkimine ja allikad. 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: kokku puutumisel kargab kuulike eemale. See näitab, et heliseva helihargi harud liiguvad kiiresti edasi-tagasi, et nad võnguvad. Seda võnkumist võime nähtavaks teha seega, 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.

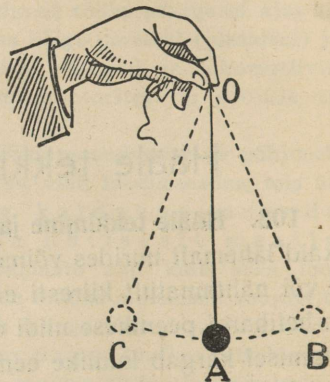
104. Võnkliikumine. Valmistame pendli. Selleks võib olla näiteks niidi otsa riputatud tinakuul. Tasakaalu olekus on pendli niidi siht püstloodis (112. joon.). Viime pendli keha (tinakuuli) tasakaalust välja punkti *B* ja laseme seal lahti: raskustungi mõjul liigub pendel tasakaaluseisangusse tagasi, kuid inertsit tõttu ei jää sinna seisma, vaid liigub edasi seisangusse *C*, mis on tasakaalu seisangust *A* vasemal pool peaaegu niisama kaugel, kui *B* paremal pool. Seisangust *C* liigub pendli keha nüüd tagasi seisangusse *B* jne. Nii-sugust liikumist nimetatakse võnkliikumiseks ehk *v õ n k u m i s e k s*. Pendli kohta öeldakse siis: pendel võngub.

Liikumist ühest äärmisest seisangust teise ja tagasi nimetatakse *t ä i s v õ n g u k s*; liikumist ühest äärmisest seisangust teise — *p o o l v õ n g u k s*. Äärmise seisangu kaugust tasakaalu seisangust nimetatakse *amplituudiks* ehk *ulatuseks*. Ajavahemikku, mille kestel pendel teeb ühe täisvõngu, nimet. *t ä i s v õ n g u* *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



111. joon. Võnkuv helihark.



112. joon. Pendli võnkumine.

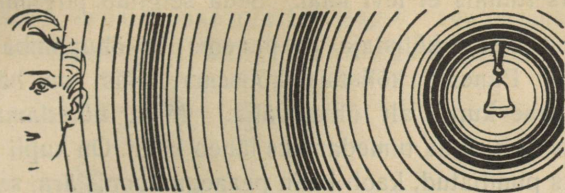
sõnadega, kui suur on võnkearv ehk sagedus, siis vaatame, mitu korda mahub täisvõnga kestus ühte sekundisse. Antud juhtumil saame: $1 : 0,5 = 2$, s. o. võnkearv on 2 ehk keha teeb 2 täisvõnku ühes sekundis. Ümberpöörult, on võnkearv näiteks 10, siis on täisvõngu periood 0,1 sek. Tähistades üldises kujus täisvõngu kestust sekundites ja võnkearvu vastavalt tähtedega T ja N , leiame, et $N = \frac{1}{T}$ ehk $T = \frac{1}{N}$.

Samuti kui pendel võngub vetruv varb, mille üks ots kinnitatud kruustangide mokaade vahele, jne.

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. Iga veelaine on moodustatud laine harjast, mis ulatub kõrgemale veepinna tasemest, ja laine põhjast, mis on veepinna tasemest madalam. Kaugust laine harja keskkohast kuni järgmise laine harja keskkohani nimetatakse **lainepikkuseks**.

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.



113. joon. Häälelained.

Häälelainete tekkimist õhus võib järgmiselt seletada. Kujutleme lah-tist toru, mis täidetud õhuga ja mille ühes otsas võngub mingi keha, näiteks terasplaat. Plaat, liikudes toru sissepoole, lükkab õhuosakesi edasi. See-juures ei liigu kogu õhusammast torus edasi, vaid plaadi lähedal olev õhk surutakse kokku. Kokkusurutud õhukiht paisudes surub teise õhukihi kokku, mis omakord surub kokku kolmanda õhukihi, jne. Liigub plaat tei-sele poole, siis tekib plaadi lähedal hõredam õhukiht. Sinna voolab õhk teisest kihist, kus omakord tekib hõrendus. Nii tekivad plaadi võnkumisel torus õhu tihendused ja hõrendused, mis levivad siis torus edasi. Need tihen-dused ja hõrendused moodustavadki häälelained. Hääle lained on pikilaine-tamine, sest siin võnguvad õhuosakesed laine levimissuunas. Iga plaadi täisvõnk tekitab õhus seega ühe tihenduse ja ühe hõrenduse, kokku moodus-tavad need ühe häälelaine. Kaugus ühe tihenduse keskkohast naabertihen-duse keskkohani on hääle lainepikkus.

106. Hääle kiirus. Enne kui kuuleme veduri vile, 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 hiljemini. Need ja teised säärased tähelepanekud tõendavad, et hääl ei levi õhus mitte silmapilkselt, vaid tarvitab seks aega. Mõõtmised näitavad, et hääle levimiskiirus õhus on $332 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ehk $\frac{1}{3} \frac{\text{km}}{\text{sek}}$, s. o. hääl levib edasi õhus igas sekundis 332 meetrit.

Ülaltoodud hääle levimiskiirus õhus on õige 0° C t^o-l. Tempera-tuuri tõusmisega suureneb hääle kiirus. Hääle levimiskiirus vedelais ja kõvades keha-des on märksa suurem kui õhus. Nii näiteks on hääle kiirus vees $1450 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, rauds 5100 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ja kuusepuus 5200 $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$.

Hääle levimine võib toimuda ainult elastses keskkonnas, näiteks õhus, vees, rauas jne. Harilikult kuuleme häält õhu kaudu. Kuid hääl võib levida ka teistes kehaosades, nagu vees, puus, rauas ja mujal. Ainult tühjas ruumis ei levi hääl. Seda selgitab järgmine katse.

Võtame elekterkõlistaja ja paneme ta õhupumba kupli alla (114. 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 kupli alune 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 mingisugune aine, mis neid üksteisega seob, näiteks õhk. Tühjas ruumis häält ei ole.

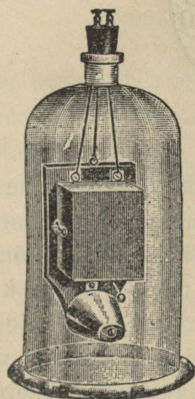
1. Kui kaugemale levib hääl õhus 3, 6, 10 sek. jooksul?
2. Valguse kiirus on $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Võrdle seda hääle kiirusega!
3. Katsu mõõta hääle kiirust! Kaks vaatlejat asugu teineteisest 1 km kaugusele. Hääle ja valguse tekitajaks võib kasutada paukreoolvrit.
4. Mitu korda levib hääl vees (rauas, klaasis) kiiremini kui õhus?
5. Kui kaugel on pikne, kui müristamine kuuldub 6 sek. pärast välgu-
löömist?
6. Välg sähvatas 6 km kaugusel. Millal kuuldub müristamine?
7. Püssikuuli kiirus on umbes $500 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kas jänes kuulis püssi pauku,
mille kuul tema silmapilkselt surmas?
8. Kuidas mõjub tuul hääle kiirusele? Kas on olemas hääle kiirus hääle
kõrgusest?

107. Hääle kõrgus. Hääli, milles on muusikaline kõla, nagu viiuli, kandle, pasuna, laulja, ööbiku jne. hääl, nimetatakse **helideks** ehk **toonideks**. Muusika teeb tegemist ainult helidega. Heli vastandiks on müra, kära, mürin, kohin, krõbin jne. Siin pole võimalik tabada ühtegi kindlat, pikemat aega vältavat selget tooni.

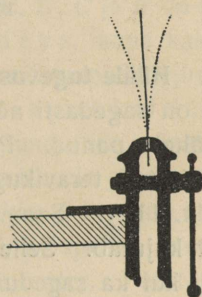
Helisid võime eraldada üksteisest kõrguse poolest. Vaatame lähemalt, millest on olemas heli kõrgus.

Kinnitame vetruva teraslehe või sukavarda kruustangide mokkade vahele, nii et suurem osa sellest välja ulatuks. Painutame teraslehe vaba otsa ja laseme siis lahti: terasleht hakkab võnkuma. Kui lühendame teraslehe vaba otsa, siis märkame, et ta silmanähtavalt kiiremini hakkab võnkuma. Niiviisi teraslehe vaba otsa lühendades

paneme lõpuks tähele, et ta võnkudes tekitab häält. Katse näitab ka, et mida lühemaks teeme võnkuva teraslehe osa, seda kiiremini ta võngub ja seda kõrgema heli ehk tooni ta annab. Seega heli kõrgus oleneb heliseva keha võnkearvust. Sageli avaldatakse võnkearv hertz'ides: võnkearv on 1 hertz, kui võnkuv keha teeb 1 täisvõngu 1 sekundis.



114. joon. Hääli ei levi õhuta ruumis.



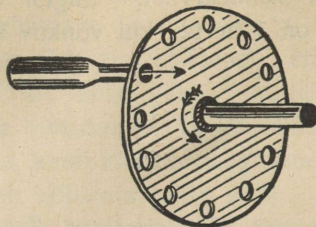
115. joon. Teraslehe võnkumine.

Tooni võnkearvu võib määrata sireeni abil. Lihtsamakujuline sireen koosneb papp- või plekk-kettast, mis varustatud kontsentriliste aukuderidadega. Pannes sireeni ketta keskelt läbiva telje ümber pöörlema ja puhudes peenikese toru kaudu õhku aukude reale, kuuleme heli, mille kõrgus muutub reas olevate aukude arvuga ja ketta kiirusega. Iga kord kui juhtub sireeni auk toru kohale, pääseb õhuvool kettast läbi ja selle taga olev õhk saab tõuke. Nende tõugete mõjul tekibki heli.

Muusikas tarvitatava normaal-a võnkearv on 435. Inimese kõrvale kuuldava madalaima tooni võnkearv on umbes 16, kuna kõrgeima kuuldava tooni võnkearv on umbes 20 000. Need piirid on aga individuaalsed ja ligikaudsed. Inimese vanemaks saades langeb ülemine piir tunduvalt, umbes 13 000-le. Muusikas tarvitatakse helisid, mille võnkearv on umbes 30 kuni 5000.

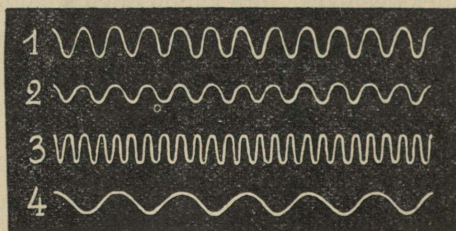
Muusikas tarvitusel olevad helid järjestatakse teatavas korras nende kõrguse järgi. Niisuguseid korraldatud heliridu nimetatakse

heliredeleiks. Nn. duur-heliredel koosneb seitsmest helist, mis kannavad nimetusi priim, sekund, terts, kvart, kvint, sekst ja septim. Järgmise kaheksanda heli võnkearv on 2 korda suurem ja nimetatakse põhitooni oktaaviks.



116. joon. Sireen.

108. Hääle tugevus. Heliseva helihargi võnkumise laius ehk amplituud on sagedasti nõnda väike, et võimatu on võnkumist palja silmaga tähele panna. Paneme helihargi helisema ja tõmbame ta külge kinnitatud teravikuga nõrgist klaasi mööda, nagu kirjeldatud eespool (lk. 111). Saame jäljena lainelise joone (117. joon.), mis võnkumist kujutab. Selle joone põhjal võime otsustada võnkumise amplituudi kui ka sageduse üle. Mida tugevamini heliseb helihark, seda suuremad on tema amplituudid. Heli nõrgenedes väheneb amplituud. Tähendab, hääle tugevus oleneb heliseva keha võnkumise amplituudist ja suureneb viimase suurenemisega. Helisevast kehast kaugemale minnes väheneb hääle tugevus, järelikult ka võnkumise amplituud.



117. joon. Helihargi võnkumiste jäljed tugeva (1), nõrga (2), kõrge (3) ja madala (4) heli puhul.

109. Hääle kõlavärv ehk tämbri. 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, keskkohal on aga tugevas võnkumises. Iga keele osake võngub seejuures risti keelega (transversaalne võnkumine). Niiviisi tekib keele põhitoon.



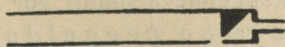
118. joon. Keele võnkumine osade kaupa.

Kuid keel võib võnkuda ka osade kaupa. 118. joonis kujutab keele võnkumist neljas osas. Punktides *A*, *E*, *D*, *C* ja *B* on keele osad paigal, neid nimetatakse sõlm punktideks, kuna kaks naaberosa võnguvad vastupidistes suundades. Punkte, mis seejuures võnguvad suurima amplituudiga, nimetatakse paispunktideks. Keelt võib panna osade kaupa võnkuma, kui puudutada võnkuvat keelt näpuga vastavast kohast. Helid, mis tekivad keele osade võnkumisel, on kõrgemad kui põhitoon, neid nimetatakse ülemtoonideks. Põhitooni annab võnkumine, mille puhul paispunkt asetseb keele keskel, kuna mõlemad sõlmepunktid on keele otstes. Põhitooni saadavad alati ülemtoonid.

Puhudes toru (katseklaasi, võtme, putke jne.) lahtise ava ees, kuuleme heli. Korraates seda mitmesuguste pikkustega torudega, leiame, et mida pikem on toru, seda madalam on heli.

Kirjeldatud katseis ei helise mitte torud, vaid torudes olevad õhusambad. Käega toru seinu katsudes ei märka me mingit liikumist.

Puhkpillides ehk viledes tekitataksegi hääl sellega, et pannakse neis olevad õhusambad võnkuma.



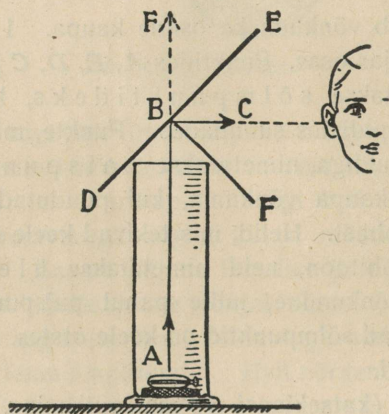
119. joon. Huulvile.

Viledes on tähtsamad huul- ja keelvile. Oreli huulvile kujutab 119. 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 põhi-
toonil. Et iga inimese hääleorganid on isesugused ja võivad iseviisi
kaasa heliseda, sellest tulebki, et igal inimesel on oma isesugune
kõlavärv.

110. Hääle peegeldumine. Kaja. Mööda põrandapinda vee-
rema pandud kummipall vastu seina põrgates liigub tagasi teatavas
kindlas suunas. Katsu määrata katseist, missugune see on? Kuidas
toimub palli tagasipõrkamine tennis-, koroon- ja piljardimängus?



120. joon. Hääle peegeldumine.

Kui veelainend 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 jäeldame nähtusest, et huigates kaugeloleva müüri või metsa ees kostab hääle seal **kajana** tagasi. Kaja on peegeldunud häälel.

Hääle levimissuuna muutumist võime kergesti tähele panna järgmises katses. Asetame lauale taskukella ja katame ta kõrge toruga (120. joon.). Kella tiksumise hääle tungib vabalt üles suunas **AF**. Rõhtsuunas eemal pole tiksumist kuulda.

Asetame toru avause kohale joonisel kujutatud viisil mõne tasase sileda pinna, näiteks raamatu, tahvli, lauatuiki; nimetame seda **peeglik**s. Nüüd võime kuulda taskukella tiksumist ka torust eemal rõhtsuunas **BC**.

Häälelained, pörgates vastu peeglit *DE*, muudavad oma levimisuunda ehk p e e g e l d u v a d. Katsed näitavad, et hääle peegeldumine toimub samal viisil kui kummipalligi puhul, s. o. langemissuund ja peegeldumissuund moodustavad peegli tasapinnale tõmmatud ristjoonega võrdsed nurgad *ABF* ja *FBC*. Siit selgub, et kaja pole muud midagi, kui peegeldunud hääl.

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 $\frac{1}{9}$ 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 kaugemal kui 20 m kaugusel.

Väiksema kauguse puhul kuuleme kaja esialgse hääle pikendusena. Niisugust kaja nimetatakse j ä r e l k õ l a k s (v a s t u - k õ l a). 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 muutub hääl segaseks (segav vastukõla tühjades kirikutes).



121. joon. Kõnetoru.

Hääle peegeldumise nähtusel põhinevad k õ n e- ja k u u l d e - t o r u. Kõnetorus muutuvad häälelained peegeldumise teel toru seintel peaaegu ühesuunalisteks.

1. Katsu seletada kuuldetoru tegevust!
2. Kus kasutatakse kõne- ja kuuldetorusid?

Resonants.

111. Pendlite resonants. Sidudes kaks ühepikkust pendlit isekeskis nõrgalt niidiga ja pannes ühe neist võnkuma, siis hakkab ka teine võnkuma, sest esimene pendel tõmbab teist kaasa samas taktis. Seetõttu kandub võnkumine esimeselt pendlilt teisele, kuni esimene pendel täielikult seisma jääb. Nüüd kandub võnkumise energia tagasi. Kui aga pendli pikkused pole võrdsed, siis ei tõmba esimene pendel teist pendlit õiges taktis, mistõttu teine pendel ei hakkagi võnkuma.

112. Hääle resonants. Samasugune võnkumiste ülekandumine toimub ka ühesuguse võnkekestusega (ühekõrgusega) heliharkidel, kui üks neist võnkuma panna. Seega kandub võnkumine ühelt kehalt teisele, kui mõlema keha oma võnkekestused on võrdsed. Sel puhul öeldakse, et võnkuvad kehad on *h ä ä l e s t a t u d* ehk *r e s o n a n t s i s* üksteisega. Nähtust ennast nimetatakse **resonantsiks**.

Resonantsi puhul võivad ka õhusambad helisevale kehale kaasa võnkuda.

Hoides näiteks võnkuvat heliharki lahtise klaasilindri kohal, hakkab silindris olev õhk kaasa helisema, kui õhusammas omandab vee juurdevalamisega paraja kõrguse. Õhusamba kaasahelisemisega muutub heli tunduvalt tugevamaks.

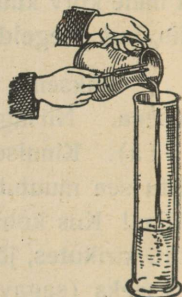
Et helihargi võnkumine paremini kuuldav oleks, seks asetatakse ta nn. resonantskastile, milles olev õhusammas temaga kaasa võngub.

Kui lahtise klaveri ees laulda, missugused keeled hakkavad siis kaasa võnkuma?

Mitmed kehad, nagu õhukesed membraanid ja plaadid, võnguvad kaasa igale võnkumisele, vaatamata nende võnkesagedusele. Nii-sugust kaasavõnkumist nimetatakse *s u n d v õ n k u m i s e k s* (telefonimembraanid, laua kaasavõnkumine, kuhu pandud helisev helihark, jne.).

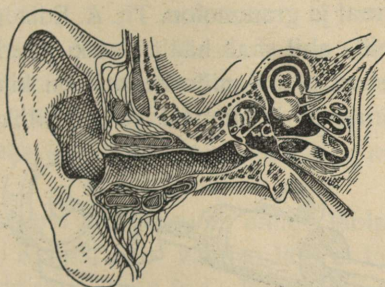
Inimese hääl ja kuulmine.

113. Inimese hääleorgan. Inimese hääleorgani tähtsamaks osaks on kaks vetruvat lihast, mida nimetatakse häälepaelteks. Harilikus



122. joon.
Õhusamba
resonants.

olekus on häälepaelad lõdvad, seetõttu pääseb neist sisse- ja välja- hingatav 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 kõlavärv muutuda. Et igal inimesel on hääleorganid isesugused, sellest tulebki, et igal inimesel on erisugune hääle kõlavärv.



123. joon. Kõrva läbilõik.

114. 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 avauseid peopesadega! Kuidas muutub hääletugevus?

Kuulmekäigu seintes asetsevate näärmete poolt eritatav kõrva-vaik 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 alus. Nad on omavahel ühendatud.

Vasar kinnitub kuulmenaha külge, jalus toetub vastu sisekõrva viivat piklikku akent.

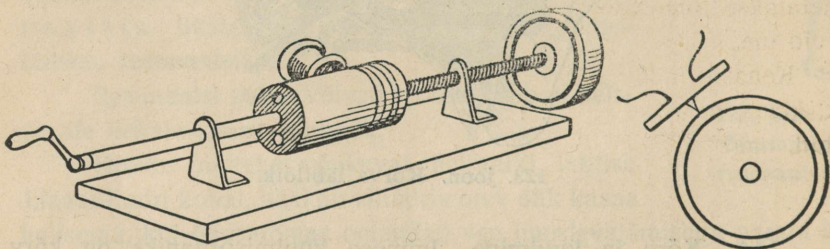
Sule suu ja pigista sõrmedega nina kinni! Tee katset välja hingata!
Mida tunnend?

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 keeruka 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 peajule, ja meie kuuleme häält.

115. 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 kinnitatud terav nõel. Nõel puudutab pöörlevat ja ühtlasi ka edasiliikuvat, sellekohasest



124. joon. Fonograaf.

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 silindrile üles kirjutatud, siis paneme nõela otsa 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.

Üleskirjutatud hääle kuuldavale toomiseks korraldatud riista kutsutakse **grammofoniks**. Grammofonis liigub grammofoninõel nn. grammofoniplaadi lainelisel soonekesel. Nüüdisaegse grammofoniplaadi soonekese sügavus on seejuures muutusetu, nõel võngub soonekeses vasemalt paremale ja paremalt vasemale.

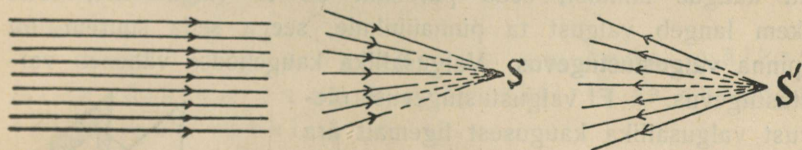
Valgus.

Valguse levimine.

116. 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 kehasid, mis nähtavaks muutuvad siis, kui neile langeb valgus teistelt kehadelt, nimetatakse **tumedateks** kehadeks, nagu toas olev mööbel, kuu, planeedid jne.

Kehasid, 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.



125. joon. Kiirte kimbud: a — paralleelne, b — koonduv, c — hajuv.

117. Valguse levimine ja levimiskiirus. Lamp põleb laual ja valgustab tervet tuba. Samuti valgustab Päike poolt maakera korruga. On valgusallika ümber läbipaistev **keskkond**, nagu näit. õhk, siis levib temas valgus valgusallikast igas suunas. Ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt, sest meie ei näe asju, mis maja nurga taga, niisama ka läbi kõvera toru. Valguse sirgjooneline levimine tuleb nähtavale ka, kui päike paistab tупpa, kus on tolmu või suitsu. Sirgjoont, mille suunas valgus levib, nimet. **valguskiireks**. Kogu valguskiiri moodustab **kiirtekimbu**. Joon. 125 a

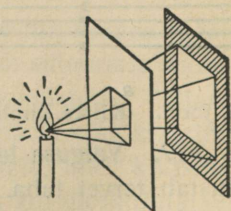
kujutab paralleelset, joon. 125 b koonduvat ja joon. 125 c hajuvat kiirtekimpu. Punkte S ja S' kutsutakse koonduva ja vastavalt hajuva kiirtekimbu tipuks. Iga helendava ja valgustatud keha punkt saadab välja hajuva kimbu valguskiiri, mistõttu ta muutub nähtavaks.

Igapäevseist 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. Täpsad 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.

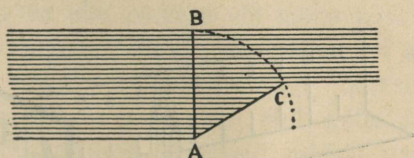
1. Kuu on maakerast 384 000 kilomeetri kaugusel. Mitu sekundit tarvitab valgus sinnajõudmiseks?
2. Kui kaugel on meist kinnistäht, millest jõuab valgus meieni 100 aasta kestel.
3. Mitu korda on valguskiirus suurem kui hääle kiirus?
4. Mitu korda jõuaks valgus 1 sekundi kestel ümber maakera käia?

118. Pinna valgustustugevus. Mingi valgusallika, näit. lambi, ümber olevaid asju tähele pannes leiame, et nad on väga mitmel määral valgustatud. Lugeses raamatut ja hoides teda lambist mitmesuguses kauguses, näeme: mida väiksem on raamatu kaugus lambist, seda paremini on ta valgustatud, seda rohkem langeb valgust ta pinnalihikule, seega seda suurem on ta pinna **valgustustugevus**. Valgusallika kaugenedes väheneb valgustustugevus. — Et valgustustugevuse oleuvust valgusallika kaugusest ligemalt ära määrata, selleks teeme järgmise katse. Võtame valgusallika, näit. küünla, ja tüki pappi, millel üks pool valge paberiga üle kleebitud ja keskele ruuduline auk tehtud (joon. 126). Nüüd asetame küünla valge ekraani ette ja ruudulise auguga papitüki ekraani ja küünla vahele nõnda, et valge paberiga ülekleebitud külge oleks küünla pool. Valgus tungib papitüki august läbi ja annab ekraanil valgustatud ruudu. Ruudu külge pikkust ekraanil mõõtes leiame, et ta on väljalõigatud ruudu küljest 2 korda suurem, järelikult on



126. joon.
Pinna valgustustugevuse
olevust valgusallika
kaugusest.

ekraanil oleva valgustatud ruudu pind 2×2 , s. o. 4 korda väljalõigatud ruudu pinnast suurem. Tähendab, valgushulk, mis papitükil üht ruutühikut pinda valgustab, valgustab ekraanil, mis künplast 2 korda kaugemal, nelja niisugust ruutpinna ühikut, seepärast peab ekraani valgustustugevus papitüki valgustustugevusest 4 korda väiksem olema. Ekraani künplast 3 korda kaugemale asetades kui papitükki, leiame, et valgustustugevus 3×3 , s. o. 9 korda väheneb, jne. Üldiselt võime öelda, et ekraani kaugenedes valgusallikast 2, 3, 4, 5... korda valgustustugevus väheneb vastavalt 4, 9, 16, 25... korda, s. o. valgustustugevus väheneb pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga.



127. joon. Valguskiired langevad pinnale risti ja viltu.

Peale kauguse on valgustamisel tähtis, missuguse nurga moodustavad valguskiired valgustatava pinnaga. Joon. 127 selgub, et antud pind saab kõige rohkem valguskiiri, kui ta on asetatud kiirte suunaga risti (asend AB). Asendis AC langeb niisama suurele pinnale vähem kiiri, sest nüüd langevad kiired pinnale viltu ja muist kiiri läheb antud pinnast mööda; järelikult on nüüd valgustustugevus väiksem.

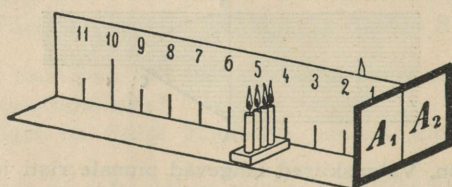
Seega valgustustugevus on seda väiksem, mida väiksem on nurk valguskiirte ja valgustatava pinna vahel.

119. Valgusallika tugevus. Päike annab rohkem valgust kui Kuu, küünal rohkem kui tuletikk, jne. Tähendab, valgusallikad võivad väljasaadetava valguse hulga ehk **valgustugevuse** poolest olla väga mitmesugused. Tahame valgusallikaid nende tugevuse poolest üksteisega võrrelda, siis peab meil olema sellekohane valgustugevuse ühik. Valgustugevuse ühikuks on võetud Hefneri küünal, s. o. valgustugevus, mille annab kindla kokkuleppe põhjal ehitatud lamp. Hefneri küünla valgustugevus on ligikaudu (0,8) võrdne 2 cm läbimõõduga parafiinküünla leegi valgustugevusega, kui leegi kõrgus on 5 cm (normaalküünal). Hefneri küünal on aluseks ka pinna val-

gustustugevuse ühikule. Valgustustugevuse ühikuks on **luks** (lühend: Lx), s. o. säärane pinna valgustustugevus, mille annab valgusallikas 1 Hefneri küünal 1 m kaugusel oleval pinnal, kui valguskiired langevad pinnale risti. Näiteks kirjutamisel ja lugemisel on tarvilik valgustustugevus 40—50 luksi.

Tubade valgustamiseks tarvitataivate lampide valgustugevus on tavaliselt 5 kuni 75 Hefneri küünalt.

120. Fotomeetrid. Mitmesuguste valgusallikate valgustugevuse võrdlemiseks tarvitatakse **fotomeetreid**. Lihtsamaid fotomeetreid kujutab 128. joonis. See koosneb kahest tuhmklaasist (või õlitatud paberist), mis lahutatud üksteisest läbipaistmatu seinaga, millel



128. joon. Lihtne fotomeeter.

märgitud astmik. Võrreldavad valgusallikad, näiteks küünal ja petrooleumilamp, asetatakse teine teisele poole vaheseina niisugustele kaugustele tuhmklaasist, et mõlemad tuhmklaasid oleksid ühetugevuselt valgustatud. Kui seejuures lambi kaugus tuhmklaasist on 2 korda suurem kui küünla kaugus, siis on lambi valgustugevus $2 \times 2 = 4$ korda suurem kui küünlal.

Täpsamaid tulemusi annab **Bunseni fotomeeter** (129. joon.). See koosneb valgest paberilehest, mille keskele tehtud õliplekk. Võrreldavad valgusallikad paigutatakse üks ühele, teine



129. joon. Bunseni fotomeeter.

teisele poole paberit ja nihutatakse neid seal edasi-tagasi, kuni õliplekki pole enam näha. Sel puhul on paber valgustatud mõlemalt poolt ühe tugevusega.

1. Lambi ja Hefneri küünla kaugused Bunseni fotomeetrist, millel pole enam näha õli plekki, on 4 m ja 1 m. Kui suur on lambi valgustugevus Hefneri küünaldes?

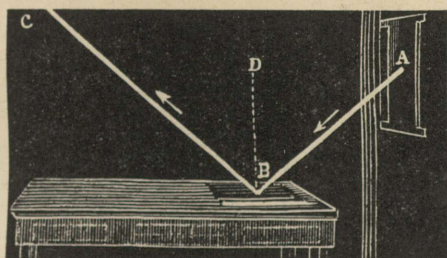
2. Missugusel kaugusel valgustab 50-küünlaline lamp seina niisama tugevalt kui 25-küünlaline 20 cm kauguselt.

3. 50-küünlaline lamp asetseb seinast 75 m kaugusel. Kui suur sel puhul on suurim valgustustugevus seinal?

Valguse peegeldumine.

121. 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 nii viltu peeglipinnaga, et valguskiired libiseksid mööda papi pinda. Olgu seejuures AB (130. joon.) langev kiir, BC peegeldunud kiir ja DB



130. joon. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

ristjoon peeglile kiire langemispunkti. 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 2) langev kiir, peegeldunud kiir ning ristjoon peeglile kiire langemispunkti on ühes ja samas tasapinnas.

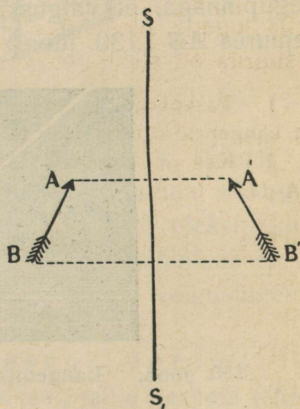
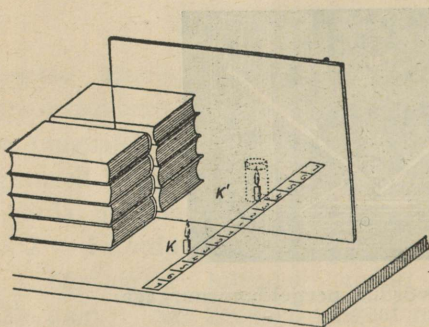
1. Kui langemisnurk on 10° , 20° , 40° , kui suur on siis peegeldumisnurk?

2. Valgus langeb peeglile risti. Kuidas peegeldub ta siis tagasi?

3. Tasapeeglile langevad paralleelsed kiired. On need paralleelsed ka pärast peegeldumist?

122. **Valguse hajumine karedal pinnal.** Harilikult pole 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 igauks eri suunas, siis peegeldavad nad ka nendele langeva valguse igas suunas laiali. Seepärast ei anna karedad asjad mingisugust kujutust, vaid **hajutavad** valgust. Hajunud valgus võimaldab meile ümberolevate asjade nägemise.

123. **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, seks korraldame järgmise katse (131. joon.).



131. joon. Kujutis tasapeeglis. 132. joon. Noole kujutis tasapeeglis.

Asetame mõõterihma (pabeririba cm-jaotisega) lauale. Risti mõõterihmaga seame ta keskkohale tasase klaasplaadi. Klaasplaadi ette mõõterihma 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. Nihu-

tades K peegli suhtes lähemale või kaugemale nihkub ka K' lähemale või kaugemale.

Tasapeegli ees oleva küünla leegi kujutis tasapeeglis on niisama kaugel peegli taga kui küünlaleek peegli ees ja mõlemad asetsevad sirgel, mis on risti peegli pinnaga. 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 peegil peegeldunud kiirte pikendused. Niisugust näilist kujutist nimetatakse **ebakujutiseks**.

Asetseb peegli ees mitte punktikujuline valgusallikas, vaid ulatusega ese, näit. nool (132. 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.

1. Tasapeegel nihutatakse vaatejast 15 cm võrra kaugemale. Kui palju kaugenes kujutis vaatejast?

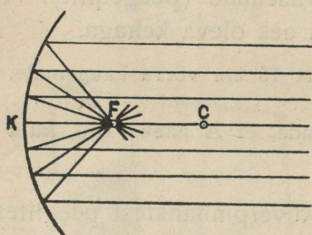
2. Kas on võimalik peeglit nii seada, et A näeks B -d, kuid B ei näe A -d?

124. Nõgus ja kumer peegel. Kõverpinnalistest peeglitest on eriti tähtsad kerapinnalised ehk sfäärilised peeglid, s. o. peeglid, mille lihvitud peegli pinnad moodustavad osa kerapinnast. Nõguspeegil on peegli pinnaks kera sisepind, kumerpeegil — kera välispind.

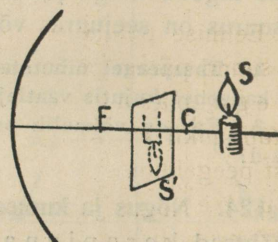
125. Nõguspeegel. Nõguspeegli keskpunkti nimetatakse peegli keskpunktiks, peegli pinda moodustava kerapinna keskpunkti, mis asetseb väljaspool peegli pinda, nimetatakse kõveruse keskpunktiks, kerapinna raadiust kõveruse raadiuseks. Sirge, mis ühendab nõguspeegli keskpunkti kerapinna kõveruse keskpunktiga, nimetatakse nõguspeegli optiliseks teljeks. Selge on, et kiir, mis langeb nõguspeeglile optilise telje või kõveruse raadiuse suunas, peegeldub samas sihis tagasi.

Langeb paralleelne kiirtekimp rööbiti optilise teljega nõguspeeglile, 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 (133. joon.) nimetatakse tulipunkti kauguseks. Sellekohased mõõtmised näitavad, et tulipunkti kaugus on võrdne kõveruse poole raadiusega. Kokkuvõttes seega: optilise teljega paralleelsed kiired pärast peegeldumist nõguspeeglil koonduvad tulipunkti, mis asetseb peeglist kõveruse poole 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.



133. joon. Nõguspeegli tulipunkt.



134. joon. Küünla leegi kujutis nõguspeeglis.

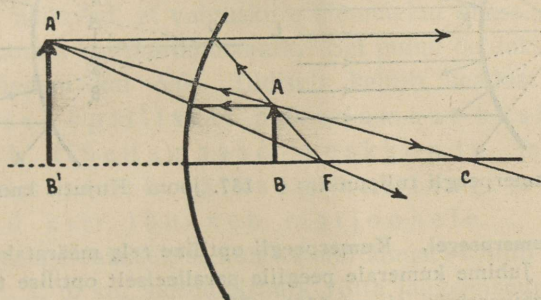
Võtame põleva küünla S ja asetame ta nõguspeegli ette väljaspool keskpunkti C (joon. 134). Tulipunkti F ja keskpunkti C vahel väikest ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünla kujutise. Selles kujutises lõikuvad tõepoolest valguskiired, mistõttu on võimalik teda näha ekraanil. Seepärast nimetatakse seda kujutist tõeliseks. Antud puhul 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.

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.



135. joon. Kujutise graafiline leidmine nõguspeeglis.

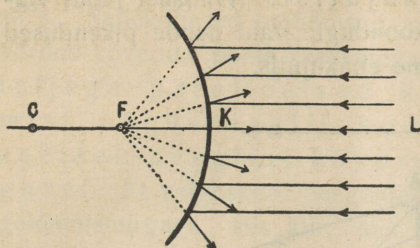
Eelmise põhjal on meil teada kolme valguspunktist lähtuva kiire suund pärast peegeldumist nõguspeeglis, nimelt: 1) optilise teljega paralleelne kiir, mis läheb pärast peegeldumist läbi tulipunkti F ; 2) läbi tulipunkti minev kiir, mis on pärast peegeldumist paralleelne optilise teljega, ja 3) kiir, mis langeb nõguspeeglile kõveruse raadiuse suunas, 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 lõikepunkti. Valides neisi 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 prožektorites ehk helgiheitaiais. Siin asetatakse nõguspeegli tulipunkti tugev valgusallikas, mistõttu peeglil peegeldunud kiired on ligikaudu paralleelsed ega haju. Prožektoreid kasutatakse tuletornides, laevadel ja mujal, kus taetakse juhtida valgust kauge maa taha. Siin tarvitatakse tugevaid elektrivalgusallikaid. Väiksemaid prožektoreid tarvitatakse lampidel.

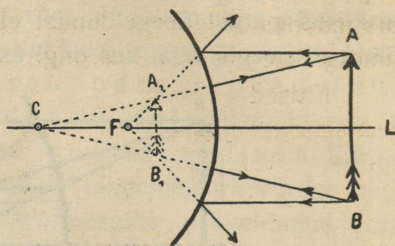
1. Leia graafiliselt eseme kujutis nõguspeeglis, kui ese asetseb peeglist kaugemal kui tulipunkt?

2. Ese asetseb nõguspeeglist, mille raadius on 25 cm, 20 cm kaugusel. On sel puhul eseme kujutis tõeline või eba?

3. Kui katta pool nõguspeegli pinda musta paberiga kinni, millist mõju avaldab see kujutisesse?



136. joon. Kumerpeegli tulipunkt.



137. joon. Kujutis kumerpeeglis.

127. **Kumerpeegel.** Kumerpeegli optiline telg määratakse samuti kui nõguspeegli. Juhime kumerale peeglile paralleelselt optilise teljega paralleelse kimbu päikesekiiri (joon. 136). Siin peegeldunud kiired ei koonu, vaid hajuvad. Kõik peegeldunud kiired näivad väljuvat punktist F , mis asetseb optilisel teljel raadiuse KC keskkohas ja mida nimet. kumerpeegli ebafookuseks ehk ebatulipunktiks. Ümberpöörduvalt: kiired, mis kumerale peeglile langesid on sihitud ebafookusse, lähevad pärast peegeldumist paralleelselt optilise teljega. Katsed näitavad, et kumerpeegli ees olevast valguspunktist väljunud ja kumerpeegli peegeldunud kiired hajuvad, ja peegli ees vaatlejale näib, nagu tuleksid peegeldunud kiired punktist, mis asetseb peegli taga. See punkt on antud valguspunkti ebakujutis. Sama kehtib ka iga teisekujulise eseme kohta. Kujutise leidmiseks kumerpeeglis võib tarvitada samu kolme kiirt, mis nõguspeegli puhul.

Kujutis kumerpeeglis on alati ebakujutis, päripidine ja vähendatud.

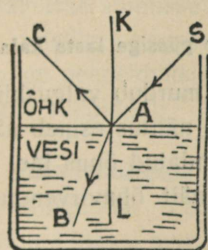
Valguse murdamine.

Juhime pimedas toas õhust veepinnale viltu peenikese paralleelkiirte kimbu SA (joon. 138). Osa kiiri, jõudes veepinnani lange mispunktis 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 murdamine toimub langemispunktis A kahe keskkonna, antud juhtumil õhu ja vee lahutuspinnal. Nähtust, kus valguskiired ühest läbipaistvast keskkonnast

teise tungides muudavad keskkondade lahutuspinna oma esialgset suunda, nimetatakse **valguse murdumiseks**. Kiirt **SA** nimetatakse **langevaks**, kiirt **AB** **murdunud kiireks**. Tõmbame keskkondade lahutuspinna langemispunkti **A** ristjoone **KL**. Nurki **SAK** ja **BAL**, mis moodustavad ristjoon **KL**, langev kiir **SA** ja murdunud kiir **AB**, nimetatakse vastavalt **langemis-** ja **murdumisnurgaks**.

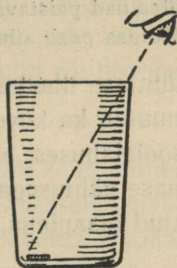
Katsed näitavad, et valguskiire üleminekul õhust vette on langemisnurk suurem kui murdumisnurk. Sel puhul öeldakse, et vesi on optiliselt tihedam kui õhk. Üldiselt kehtib seadus: valguse murdumisel optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda minemisel on murdumisnurk väiksem kui langemisnurk ja murdunud kiir läheneb ristjoonele.

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.



138. joon.

Valguse murdumine.



139. joon.

Vastavad katsed näitavad, et langev kiir ja murdunud kiir on langemispunkti lahutuspinna lähemal ja samal tasapinnal 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 üle-

minekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda on alati murdumisnurk väiksem kui langemisnurk.

Snellius leidis, et langemisnurga α ja murdumisnurga β siinuste suhe on antud keskkondade puhul muutusetu ehk jääv. Nii on valguskiire üleminekul õhust klaasi suhe $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ alati $2/3$, vaatamata, kui suured on seejuures α ja β . Suhe $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ nimetatakse murdumisnäitajaks ja see antakse tavaliselt õhu suhtes. Nii on klaasi murdumisnäitaja õhu suhtes $3/2$, vee suhtes $4/3$, teemandi suhtes $2^{1/2}$, jne.

Valguse murdumisega seletuvad mitmed nähtused: viltu vette pistetud kepp näib veepinnal murtuna, veega täidetud ämbri põhi kõrgemal kui ta tõepoolest on, jne.

Viimast nähtust selgitab ka järgmine katse. Paneme tühja teeklaasi põhja mingi väikese asja, näiteks 10-sendise raha. Asetame silma nõnda, et me raha otseselt ei näeks — ta jääb klaasi ääre taha (139. 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 ka kõveraks. Niisugune nähtus esineb näiteks ebaühtlases soolalahuses, ebaühtlaselt sojendatud õhus jne.

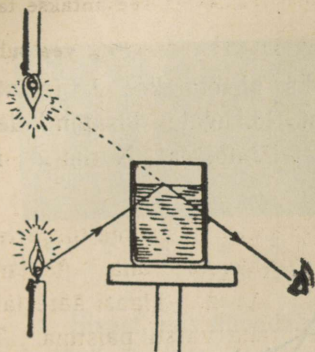
Viimase nähtusega on seletatav ka näit. õhuvirvendus päikesest kuumendatud maapinna ja katuste kohal.

127. Täielik sisepeegeldus. Kui valguskiir läheb optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda, siis on murdumisnurk suurem kui langemisnurk. Langemisnurka suurendades jõuab murdumisnurk enne 90° -ni kui langemisnurk. Veel suurema langemisnurga puhul pole murdumine enam võimalik, sest valguskiir ei pääsegi hõredamasse keskkonda. Sel puhul peegelduvad valguskiired tihedamasse keskkonda tagasi.

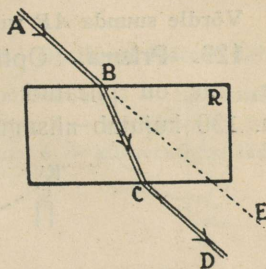
Et niisugusel juhtumil kõik kiired lahutuspinnal vette tagasi peegelduvad, nimetatakse seda nähtust **täielikuks sisepeegelduseks**.

Klaasist õhku minnes algab täielik sisepeegeldus, kui langemisnurk on 42° , vee ja õhu puhul 48° .

Seega täielik sisepeegeldus on võimalik ainult valguskiire üleminekul optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse ja nimelt siis, kui langemisnurk läheb üle teatava piiri. Täielikku sisepeegeldust kasutatakse mitmete optiliste riistade ehitamisel.



140. joon. Täielik sisepeegeldus.



141. joon. Valguskiirte murdmine ja kõrvalekaldumine tasaparalleelses plaadis.

Täieliku sisepeegeldusega on seletatav õhu peegeldus (fata-morgaana). Kui maapinnal olevad õhukihid on kuumemad kui ülemised, siis võivad valguskiired üleminekul tihedamast ülemisest õhukihist hõredamasse alumisse õhukihti väga suure langemisnurga tõttu peegelduda täieliku sisepeegelduse seaduse järgi. Seetõttu näib vaatlejale, nagu peegelduksid kaugel olevad puud või hooned olematu järve või mere veepinnal.

128. Tasaparalleelne plaat on läbipaistev keha, millel on kaks paralleelset välispinda. Langeb valguskiir säärasele plaadile, siis üleminekul õhust klaasi murdub ta ristjoonele lähemal. Klaasist välja minnes murdub ta ristjoonest eemal. 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 viltu valguskiired plaadile langevad. Läbi säärase plaadi vaadates näivad kõik esemed olevat pisut nihkunud.

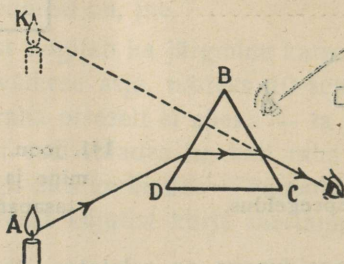
Kui suur on nihe, kui valguskiired langevad plaadile risti?

Valguskiirte kõrvalekaldumist murdumisel klaasplaadis on kerge määrata nõõpnõela viisi abil. Asetame klaasplaadi lauale valgele paberile (141. joon.). Pistame punktides *A* ja *B* lauasse nõõpnõela.

Vaatame nüüd, mis suunas paistavad need nõõpnõelad läbi plaadi. Selle suuna märgime jällegi kahe nõõpnõela abil (C ja D). Nüüd tõmbame plaadi äärtest paberile jooned, samuti sirged läbi nõõpnõelte 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 !

129. Prisma. Optiliseks prismaks nimetatakse läbipaistvat keha, mis on piiratud kahest küljest lõikuvate tasapindadega. Joon. 139 kujutab niisugust klaasprismat läbilõikes. Nurka A , mis



142. joon. Valguse murdumine prismas.

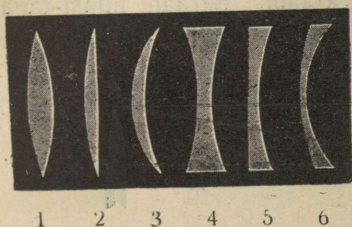
on moodustatud lõikuvate tasapindadega, nimetatakse **murdjanurgaks**. Murdjanurga vastas olevat prisma külge kutsutakse **aluseks**. Katsed näitavad, nagu joon. 142 näha, et prismat läbivad kiired kalduvad prisma aluse poole. Järelikult, vaadates läbi niisuguse prisma valguspunkti S , paistab see meile murdjanurga poole tõstetuna.

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.

130. 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 **nõgusläätsedeks**. Kumerläätsed on keskelt paksemad kui äärest, nõgusläätsed on seevastu keskelt õhemad, äärest paksemad. Kumerlääts võib olla kaksikkumer, tasakumer või nõguskumer. Vastavalt sellele eristatakse kaksiknõgusaid, tasa-nõgusaid ja kumernõgusaid läätsi.



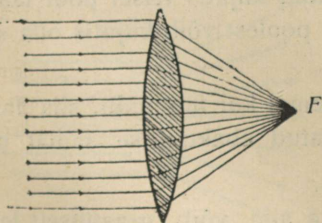
143. joon. Optilised läätsed läbilõikes.

1 — kaksikkumer, 2 — tasakumer, 3 — nõguskumer, 4 — kaksiknõgus, 5 — tasa-nõgus, 6 — kumernõgus lääts.

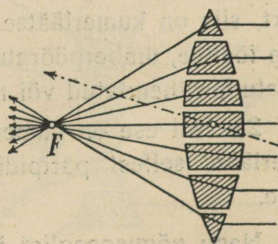
Sirget, mis ühendab mõlema kerapinna kõveruse keskpunkte ja mis läbib ka läätses keskpunkti, nimetatakse läätses **optiliseks teljeks**.

Laseme langeda kumerläätsel paralleelselt optilise teljega paralleelse kiirtekimbu, näiteks kimbu päikesekiiri. Need kiired koonduvad teisel pool läätses ühte punkti optilisel teljel, nagu seda suitsu või tolmu abil kergesti võib nähtavaks teha. Seda punkti nimetatakse kumerläätses **peafookuseks** ehk **tulipunktiks** (144. joon.).

Kiirte käigu seletamiseks kumerläätses võib kujutada kumerläätses koosnevana üksikuist prismadest, läätses keskmist osa võib aga vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiirte suund ei muutu (145. joon.).



144. joon. Kumerläätses printsip.

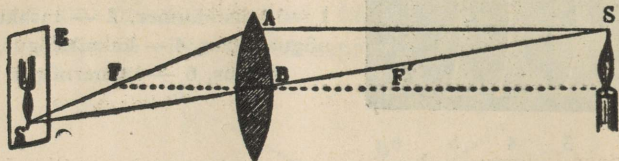


145. joon. Kumerläätses tulipunkt.

Nagu nõgusläätses puhulgi süttivad läätses tulipunkti viidud tule-tikk, paber jne. päikesekiirtes põlema. Punkti F kaugust läätsesest

nimetatakse **tulipunkti kauguseks**. Tulipunkti kaugus on seda lühem, mida kumeram on lääts, ta oleneb aga ka läätse ainest. Igal läätsel on kaks tulipunkti, üks ühel pool, teine sümmeetriliselt teisel pool läätse; nende kaugused läätsest on võrdsed.

131. Kujutis kumerläätses. Asetame põleva küünla **S** (146. joon.) kumerläätse ette kaugemale tulipunktist, teisele poole kumerläätse asetame valgest paberist ekraani. Ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünlaleegi ümberpööratud kujutise. See



146. joon. Kujutis kumerläätses.

kujutis on tõeline juba seepärast, et võime teda 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 kaugusel.

Küünalt peeglist mitmesuguses kauguses hoides ja iga kord vastavat kujutise suurust ja asendit tähele pannes leiame:

1) Kui ese (küünlaleek) on kumerläätses kaugemal kui tulipunkt, siis on kumerläätses poolt tekitatud kujutis teisel pool läätse, ta on tõeline, ümberpööratud. Suuruse poolest võib kujutis olla suurendatud, vähendatud või niisama suur.

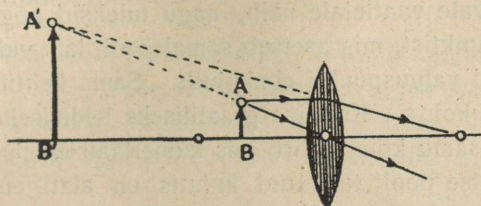
2) Kui ese on kumerläätses lähemal kui tulipunkt, siis annab kumerlääts sellest päripidise, suurendatud ebakujutise samal pool läätse.

Nagu nõguspeegli juures, nii ka siin võib graafiliselt leida eseme kujutise kolme kiire abil, mille suunad on teada pärast läätsest läbimist.

1. Kiir, mis paralleelne optilise teljega, pärast murdumist kumerläätses läbib tulipunkti.

2. Kiir, mis langeb kumerläätsle tulipunkti suunas, pärast kumerläätsle läbimist on paralleelne optilise teljega.

3. Kiir, mis läbib kumerläätsle keskpunkti, läheb endises suunas edasi, sest keskosa võib vaadelda kui tasa-paralleelset plaati, mida läbides valguskiire suund ei muutu.

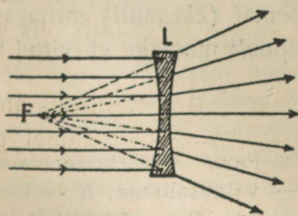


147. joon. Kujutise graafiline leidmine.

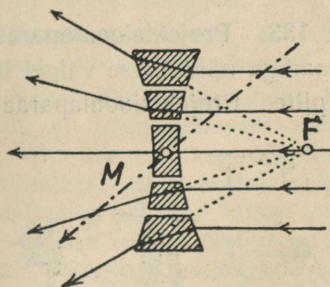
Nendest kolmest kahe kiire abil võime alati leida graafiliselt eseme kujutise. Joonisel 147 on sel teel kujutis leitudki ja nimelt juhul, kui ese on lähemal kui tulipunkt.

132. Nõguslääts. Laseme nõgusläätsle langeda optilise telje suunas paralleelse kiirtekimbu, näiteks päikesekiiri. Valguskiired nõgusläätselt väljudes moodustavad hajuva kiirtekimbu, nii et nad läätsle taha asetatud ekraanil või valgel paberilehel annavad valgustatud ringi, mis on seda suurem, mida kaugemale ekraan läätselt asetada.

Nende hajuvate kiirte näivaks valgusallikaks on punkt F , mida nimetatakse nõgusläätsle **peafookuseks** ehk **tulipunktiks**, ja selle kaugust nõgusläätselt **tulipunkti kauguseks**. Nõgusläätsel on seega näiv ehk ebatulipunkt.



148. joon. Nõgusläätsle tulipunkt.



149. joon. Nõgusläätsle printsiip.

Kiirte käigu seletamiseks nõgusläätses võib kujutada nõgusläätsle koosnevana üksikuist prismadest, kuna nõgusläätsle keskmine

osa moodustab tasaparalleelse plaadi, mida valguskiired läbivad murdumatult. Seega nõguslääts hajutab valguskiiri nagu kumerpeegelgi, seepärast nimetatakse nõgusläätsse ka hajutavaks läätses.

Katsed näitavad, et nõgusläätses ees olevast valguspunktist väljunud ja nõgusläätses murdunud valguskiired hajuvad ja nõgusläätses teisel pool olevale vaatelejale näib, nagu tuleksid nõgusläätses murdunud kiired punktist, mis asetseb samal pool, kus valguspunkt. See punkt on antud valguspunkti ebakujutis. Sama kehtib ka iga teisekujulise eseme kohta. Kujutise graafiliseks leidmiseks nõgusläätses võib tarvitada samu kolme kiirt, mis kumerläätselgi puhul.

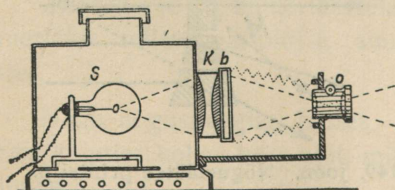
Nõgusläätses poolt tekitatud kujutis on alati ebakujutis, päripidine ja vähendatud.

1. Leia graafiliselt eseme kujutis kumerläätses, kui ese asetseb läätses kahekordse tulipunkti kaugusel?
2. Kuidas on võimalik ainult läbi vaadates (mitte katsudes!) otsustada, kas lääts on kumer või nõgus?
3. Kumerlääts tulipunkti kaugusega 25 cm ja nõguslääts tulipunkti kaugusega 15 cm on kokku pandud. Kas nii saadud liitlääts on kumer või nõgus?
4. Leia graafiliselt noole kujutis nõgusläätses.

Optilised riistad. Silm ja nägemine.

Optilised läätsed leiavad laialdast kasutamist mitmesugustes optilistes riistades, nagu projektsiooniaparatis, mikroskoobis, pikk-silmas jne.

133. Projektsiooniaparaat. Projektsiooni- ehk valguspildiaparatis näidatakse valgel linal või seinal (ekraanil) mitmesuguseid pilte. Projektsiooniaparaat on seestpoolt mustaks värvitud kast,



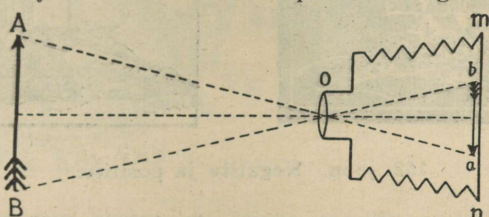
150. joon. Projektsiooniaparaat.
S — valgusallikas; *K* — kondensor; *O* — objektiiv.

millesse paigutatud tugev valgusallikas *S*, näiteks elektrihõõglamp, kaarleek jne. Selle valgusallika ees, kasti avas, on suur kahest pool-

lest 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 aparati ümberpöörduvalt.

134. Fotoaparaat. Fotoaparaat koosneb seestpoolt mustaks värvitud kastist, mille eesseinas vastavas avas on kumerlääts, mida nimetatakse objektiiviks. Tagaseinaks on tuhmklaas. Objektiiv annab aparadi 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 läätsena kokku- ja lahtitõmmatavad aparadi külgliseinad.



151. joon. Fotoaparaat.

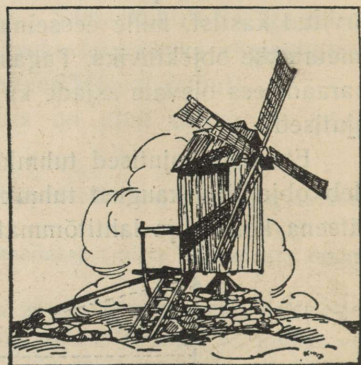
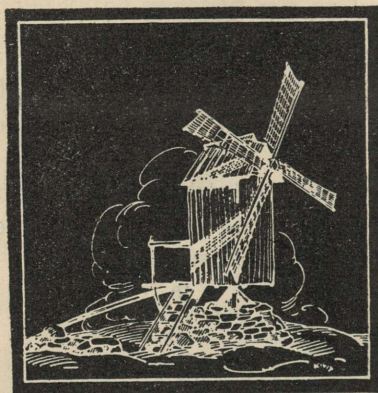
Fotoaparati tarvitatakse fotograafias. Viimane põhineb nähtusel, et paljud ained muutuvad valguse toimetel. Nende ainete hulka kuuluvad mõnede metallide, nagu hõbeda ja raua soolad. Fotograafias tarvitatakse broom- ja kloorhõbedat. Fotoplaad ja fotopaber ongi kaetud neid aineid sisaldava želatiiniga, mis teeb fotoplaadi ja fotopaberi valgustundlikuks.

Pildistamisel paigutatakse fotoplaad fotoplaadi kassetti. Kassett on lame, täiesti valguskindel kastike, mille kaant võib eest ära tõmmata.

Fotograafimine toimub seega järgmiselt. Alul reguleeritakse fotoaparadi 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 toimetel eraldub seega hõbe neile kohtadele, mida valgustati, ja seda rohkemal määral, mida tugevamini seda kohta plaadil valgustati. Nii tulebki pilt nähtavale. Kuid see pilt on vastand pildistatud esemega: valged kohad on siin mustad, mustad kohad — valged. Seda pilti kutsutakse seetõttu **n e g a t i i v i k s**.

Et negatiiv valguse toimel ei muutuks, seks tuleb teda kinnistada. Kinnistamise ülesanne on kõrvalda fotoplaadilt muutumatuks jäänud hõbedasoola. Tavalise fotoplaadi 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 želatiini kiht vedelaks ja tõmbub kokku. See rikub ülesvõtte ära.



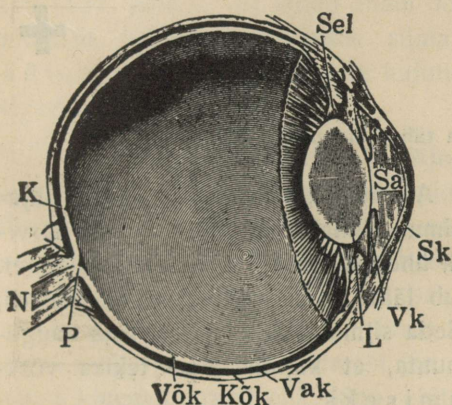
152. joon. Negatiiv ja positiiv.

Et saada päevapilti (p o s i t i i v i), tuleb seda negatiivilt k o p e e r i d a. Seda tehakse paberile, mis kaetud kloorhõbedat sisaldava kihiga. Need paberid pole nii valgustundlikud kui plaadid. Negatiiv asetatakse päevapildipaberi peale ja pannakse valguse kätte. Negatiivi tumedamad 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.

135. 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 regu-

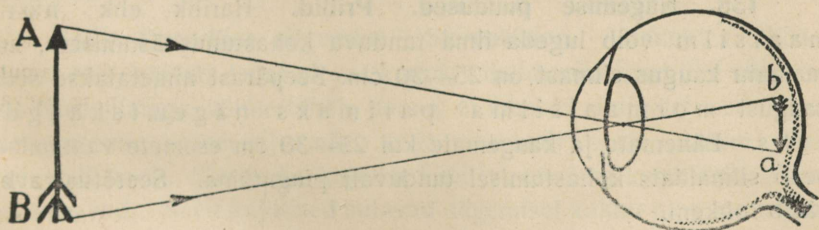
leerib silmaava silma tuleva valguse hulka. Kõige sügavama silma-
muna seina kihi moodustab võrkkest, mis on valgusärrituse vastu
võttev silma osa. Võrkkest on ühenduses nägemiserguga.

Silmaava taga asetseb läbipaistev läätsekujuline keha, nn.
silmalääts. Ruum eespool silmaläätse on täidetud vesiselge
silma vedelikuga; silmaläätsetagust ruumi täidab sültjas
klaaskeha.



153. 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.

Otse silmaava vastas on kõige tundlikum koht silmas, nn. kollane tähn. Koht, kus nägemiserk silmast väljub, nn. pime tähn, on valgusärrituse vastuvõtivate osadeta. Seepärast ei näe inimene selle osaga.

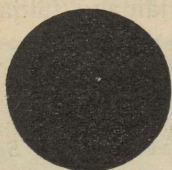


154. joon. Kujutise tekkimine silmas.

Tõenda järgmiselt pimedate tähni olemasolu: kata käega parem silm kinni ja vaata vasemaga teraselt 155. joon. kujutatud risti. Raamatut lähendades või eemaldades taba kaugus, kuni must ketas hoopis kaob. Selle kujutis langeb siis pimedale tähnile.

136. Nägemine. Silma võime võrrelda fotoaparaadiga. Objektiiviks on silmalääts, ekraaniks silma tagaseinas olev võrkkest. Ese

annab võrkkestal ümberpööratud vähendatud kujutise, mida me silma-
erkude abil selle asja valgusmuljena vastu võtame. Esemekujutis
võrkkestal on ümber pööratud; meie aga näeme asju siiski päripidi,
sest väikesest saadik oleme harjunud teiste meelte abil ümberpööratud
kujutisi päripidistena nägema.



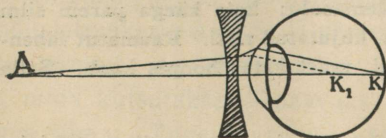
155. joon. Katse pimedat tähti olemasolu tõestamiseks.

137. Silma kohastumine. Asi on selgesti näha, kui tema kujutis tekib just võrkkestal. See toimub silmaläätse abil, mis võib tarvituduse järgi muuta oma kumerust, ühes seega kiirte koondamisvõimet. Läheneb asi silmale, siis muutub lääts kumeramaks; kaugeneb asi, siis läheb lääts lamedamaks. Seda silmaläätse omadust asja kaugusele vastavalt oma kumerust muuta, et kujutis alati tekiks võrkkestal, nimetatakse **kohastumiseks**.

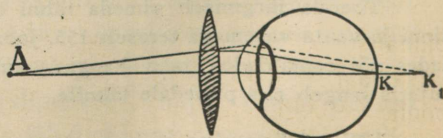
Samal ajal võib silm ainult ühele kaugusele kohastuda, mis selgub järgmisest katsest. Pane sõrm silmade ja raamatu vahele umbes keskpaika. Vaatad teraselt sõrme peale, siis paistavad tähed segaselt; vaatad teraselt tähtede peale, siis paistab sõrm segaselt.

138. Nägemise puudused. Prillid. Harilik ehk normaalne silm võib lugeda ilma tunduva kohastumisväsimumeta, 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 väsis rohkem.

Silma, mis suurematele kaugustele ei suuda kohastuda, nimelühinägijaks. Niisuguses silmas on võrkkestal läätsest liiga kau-



156. joon. Lühinägija silm.



157. joon. Kaugelenägija silm.

gel (silmamuna on liiga piklik või koondab silmalääts kiiri liiga tugevasti) ja eseme kujutis tekib võrkkesta ees (156. joon.). Selle puuduse kõrvaldamiseks tarvitatakse silma ees prillina nõgusat lääts. See hajutab kiiri niivõrt, et eseme kujutis tekib võrkkestal.

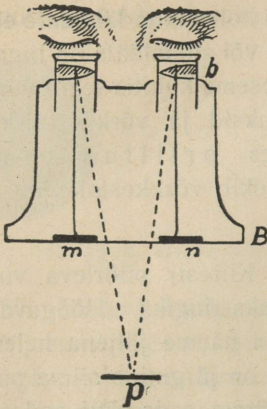
Kaugelena gija silm ei suuda kohastuda lähedate esemete vaatlemiseks. Silmamuna on liiga lühike või silmalääts on liiga lame, mistõttu ta koondab kiiri liiga nõrgalt ja eseme kujutis tekib võrkkesta taga (157. joon.). Et kiired enam lõikuksid ja võrkkestal kujutise annaksid, selleks tarvitatakse silma ees prillina kumerat lääts. See koondab kiiri ja kujutis tekib võrkkestal ning ese on selgesti näha.

139. Valgusmulje vältus. Kino. Kiiresti pöörleva voki või jalgratta kodarad liituvad liikudes pidevaks ringiks. Hõõguvat tuletkku õhus kiiresti edasi-tagasi liigutades näeme jäljena helenduvat 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 projekteeritakse nad projektsioonilaterna abil niisama kiiresti ekraanile. Muljed kiiresti üksteisele järgnevaist ülesvõtteist, mida näeme ekraanil, liituvad ja annavad nn. kinopildi.

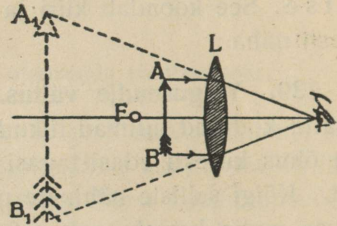
140. Ruumiline nägemine. Stereoskoop. Vaadeldes lähedal olevat eset, näiteks laual olevat kuupi, vaheldumisi kord ühe silmaga, siis teise silmaga, võime tähele panna, et kumbki silm näeb seda pisut isesugusena: parem silm näeb seda paremalt poolt, vasem pisut vasemalt poolt. Seega ka kujutised sellest esemest kummaski silmas on erinevad. Need kujutised sulavad nägemisel kokku ning me näeme eset ruumiliselt ehk *reljeefselt*. Seega ruumilise nägemise põhjuseks on vaadeldava eseme kujutiste erinevused kummaski silmas.

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 (158. joon.). Stereoskoobi peaosaks on kaks prisma *a* ja *b*, mis on pööratud murdumisnurkadega teine-

teise 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.



158. joon. Stereoskoop.

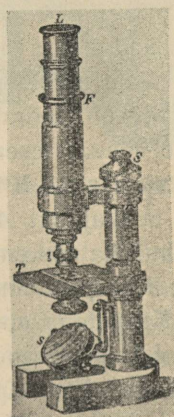
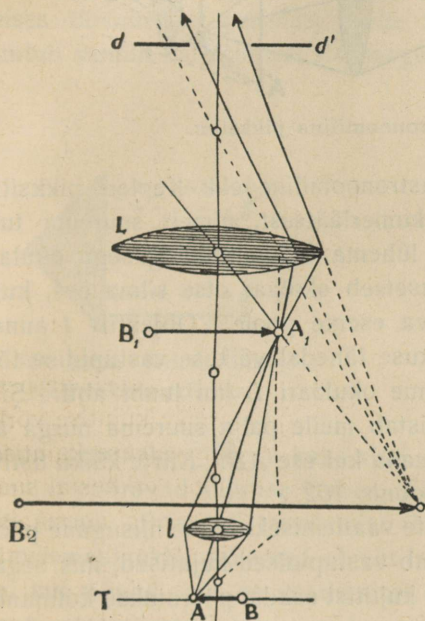


160. joon. Luup.

141. Luup. Inimese silm suudab tajuda esemeid ja esemete peenusi 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 silm ei kohastugi. Väikeste esemete paremat ja selgemat nägemist võimaldab **luup**, milleks on kumer lääts. Asetades vaadeldava eseme kumerläätsse ja tulipunkti vahele näeme, et sel juhul ei saa meie teisel pool läätses mingisugust kujutist. Küll aga näeme samal pool, kus esegi, selle eseme suurendatud ebakujutist (160. joon.). Esimest AB tulevad kiired murduvad läätses ja lähedavad laiali ilma lõikumata. Nende pikendused vasemal pool läätses lõikuvad ja annavad AB -st suurendatud päripidise kujutise $A'B'$. Et siin kujutis on märksa suurem kui ese ja asetseb normaalse silma parimal nägemiskaugusel, siis näeme seetõttu temas ka rohkem peenusi kui eset ennast otsekohe vaadates. Seepärast tarvitatakse kumerat läätses suurendusklaasina ehk luubina.

142. Mikroskoop. Märksa tugevamini suurendab nn. **mikroskoop**, mis koosneb mitmest optilisest läätses. Kiirte käik

mikroskoobis on näha joonisel 161. Vaadeldav ese AB asetatakse lühikese tulipunktikaugusega kaksikkumera läätses ette tulipunktist natuke kaugemal. Lääts L , mille ees seisab vaadeldav ese ja mida seejärel eseme läätsiks ehk objektiiviks kutsutakse, annab enese kahekordse tulipunktikauguse taga esemest AB vastupidise suurendatud tõelise kujutise $A_1 B_1$. Kujutist $A_1 B_1$ vaatame läätses L kui luubi abil, saades temast päripidise suurendatud ebakujutise



161. joon. Mikroskoop: vasakul kiirte käik mikroskoobis, paremal — mikroskoobi väline külg.

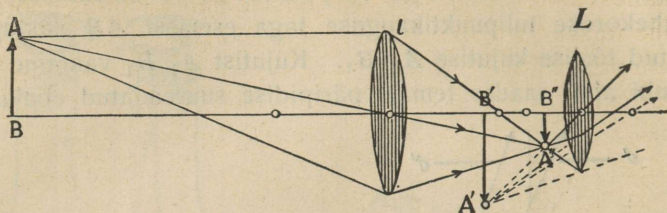
$A_2 B_2$. Läätses L , millesse silmaga vaatame ja mis luubi aset täidab, nimetatakse silmaläätsiks ehk okulaariks. Kujutis $A_2 B_2$ on antud esemega võrreldes suurendatud, vastupidine ja ebakujutis.

Kõik läätsed paigutatakse sellekohastes seestpoolt mustaks värvitud torudesse ja kinnitatakse jala külge (161. joon.). Head mikroskoobid suurendavad tuhat ja rohkem korda.

1. Kus tarvitatakse mikroskoobe?
2. Milleks on mikroskoobi objektiivi ees nõguspeegel?

143. Pikksilm. Mida kaugemal on ese, seda väiksema nurga all ta meile paistab, seda väiksem on ka ta kujutis silma võrkkestal.

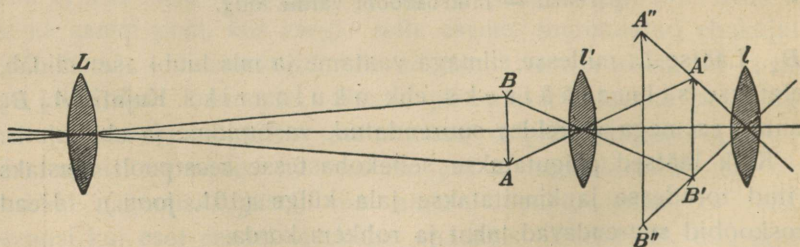
Väga kaugel olevad esemed, olgugi suured, paistavad meile niivõrra väikese vaatenurga all, et meie silm ei suuda seal enam peenusi näha. Vaatenurga suurendamiseks, seega kaugel olevate esemete paremaks vaatlemiseks tarvitatakse **pikksilma**.



162. joon. Astronoomiline pikksilm.

Ehituselt lihtsamad on astronoomiline ehk Kepleri pikksilm. See pikksilm koosneb kahest kumerläätses, nimelt suurema tulipunktikaugusega objektiivist ja lühema tulipunktikaugusega okulaarist. Vaatlemisel pikksilmaga asetseb okulaar otse silma ees, kuna objektiiv on pööratud vaadeldava eseme poole. Objektiiv I annab kaugel olevast esemest AB fookuse lähedal väikese vastupidise tõelise kujutise $A''B''$, mida vaatame okulaari L kui luubi abil. Silm näeb ebakujutist $A'B'$, mis paistab meile palju suurema nurga all, järelikult ka suuremana ja selgemana kui ese AB . Kiirte käiku astronoomilises pikksilmas selgitab joonis 162.

Kaugete maapealsete esemete vaatlemiseks ei ole niisugune pikksilm otstarbekohane, sest ta annab vastupidised kujutised, mis segab vaatlemist. Et päripidist esemete kujutist saada, pööratakse kolmanda kumera lääts l' abil objektiivist saadud kujutis AB enne ümber ja vaadeldakse seda ümberpööratud kujutist okulaari L kui luubi abil

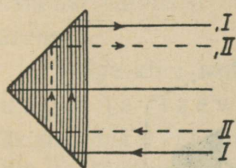


163. joon. Maapikksilm.

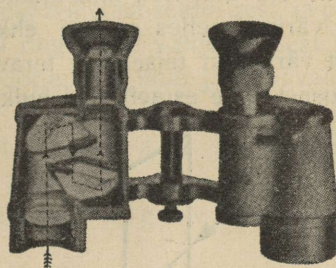
(joon. 163). Niisugust pikksilma kutsutakse **maapikksilmaks** ehk **kiikriks**. Maapikksilma suureks puuduseks on ta pikkus.

Kahe silmaga vaatlemiseks tarvitatakse kahest pikksilmast moodustatud riista, mida nimetatakse binoklik.

Praegusel ajal tarvitatakse peamiselt prismabinoklit. See riist koosneb kahest astronoomilisest pikksilmast, milles kujutis pööratakse ümber kahe täisnurkse prisma abil. Langevad 164. joonisel kujutatud täisnurksele prismale kiired *I* ja *II*, siis kahekordse täielise sisepeegelduse tõttu muutub pealne kiir alumiseks ja alumine ülemiseks. Teises täisnurkses prismas, mille servad esimese prismaga risti, muutub samuti kahekordsel sisepeegeldumisel vasem kiir paremaks ja



164. joon. Kiirte käik täisnurkses prismas.



165. joon. Prismabinokkel.

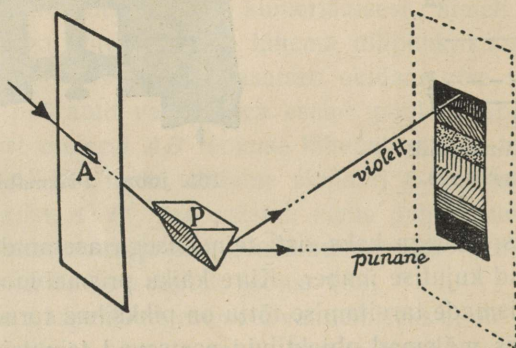
parem vasemaks. Seega kaks risti teineteisega asetatud täisnurkset prisma pööravad kujutise ümber. Kiire käiku prismabinoklis kujutab 165. joonis. Prismade tarvitamise tõttu on pikksilma torud lühikesed. Et prismabinoklis mõlemad objektiivid asetsevad teineteisest kaugemal kui silmad, siis on vaatlemisel sellega sügavuse ehk reljeefsuse tunne suurendatud.

Päripidised kujutised annab ka nn. **Galilei pikksilm**, mille objektiiviks on kumer, okulaariks nõgus lääts. Okulaar asetatakse objektiivi ja tema tulipunkti vahele, nii et kiired objektiivi läbides juba enne koondumist okulaarile langevad. Okulaar hajutab tema peale langevad kiired ja annab antud esemega võrreldes päripidise kujutise. Võrreldes astronoomilise pikksilmaga on Galilei pikksilm lühem. Kahest Galilei pikksilmast moodustatud binokkel on tuntud nn. teatribinokli nime all.

1. Kus tarvitatakse pikksilmi?
2. Kas lähema eseme vaatlemisel tuleb okulaari ja objektiivi vastastikust kaugust suurendada või vähendada?

Spekter.

144. 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 värvusest teise pole terav, vaid pidev, üleminekul ühest põhivärvusest teise esineb veel hulk varjundeid.



166. joon. Spektri tekkimine.

Säärase katse tegi esimesena kuulus inglise teadusmees Isaac Newton (loe: aisek njuutn) a. 1666. See katse näitab, et päikesekiired koosnevad üksikuist värvilistest kiirtest, mis igaüks eri viisi



Inglise tähtsaim füüsik Isaac Newton (sünd. 1643. a., surn. 1727. a.) avaldas teedrajava tähtsusega töid füüsika, astronoomia ja matemaatika alal. Esitas mehaanika põhilauseid, gravitatsiooniseaduse, avastas valguse lahutamise jne.

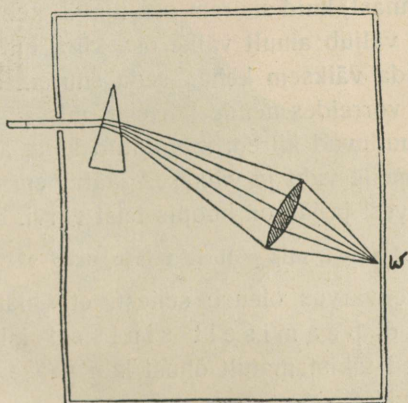
167. joon. I. Newton.

murduvad ja seetõttu prismast läbi minnes üksteisest eralduvad. Kõige vähem murduvad punased, kõige rohkem violetised 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, millest koosneb valge kui liitvärvus. Tahame seitsmest spektri värvusest saada valget värvust, asetame prisma taha koondava lääts, 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.

Valge kiire annavad liitumisel ka punane ja roheline, ruuge ja taevassinine, kollane ja sinine kiir. Värvusi, mis liitumisel annavad valge värvuse, nimetatakse **täiendusvärvusteks**.



168. joon. Kumerlääts liidab spektrivärvused uuesti kokku.

145. Värvilised kehad. Asetame 144. paragraafis kirjeldatud katses valguskiirte kimbu teele enne prismast läbimist punase klaasi, siis jääb mitmevärvilisest spektrist ekraanile järele ainult punane värvus; roheline 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 la-

sevad 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 riidet või paberit, ja asetame ta spektri riba 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 ühtviisi.

Üldse läbipaistmatud värvilised kehad peegeldavad tagasi ainult osa spektrivärvusi, teise osa nad neelavad ära.

Muidugi, osa kehapinnale langevaid kiiri peegeldub otsekohe selle keha välispinnast, 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. Sellepärast paistavad meile vaht ja väikesed jääkübemekesed (lumi) valgetena, kuna aga vesi ja jää on hoopis teist värvi.

Nimeta mõned ained, mis pulbris 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.

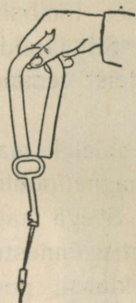
1. Mispärast kastetilgad mitmevärviliselt säravad?
2. Millega võiks vikerkaare tekkimist seletada?
3. Mispärast sinetatakse pesu?
4. Mispärast on päike tõusu ja loojamineku ajal punane, iseäranis siis, kui õhk on hästi niiske?

Magnetism.

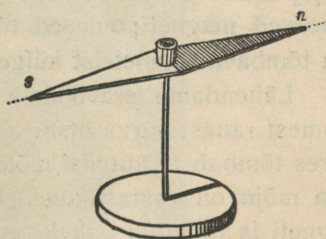
146. Magnet. Rootsis, Norras, Venemaal ja mujal leidub maa-põues rauamaaki, millel on omadus tõmmata enda külge raua- ja terasetükke ning neid seal kinni hoida. Niisugust rauamaaki nimetatakse **magnetrauakiviks** ehk **loomulikuks magnetiks**.

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 eemaldada magnetist, teras seevastu hoiab saadud omadused alal. Sel teel on võimalik terast muuta magnetiks ehk magnetiseerida. Nii viisi magnetiseeritud terast nimetatakse kunstlikuks magnetiks. Kunstlikkudele magnetitele antakse tavaliselt kas varva või hobuseraua



169. joon. Magnet.



170. joon. Magnetnõel.

kuju. Õhukesest terasplekist valmistatud piklikku, harilikult teravate otstega magnetit, mida võib asetada ka teravikule, nimetatakse **magnetnõelaks**.

Kuidas saab hõlpsasti kokku korjata lauale või põrandale kukkunud rauapuru?

147. **Magneti poolused.** Magnetit rauapurusse või peenikesse 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 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



171. joon. Magneti poolused.

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).

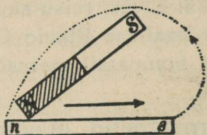
Lähendades magneti põhjapoolust teravikul asetseva magnetnõela põhjapoolusele näeme, et magnetnõela poolus liigub magnetist eemale. Lähendame aga magneti põhjapoolust magnetnõela lõunapoolusele, siis liigub magnetnõel sellele lähemale. Korrates sama katset magneti lõunapoolusega näeme, et see tõmbab magnetnõela põhjapoolust ja tõukab selle lõunapoolust. Siit järeldame, et **samanimelised magnetipoolused tõukavad teineteist eemale, isenimelised aga tõmbavad teineteist külge.**

Lähendame teravikule asetatud magnetnõelale magnetiseerimata pehmest rauast varva otsa: raud tõmbab magnetipooluse külge, seejuures tõmbab ta ühtviisi 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 koobalt-terasest, s. o. terasest, mis sisaldab pisut volframi või koobaltit. Üldiselt on kunstlikud magnetid palju tugevamad kui loomulikud magnetid.

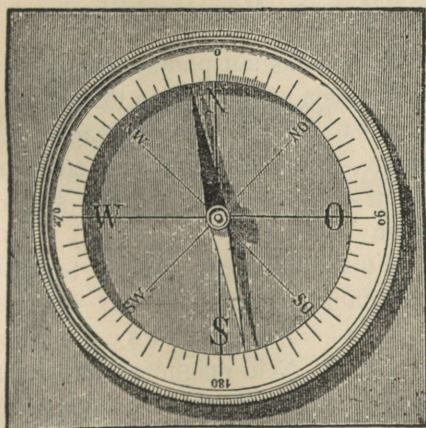
148. Magneti induksioon. Võtame pehmest rauast pulga ja kinnitame statiivi külge. Lähendame raua ülemisele otsale magneti põhjapooluse (N). Nüüd näeme, et raud muutus magnetiks, mis rauapuru külgetõmbamisest selgub. Magnetnõelaga järele katsudes leiame, et otsas, mis põhjapooluse lähedal, on lõunapoolus, 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 induksiooniks**. Ka teraspulka võime samal viisil magnetiliseks teha, ainult selle vahega, et teraspulk mõjuva pooluse eemaldamisega mitte oma magnetilisi omadusi ei kaota, vaid nad kauemat aega püsima jäävad.



172. joon. Magnetiseerimine.

149. Magnetiseerimine. Teraspulga magnetiseerimine toimub tugeva kunstliku magneti abil. Seks tõmmatakse magneti ühe poolusega, näiteks N-poolusega, magnetiseeritava teraspulga pinda mööda teraspulga ühe otsani, nagu see kujutatud 172. joonisel. Seejuures tekivad teraspulga otstes poolused, teisenimelised neile poolustele, millega tõmmati. Niiviisi võib magnetiseerida lõpmatu hulga uusi magneteid, ilma et seejuures magnetiseeriv magnet nõrgeneks. Kauase seismisega nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet põrutamisega.

150. Kompas. Teravikule asetatud magnetnõel, mis vabalt võib pöörelda, näitab **alati põhja—lõuna** sihti. Seda magnetnõela oma-



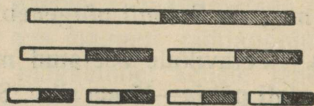
173. joon. Kompas.

dust kasutataksegi ilmakaarte määramiseks. Riista, mida seks ots-
 tarbeks tarvitatakse, nimetatakse **kompassiks**. Kompass koosneb
 ümmargusest karbist, mille keskkoha teraviku otsa on asetatud
 magnetnõel, nii et see vabalt võib seal pöörelda. Karbi põhja on
 joonistatud ilmakaarte jaotused. Tavaliselt on magnetnõela põhja-
 poolus värvitud siniseks.

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 määra-
 miseks. 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.

151. Magneti poolitamine. Molekulaarmagnetid. Magnetiseerime
 terassukavarda tugeva kunstliku magneti abil. Rauapuru, samuti ka
 magnetnõela abil võime näha, et tal on kaks magnetilist poolust, ühes
 otsas põhjapoolus, teises otsas lõunapoolus. Murrame magnetisee-
 ritud varda keskelt pooleks ja pistame mõlemad pooled rauapurusse.
 Sealt neid välja võttes näeme, et kummalgi poolel on jälle kaks poo-
 lust, sest kummagi poole otste külge on jäänud rauapuru. Ka magnet-
 nõela abil võib näha, et igal varda osal on kaks poolust. Seega mur-



174. joon. Magneti poolitamine.

dumiskohal tekkis juurde kaks uut poolust, üks põhja-, teie lõunapoo-
 lus, nii et igal poolel on oma põhja- ja oma lõunapoolus. Niiviisi ma g-
 neti poolitamist jätkates saame magnetid, millel 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 vähimad osakesed (molekulid) on ise-
 seisvad magnetid. Neid magnetid nimetatakse **molekulaar-**
magneteiks, uuemas füüsikas ka **magnetonideks**. Seega iga magnet
 koosneb lõpmata hulgast molekulaarmagneteist, mis on korraldatud
 teatavas kindlas sihis. Magnetiseerimata rauas ja terases on mole-

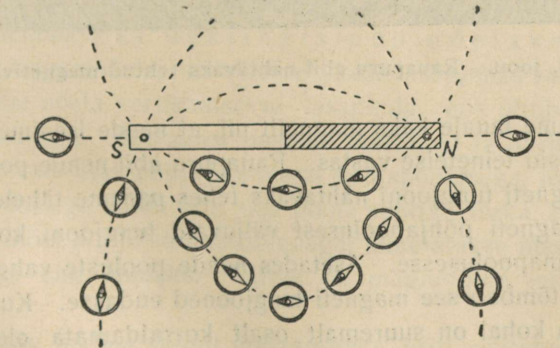
kulaarmagnetid korraldamata olekus, mistõttu hävib nende mõju vastastikku. Magnetiseerimisel tugeva magneti mõjul korralduvad molekulaarmagnetid nagu väikesed magnetnõelad, nii et kõikide molekulaarmagnetite põhjapoolused on suunatud ühele poole, lõunapoolused teisele poole. Pehmes rauas on molekulaarmagnetid 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 muu seas järgmised nähtused. Magnetipõrutamisega 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 maa-keramagnetivälja toimel nõrgalt magnetilisteks.

Magnetiväli.

152. 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 iseseuunas (175. joon.). Piirkonda, kus

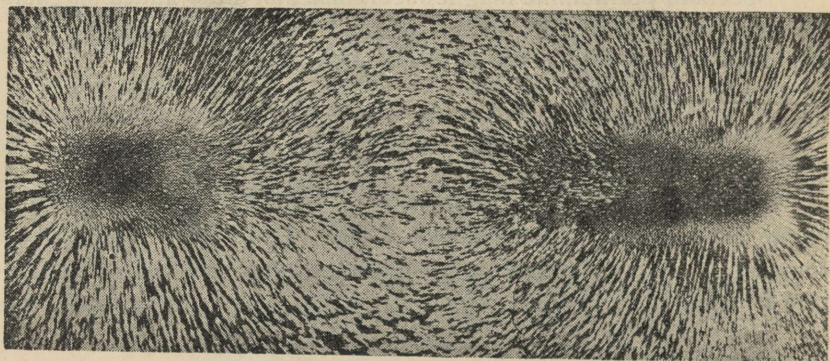


175. joon. Magnetitungjooned.

antud magnetitungid veel mõjuvad, nimet. selle **magneti väljaks**. Mida tugevam magnet, seda suurem ja tugevam on tema mõjupiirkond ehk väli.

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 tungjooneks**. 175. 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 **suund põhjapoolusest lõunapoolusesse**.

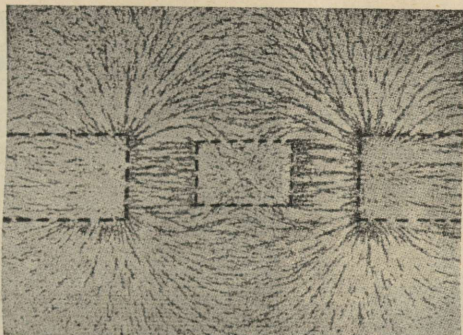


176. joon. Rauapuru abil nähtavaks tehtud magnetiväli.

Asetame lauale kaks magnetit nii, et nende isanimelised 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 mitte ei katke, vaid jätkuvad ja pehme raua teisest otsast väljuvad.

153. Maakera magnetiväli. Vaba magnetnõel näitab alati kindlat suunda, millest järeldame, et **maakera ümber on**

magnetiväli. Täpsamad tähelepanekud näitavad, et rõhttasapinnas vabalt pöörlev magnetnõela suund ei ühti täpsalt põhja—lõuna suunaga ehk geograafilise meridiaaniga. Nurka, mille moodustab magnetnõela suund geograafilise meridiaaniga, nimetatakse **magnetiliseks deklinatsiooniks** ehk **käändeks**. Seejärgi, kas magnetnõela põhjapoolus kaldub põhja—lõuna suunast 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. Öigemini esineb küll väike läänedeklinatsioon, mis kahaneb aastas umbes 8'.



177. joon. Raud magnetiväljas.

Magnetnõela, mida tarvitatakse magnetilise deklinatsiooni määramiseks, nimetatakse ka **deklinaatsiooninõelaks**.

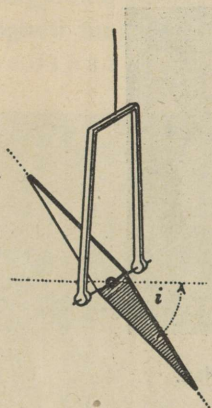
Võtame magnetnõela, mis võib vertikaal-tasapinnas vabalt pööruda. Asetame nõela vertikaalsesse tasapinda, mis ühtib deklinatsiooninõela suunaga. Seejuures paneme tähele, et ta harilikult pole horisontaalne, vaid maa põhja-poolkeral põhjapoolusega, lõuna-poolkeral lõunapoolusega kaldu alla maa poole sihib. Nurka, mille moodustab magnetnõel horisontaaltasapinnaga, nimetatakse **magnetiliseks inklinatsiooniks** ehk **kaldeks**. Tartus on magnetiline inklinatsioon ligikaudu 70°.

Magnetilise inklinatsiooni määramiseks eriti ehitatud magnetnõela nimetatakse **inklinaatsiooninõelaks**.

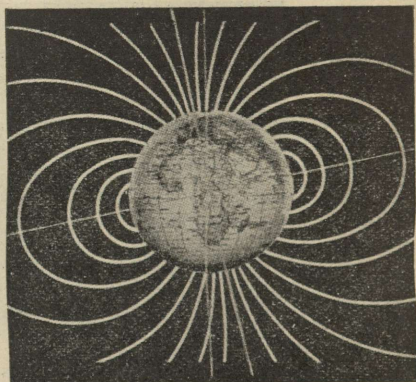
Magnetiline inklinatsioon on maakera eri kohtades ka eri suurusega: geograafilisel ekvaatoril on magnetiline inklinatsioon null, maakera põhjapoolmikul kaldub magnetnõela põhjapoolus, maakera lõuna-

poolmikul magnetnõela lõunapoolus allapoole ja seda rohkem, mida suurem on kaugus ekvaatorilt. Tähelepanekud deklinatsiooni- ja inklinatsiooninõelaga näitavad, et maakera on suur kerakujuline magnet.

Kohti, kus kaldenõel vertikaalselt asetseb, s. o. magneti kalle on 90° , nimetatakse maakera magnetipoolusteks. Maakera kui magneti lõunapoolus asetseb Põhja-Ameerikas Boothia Felix'i poolsaarel (69° p.-l. ja 96° l.-p. Gr.), põhjapoolus aga Lõuna-Jäämeres lõuna pool Uus-Hollandit (72° l.-l. ja 154° i.-p. Gr.). Nii siis asetsevad maakera magnetipoolused geograafiliste pooluste lähedal, kuid ei ühti viimastega.



178. joon. Inklinatsiooninõel.



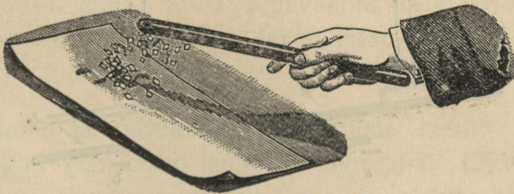
179. joon. Maakera magnetilised poolused.

1. Mispärast antakse magnetile sagedasti hobuseraua kuju?
2. Kuidas on võimalik magnetnõela abil määrata, kas antud rautükk 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.

154. **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



180. joon. Villase riidega hõõrutud eboniitpulk tõmbab paberitükikesed külge.

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. Hõõrdumisel 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**.

Eriti selgelt esinevad need nähtused klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga. Et merivaik hõõrumisel saab erilised

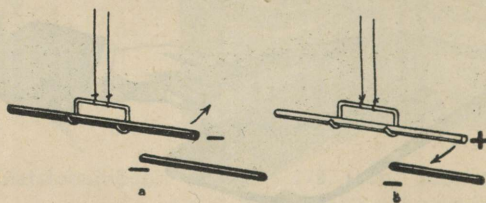
omadused, seda teadsid juba vanad kreeklased. Kui uuemal ajal (umbes a. 1600) hakati neid nähtusi jälle tähele panema, siis nimetati neid nähtusi merivaigu kreeka keelse nimetuse järgi (*elektron*) elektrilisteks.

Nimetame elektrilise keha külgetõmbamise põhjust **elektritungi**, elektri hulka, mis seda elektritungi tekitab, **elektrilaenguks** ja kehale elektrilaengu andmist — **laadimiseks**.

Katsed näitavad, et hõõrumise teel omandavad elektrilaengu paljud kehad, näiteks merivaik, väävel, kirjalakk, siidriie.

Mida kuuled, kui kammid kuivi juukseid eboniitkammiga? Mis on selle põhjuseks?

155. Positiivne ja negatiivne elekter. Riputame villase riidega hõõrutud eboniitkammi või -pulga 181. 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.



181. joon. Tõmbumine ja tõukumine.

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.

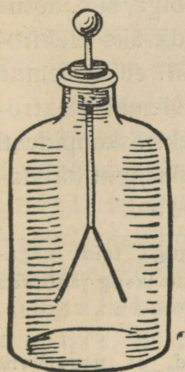
Klaasielektrit nimetatakse veel **positiivseks**, eboniidielektrit **negatiivseks**.

Kokkuvõttes saame seaduse: **kaks ühenimelist elektrilaengut tõukavad teineteist eemale, kaks isenimelist aga tõmbuvad teineteise**

poole. On kehadel võrdsed laengud isenimelist elektrit, siis kokkupuutumisel kaotavad nad elektrilised omadused.

Miks puusõe tükikesed, samuti elektripendel, alguses elektrilisele kehale külge tõmbuvad, pärast aga eemalduvad?

156. 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 182. joon. Selle tähtsamaks osaks on metallvarb, mille alumise otsa küljes ripuvad õhukesed siidpaberist või metallist (kullast või alumiiniumist) lehekese. Metallvarb läbib eboniidist või merivaigust korgi, mis suleb klaasanuma pudelikujulise kaela.



182. joon.
Elektroskoop.

Tõmbame elektriseeritud kehaga, näit. klaaspulgaga, mööda elektroskoobi metallvarba. Kokkupuutumisel läheb osa elektrit varva peale, varva kaudu lehekestesse ja lehekese lähevad laiali. Mida tugevamini on elektroskoop laetud, seda laiemale teineteisest lähevad elektroskoobi lehekese.

157. Juhid ja mittejuhid. Puudutame laetud elektroskoobikuulikest käega. Lehekese langevad kohe alla. Elektrilaeng kadus elektroskoobist. Puudutamisel ühendasime elektroskoobi keha abil maaga. Elektroskoobis oiev elekter läks keha kaudu maasse ja maa peal olevaisse esemesse. Elektroskoopi jäi elektrit niivõrra vähe, et ta ei suuda enam lehekesi laiali ajada.

Kirjeldatud elektroskoobi tühjendamisviisi nimetatakse **maandamiseks**. Maandamise katses järeldub, et on kehi (metallvarb, inimese keha, maa), mida mööda elekter ülikiiresti edasi läheb. Niisuguseid kehi nimetatakse **elektrijuhtideks**. Et kehi elektri juhitavuse 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, para-

fiin, pigi, väävel, õlid, portselan, tühi ruum, destilleeritud vesi jne.

Mittejuhte nimetatakse teisiti **isolaatoreiks**. Tahame elektri-laengut juhi peal hoida, et ta maasse ei läheks, siis peame selle juhi isolaatori abil maast eraldama ehk isoleerima.

Miks võib hõõrumisel elektriseerida ainult isolaatoreid?

158. Elektrilaengute neutraliseerimine. Kui laadida elektrooskoop kas positiivselt või negatiivselt ja siis ühendada laetud elektrooskoop metallvarda kaudu teise samasuguse elektrooskoobiga, siis jaotub elektrilaeng mõlema elektrooskoobi vahel. Kui laadida üks elektrooskoop positiivselt, teine elektrooskoop negatiivselt, nii et mõlemad elektrooskoobid annavad ühesuurused hälbed, siis mõlemat elektrooskoopi metallvarda abil ühendades kaovad laengud elektrooskoopidest. Siit järeldame, et kaks ühesuurust vastunimelist elektrilaengut hävitavad vastastikku teineteist, nad **neutraliseeruvad**.

Kui laadida üks elektrooskoop positiivse elektrilaenguga, teine negatiivse elektrilaenguga, kuid mitte ühesuuruse hälbeni, milline laeng jääb siis elektrooskoopidele pärast nende ühendamist metallvardaga?

159. Elektri teooria. Uuemad uurimised näitavad, et negatiivne elekter erineb mitmeti positiivsest elektrist. Kuna negatiivset elektrit iseloomustab suur liikuvus, on positiivne elekter alati seotud aine algosadega ehk **aatomitega**. Mitmesugused nähtused sunnivad oletama, et aatom koosneb keskmest ehk tuumast ja kattest. Aatomi tuuma on koondatud peaaegu kõik aatomi mass, kusjuures aatomituum omab positiivset laengut. Seda positiivset laengut neutraliseerivad tuuma kattena ümbritsevad negatiivse elektri algosakesed ehk **elektronid**, mistõttu on aatom tavaliselt neutraalne. Elektronid omavad seejuures massi, mis on ligi $\frac{1}{2000}$ vesiniku aatomi massist. Elektronid võivad esineda aga iseseisvalt. Selle teooria järgi omab keha negatiivset elektrilaengut, kui tal on elektronide **üle jääk**, positiivset elektrilaengut omab keha, kui tal on elektronide **puudu jääk**. Seda teooriat tõestab muu seas ka nähtus, et hõõrdumisel tekib alati kaks vastupidise märgiga, kuid võrdset elektrilaengut. Kui hõõruda näiteks amalgaamitud nahaga klaaspulka, siis omandab, nagu katse näitab, klaaspulk positiivse elektrilaengu, amalgaamitud nahk niisama suure negatiivse elektrilaengu. Hõõrumisel rebiti osa elektrone klaaspulgast lahti, mis läksid üle amalgaamitud nahale, seetõttu omandasidki klaaspulk ja nahk vastupidise märgiga võrdsed elektrilaengud.

160. 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 seda on lohkudes. Puudutades katsekuulikesega silindrilist või kerakujulist õõnsat konduktoorit, 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 a sub ainult konduktoori 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 t õ u g a t a k s e s a m a n i m e l i s e s t e l e k t r i l a e n g u s t e e m a l e, mistõttu tekib nn. **elektrituul**. Hoides teraviku ees umbes 1—2 m kaugusel elektroskoopi, annab elektrituul sellele laengu. Samuti kustutab elektrituul teraviku ees hoitud küünlaleegi. Konduktoori, millel on teravikud, kaotavad kiiremini elektrilaengu kui ilma teravikuta konduktoori.

161. Elektri pinge. Laeme kaks ühesugust elektroskoopi nii, et nende lehekese hälbed pole võrdsed, ja ühendame siis elektroskoobid isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga: kohe omandavad elektroskoobid ühesuurused hälbed, kusjuures ühe elektroskoobi lehekese hälve vähenes, teisel suurenes. Seega voolas osa elektrit ühelt elektroskoobilt teisele.

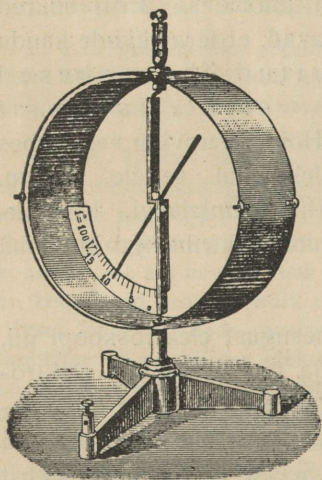
Teame, et vesi voolab ühest anumast teisele, kui veepinnad (tasemed) anumais pole ühekõrgused. Seejuures voolab vesi kõrgema tasemega anumast madalama tasemega anumasse. Samuti nägime varemini, et soojus voolab kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehasse.

Analoogiliselt vee ja soojuse voolamisega elektri voolamise põhjuseks ühelt kehalt teisele on nende kehade erinev **laadimisaste** ehk **elektri pinge**. Elektri pinget võime võrrelda seega veepinna kõrgusega ehk vee rõhuga, temperatuuriga, gaasi rõhuga gaasitorustikus jne.

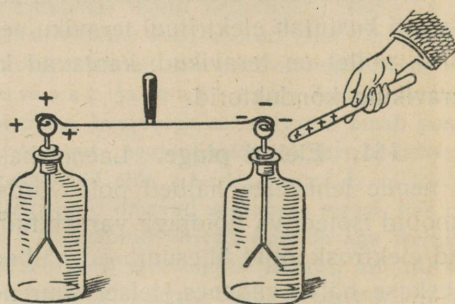
Temperatuuri mõõdame termomeetriga, gaasi ja vee rõhku manomeetriga, elektri pinget võib mõõta elektrooskoobiga.

Et elektroskoop ei mõõda mitte elektrihulka keha pinnal, vaid pinget, näitab järgmine katse. Ühendame katsekuulikesega traadi kaudu kaugel oleva elektrooskoobiga ja puudutame siis katsekuulikesega isoleerivale alusele paigutatud kandilist keha, millele antud elektrilaeng. Vaatamata sellele, millises punktis meie katsekuulikesega laetud keha puudutame, näitab elektroskoop ikka üht ja sama hälvet, olgugi et elektri jaotus kehal pole ühtlane, nagu varemini nägime.

Tarvitades sõna „pinge“ peame mees pidama, et pinge andmisel võrdleme keha elektrilist olekut mõne teise keha elektrilise olekuga. Keha pinget maa suhtes nimetatakse potentsiaaliks.



183. joon. Elektromeeter.



184. joon. Mõjuelekter.

Elektri pinge ühikuks on volt (V), mis tuletatud itaalia füüsiku A. Volta nimest. 1 volt on, nagu hiljemini näeme, võrdne ligikaudu Danielli elemendi pooluste vahel oleva pingega. Astmikuga varustatud elektrooskoopi, mis näitab otseselt pinge suurust, nimetatakse **elektromeetriks**. Üht niisugust elektromeetrit kujutab 183. joon.

Nagu anumas olev gaas omab teatavat rõhku, niisama omab elektriline keha teatavat laadimisastet, mida võib mõõta elektromeetriga. Elektронideteooria järgi keha laadimisastme määrab kehas olevate elektronide

hulk. Negatiivselt laetud kehal on elektronide „ülarõhk“, positiivselt laetud kehal „alarõhk“. Neutraalse keha, seega ka maa laadimisastme pinge loetakse nulliks.

162. Mõjuelekter. Elektriliselt neutraalsed kehad omandavad elektrilaengut juba seega, kui nende lähedale tuua elektriliselt laetud kehad. Sel teel tekkinud elektrilaengut nimetatakse **influent-** ehk **mõjuelektriks**.

Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse. Ühendame kaks elektroskoopi isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga (184. joon.). Elektriseeritud klaaspulga lähendamisel lähivad lehekesed laiali, olgugi et meie 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 näitab elektroskoop laengut, kui talle lähendada elektriliselt laetud keha.

1. Kuidas saab anda elektroskoobile elektrilaengut, ilma et seejuures teda puudutataks?

2. Kuidas määrata elektroskoobil oleva elektrilaengu märki mõju elektrinähtuse abil?

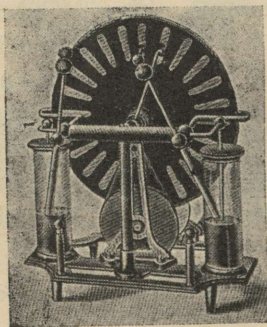
Mõjuelektril põhineb **influentmasina** tegevus. Masina ketta sektoril olevast väikesest elektrilaengust jätkub, et tekitada teise ketta sektoril, mis esimese läheduses mööda liigub, mõjuelektrit. Need omalt poolt laevad mõjuelektriga esimese ketta teised sektorid. Nii tekkinud elektrilaengud kogutakse masina konduktoritele.

Influentsmasin annab väga kõrge pinge. Selle mõõtmine tavaliise elektromeetri abil pole võimalik, viimane on seks liiga väikese ulatusega. Kui masina ketast ümber ajada, siis tekib masina pooluste ehk konduktorite vahel kõrge pinge tõttu **elektrisäde**, mis võib olla kuni 20 cm pikk. Seega kõrge pinge toimel kaotab õhk isoleerimisomaduse.

Elektrisädet saadavad järgmised nähtused ja toimed:

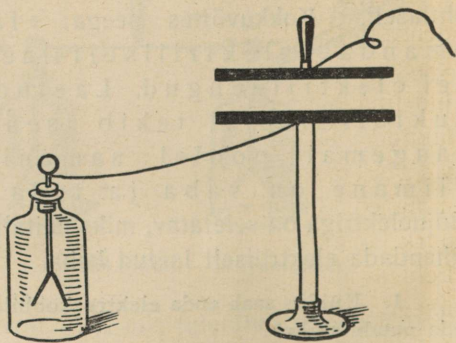
- 1) Valgusenähtus. Elektrisäde nagu välkki omab sakilist kuju ja sinakasvioletset värvust.
- 2) Ragin.
- 3) Soojusetoime. Eetriga niisutatud puuvillatükk süttib sädeme mõjul põlema.
- 4) Mehaaniline tegevus. Elektrisäde võib läbi lüüa papi, klaasi jne.
- 5) Füsioloogiline toime. Juhtides elektrisädeme näiteks kätesse tunneme iseloomulikku elektrilööki.
- 6) Keemiline toime. Õhus olev hapnik muutub osooniks (O_3), mida võib tunda erilise lõhna järgi.

163. Kondensaator. Ühendame isoleerivale alusele asetatud metallplaadi traadi kaudu elektrooskoobiga ja anname siis plaadile suure elektrilaengu, et elektrooskoobi hälve oleks küllalt suur. Kui



185. joon.

Influentselektrimasin.



186. joon. Kondensaatori printsiip.

lähendame nüüd metallplaadile teise samasuguse metallplaadi, mis traadi kaudu maandatud, siis näeme, et mida lähemale toome isoleeritud plaadile maandatud metallplaadi, seda väiksemaks muutub elektrooskoobi lehekese 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 mõju- elektri 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.

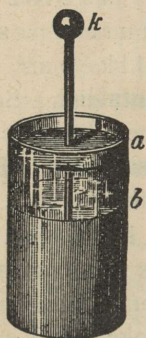
Seega keha, mille lähedal asetseb teine maaga ühendatud keha, mahutab suurema elektrilaengu kui üksik metallkeha. Sel puhul öeldakse, et keha omab suuremat **elektrimahutavust**. Seadist, mis koosneb kahest isoleeriva kihiga eraldatud metallplaadist ja mille elektrimahutavus on suur, nimetatakse **kondensaatoriks**. 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.

164. Tehnilised kondensaatorid. Tuntumaid ja vanemaid kondensaatoreid on **Leideni purk** (187. joon.). See koosneb silindrilisest klaasanumast, mille väline ja sisemine pind kuni $\frac{3}{4}$ 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, välimine ehk ülemine ots on varustatud metallkuuliga. 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.

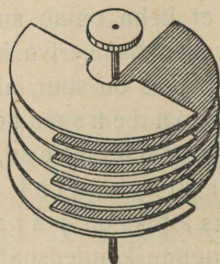
Plokk-kondensaator koosneb kahest tinapaberi ribast, mis isoleeritud üksteisest parafiiniga immutatud paberiga. Need ribad on keeratud rulli, seega tarvitab säärane kondensaator vähe ruumi.

Plokk-kondensaator omab suurt mahutavust, kuid teda ei või laadida kõrgepingeni.

Radiotehnikas tarvitatakse laialt muutliku mahutavusega **pöörd-kondensaatorit**. See koosneb kahest rühmast metallsektoreist, mida võib pöörata üksteise vahele. Kondensaatori mahutavust mõõdetakse niisama suure mahutavusega kerakujulise kondukatori raadiuse pikkusega. Näiteks 600-cm mahutavusega pöördkondensaator omab niisama suurt mahutavust kui kera, mille raadius on 600 cm; 2 000 000 cm mahutavusega plokk-kondensaatori mahutavus on võrdne kera mahutavusega, mille raadius on 20 km.



187. joon. Leideni purk.



188. joon. Pöördkondensaator.

Leideni purgi mahutavus on tavaliselt 400—2000 cm.

Suuremaiks mahutavusühikuiks on mikrofarad (μF) ja farad (F). 1 mikrofarad on 900 000 cm; 1 farad on 1 000 000 mikrofaradit.

1. Kui suur on Maakera elektrimahutavus cm-eis?
2. Kui suur on kera raadius, mille mahutavus on 1 mikrofarad?
3. Kui suur on kera raadius, mille mahutavus on 1 farad?
4. Leia Päikese elektrimahutavus faradites?

Õhuelekter.

165. Välk. Et välk on suur elektrisäde, seda näitas esimesna 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 üheaegne on alati müristamine, kuid et hääle levimiskiirus on väiksem kui valguse levimiskiirus, siis kuuleme müristamist pisut hiljem. 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 soovitatav minna äikese ajal varju üksiku kõrge puu alla.



189. joon. Öine välk.

166. 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 piksevarda. Piksevarras on jäme terava otsaga metallvarb. (Liiga peenike varb võib välgu mõjul kuumaks minna ja ära sulada.) Ta kinnitatakse maja katusele või kirikutorni otsa 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 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 (vastuvõtmissosa) pikkusega. Suurtel hoonetel on seepärast mitu piksevarrast.

Varemini arvati, et piksevarda ülemine ots ei tohi olla roostene, mispärast see sageli oli kullatud. Uuemat 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, mändid jne. piksevarda aset täita?

Elektrivool ja selle omadused.

167. Elektrivoolu mõiste. Elektrivool on igapäevses elus ja tehnikas laialdaselt rakendatud: elektrihõõglambis paneb elektrivool peenikese metallniidi hõõguma, mida tarvitatakse valgusallikana, triikraua kuumaks ajamiseks juhime triikraust 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 isekõrgused. 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.

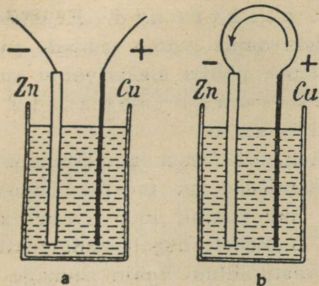
168. Galvaani element. Kestva elektrivoolu annavad seadised, mis põhinevad järgmisel nähtusel.

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. Siin kirjeldatud seadist, mis annab kestva elektrivoolu, nimetatakse **elektri- ehk galvaani elemendiks**. Põhjust, mis hoiab elektrilemendis alal pinge, nimetatakse **elektromotoorseks jõuks**. Elektromotoorse jõu suurust mõõdab pinge, seega selle ühikuks on volt (V).

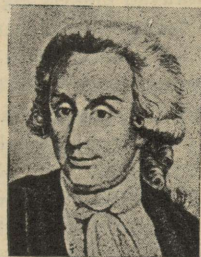
Sõna „galvaani“ tuleneb itaalia loodusteadlase L. Galvani nimest, kes esimesena avastas nähtuse, millel põhineb galvaani element. Õige seletuse aga sellele nähtusele andis esimesena itaalia füüsik A. Volta.

Metallplaat, mis omab positiivset laengut, antud juhul vask, nimetatakse **anoodiks**, teist, negatiivselt laetud plaati nimetatakse **katoodiks**, mõlemaid aga elemendi **elektroodideks**.



190. joon.

Avatud ja suletud galvaani element.



191. joon. L. Galvani.

Seejuures nimetatakse vedelikust välja ulatuvate elektrodide otsi, mille vahel on elektripinge — **poolusteks**. Eristatakse positiivset ja negatiivset poolust vastavalt nende laengu märgile.

Katsed näitavad, et elemendi elektromotoorne jõud ei olene elemendi plaatide suurusest, vaid ainult elektrodide 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**.

169. 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 M. Ampère'i nimest (vt. lk. 177).

170. Elektrivool kui elektronide vool. Elektrivoolu puhul meie kujutleme, et midagi, mis meie nimetame elektriks, voolab ühelt vooluallika pooluselt teisele poolusele. Elektrivoolu võrdlesime vee või gaasi vooluga

torudes. Siiski erineb elektrivool suuresti neist. Vee, samuti ka gaasi voolu torus võime teha nähtavaks, kui näiteks tarvitame klaastorusid ja sinna puistame kergeid kehakesi, näiteks korgiraasukesi. Seevastu elektrivoolu nähtavaks teha või teisel teel otseselt tajuda pole üldse võimalik. Elektrivoolu olemasolu oletame ainult ta toimete kaudu (soojuse, magnetiline jt. toime). Uuemad füüsikalised uurimised põhjustavad oletuse, et elektrivoolu metallides, seega ka elektrijuhtmetes, moodustavad metallides vabalt liikuvad elektri algosakesed ehk nn. elektronid. Et elektronid omavad negatiivset elektrilaengut, siis elektronide voolu suund on just vastupidine suunaga, mis tehnikas kokkuleppe põhjal elektrivoolu suunaks on võetud, seega voolavad elektronid negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele.

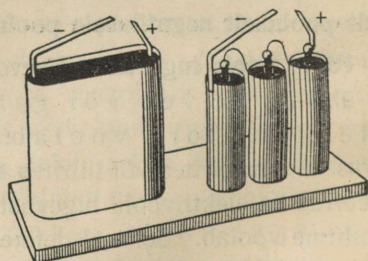
Et elektrone on olemas kõikides kehaes, seega ka juhtmetes määratu suurel arvul, siis elektrivoolu tekitamiseks on tarvilik panna nad liikuma. Vooluallikaid võime kujutella kui pumpi, mis pumpavad elektrone vooluallikas positiivselt pooluselt negatiivsele poolusele. Seega vooluallika sees on voolu suund vastupidine voolu suunaga välisjuhtmes.

171. Galvaani elemente. Eespool-kirjeldatud elektrielemente tegelikult ei tarvitata, sest nende elektromotoorne jõud pole küllalt püsiv. Tarvitatavamad galvaani elemendid on järgmised.

Leclanché element. Selle katoodiks on tsink, anoodiks süsi, mida ümbritseb mangaani ülihapend. Vedelikuks on salmiaagilahus. Leclanché elementi tarvitatakse elekterkõlistajates, telegraafiaparatuurides jm. Ta elektromotoorne jõud on 1,4 volti, kuid pole küllalt püsiv.



192. joon.
Leclanché element.



193. joon. Taskulambi patarei.

Kuivelement. See element on sarnane Leclanché elemendiga, ainult ta vedelik on saepuruga ja muu sellēsarnase materjaliga muude-

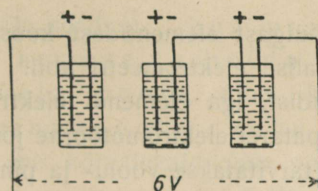
tud paksuks pudruks. Tavaliselt on kuivelement pealt kaetud pigiga. Kuivelemente tarvitatakse vooluallikatena telefoni- ja telegraafiaparatuurides, elekterkõlistajais ja mujal. Laialdast tarvitamist leiab kuivelement ka elektertaskulambis. Selles on voolu allikaks nn. taskulambi patarei, mis koosneb 3 kuivelementidist.

Lõhu tarvitatud taskulambi patarei ja vaata, millest koosnevad ja millise kujulised on selle elektroodid.

Danielli element. Selle elemendi anoodiks on vask vasevitrioolilahuses ja katoodiks tsink nõrgas väävelhappelahuses. Mõlemad vedelikud on teineteisest eraldatud poorse vaheseinaga. Danielli elemendi elektromotoorne jõud on püsiv ja võrdub 1,1 voldiga.

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.

172. Elektripatarei. Kõrgemate pingete saamiseks lülitatakse mitu elementi järjestikku (jadalülitus), s. o. ühe elemendi positiivne



194. joon. Jadalülitus.

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 elektromotoorsete jõudude summaga.

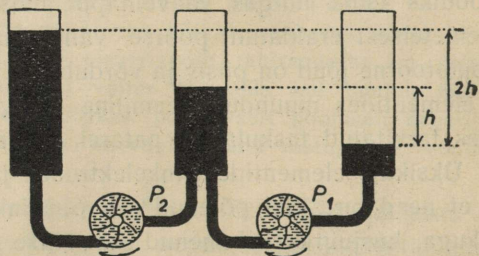
Olgu kõikide ühendatavate elementide elektromotoorsed jõud 1 volt. Seega esimese elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel on pinge 1 volt. Et esimese elemendi positiivse pooluse ühendasime teise elemendi negatiivse poolusega, siis esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi negatiivse 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 1×2 volti, jne.

1. Kui kõrge pinge annab patarei, mis koosneb 15 järjestikku ühendatud Leclanché elemendist?

2. Mitu Danielli elementi tuleb ühendada järjestikku, et nii saadud elektripatarei pinge oleks 220 volti?

Järjestikku ühendatud elementide tegevust võib võrrelda järjestikku ühendatud veepumpade tegevusega, millest igüks suudab anda teatava suurusega veetasemete vahe, seega hoida ka vastavat rõhuvahet.



195. joon. Järjestikku ühendatud veepumpad.

Mitimest 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.

Elektripatareid tarvitatakse voolu- ja pingeallikatena laialdaselt raadiotehnikas ning mujal. Raadiotehnikas tarvitavad 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.

173. **Elektrivoolu magnetiline toime.** Hoiame magnetnõela kohal voolujuhtme rööbiti magnetnõelaga, kuid viimasest pisut kõrgemal, nagu kujutatud 197. joonisel. Niipea kui juhime voolu läbi kirjeldatud juhtme, kaldub magnetnõel oma tavalisest põhja — lõuna suunast kõrvale.

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



André Marie Ampère [loe: ampäär], kuulsaim prantsuse füüsik ja matemaatik (1775—1836), avaldas teedrajavaid uurimusi elektromagnetismi alalt.

196. joon. A. M. Ampère.

seadus, ka parema käe seadus): kui parem käsi välja sirutada voolu suunas ja hoida seejuures peopesa magnetnõela poole, siis kaldub magneti põhjapoolus sinnapoole, kuhu näitab põial. Katsed näitavad, et see kõrvalekaldumine on seda suurem, mida suurem on juhete läbiva voolu tugevus. Selle nähtuse avastas taanlane Ørsted 1820. aastal.

174. **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-mõõteriistade ehitamisel.

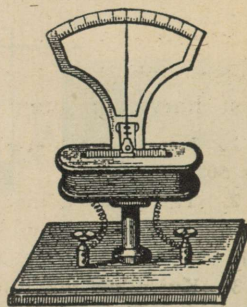
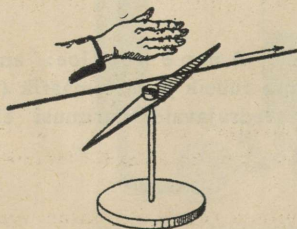
Lihtsa galvanoskoobi moodustab kompassinõel, mille ümber tõmmatud rida isoleeritud traadikeerde.

Vertikaal-galvanoskoopi kujutab 198. 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**.

175. Takistus. Veevoolu tugevus torus on seda nõrgem, mida peenem on toru. Seega võime rääkida toru takistusest veevoolule. Analoogiline nähtus esineb ka elektrivoolu puhul.



197. joon. Voolu mõju magnetnõelale. 198. joon. Vertikaal-galvanoskoop.

Võtame galvaani elemendi, tüki peenikest raudtraati ja ampermeetri — riista, mille abil mõõdetakse voolutugevust amprites. Ühendame elemendi ampermeetri pika raudtraadi kaudu, ja paneme tähele voolutugevust. Olgu, näiteks, voolutugevus 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 0,6 amprit. Tehtud katse näitab, et peenike raudtraat elektrivoolu läbiminenist takistab. Mida pikem traat, seda suurem on tema takistus ja seda väiksem voolutugevus. 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 läbilõige on 1 mm²**.

Katsed näitavad, et juhtme takistus oleneb juhtme pikkusest ja juhtme läbilõike suurusest: juhtme takistus on võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline juhtme ristiläbilõikega.

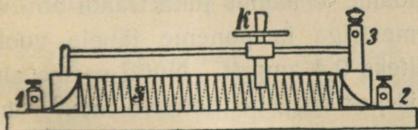
Juhtme takistus oleneb ka juhtme materjalist. 1 m pikkuse ja 1 mm² läbilõikega traadi takistust nimetatakse vastava aine eritakistuseks.

Järgmises tabelis on antud mõnede ainete eritakistused:

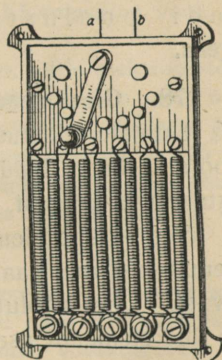
vask	0,02
alumiinium	0,03
raud	0,12
nikeliin	0,40
kroomnikkel	1,1

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 läbilõige on 0,5 mm² ja pikkus 50 m?
2. Tartu ja Tallinna vahelise telegraafiini 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 läbilõige 2 mm²?
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 mm² läbilõikega vasktraat, mille takistus on 1 oom? Kui pikk on samasugune hõbetaat?



199. joon. Rullreostaat.



200. joon. Väntreostaat.

176. 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** (199. joon.). See koosneb spiraalina isoleerivale silindrile keritud nn. **t a k i s t u s - t r a a d i s t**. 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, mis võimaldab muuta kontaktide 1 ja 3 vahele lülitatud keerdude arvu.

200. joonis kujutab **väntreostaati**. Seleta selle tegevust!

Takistustraadidena reostaatides tarvitatakse esijoones suure eritakistusega traate, nagu nikeliin-, kroomnikkeltraati jne.

177. 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**.

178. Ohmi seadus. Eespool nägime, et voolutugevus on ahela juhtmete takistusest ja vooluallika pooluste pingest ehk elektromotoorsest jõust. Nüüd vaatame lähemalt, kuidas on voolutugevus takistusest ja pingest.

Võtame ühe elemendi, ühendame ta kaunis 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 elektromotoorse jõu annab. Takistuse jätame endiseks. Voolu tugevust tähele pannes leiame, et ta on 0,8 amprit. Nii siis, elektromotoorset jõudu kaks korda suurendades suurenes kaks korda ka voolutugevus. Katsed näitavad, et alati, kui kõik muud tingimused

samadeks jäävad, on voolutugevus võrdeline elektromotoorse jõuga.

Vastavalt uurime voolutugevuse olenevust takistusest seega, et muutumatu pingega, 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

$$I = \frac{E}{R},$$

kus I on voolutugevus, E pingega, 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 pingega on 220 V ja takistus 1100 Ω ?

2. Kui suur on elektertriikraua takistus, kui 220-voldisel pingel on voolutugevus 2 A?

3. Metallniidiga elektri-hõõglamp, mille takistus on 100 oomi, on lülitatud valgustusvõrku, kusjuures lampi läbib 1,5-ampriline vool. Kui kõrge on pingega?

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 pingega 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?

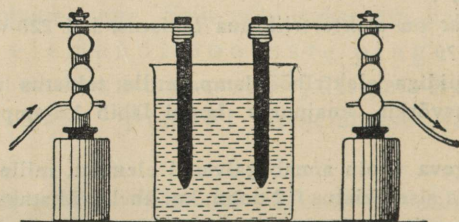
179. Mõõteriistad. Tavaliselt on galvanomeetri ja ampermeetri mähised valmistatud peenikesest traadist, mistõttu need suure voolutugevuse puhul võivad läbi põleda. Et mõõta ka suuri voolutugevusi, seks lülitakse riista klemmide vahele **h a r u t a k i s t u s**. Siis läheb osa voolu läbi harutakistuse, 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.

Pingega mõõtmiseks tarvitatakse erilisi riistu, **p i n g e m õ t j a i d**.

Pingemõõtja, mille astmikult võib lugeda otseselt pinget voltides, nimetatakse **voltmeetriks**. Igat galvanoskoopi võib ümber ehitada voltmeetriks. Seks lülitatakse riistaga järjestikku suur **eeltakistus**. 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 ahela osa takistus on väike võrreldes riistakistusega). Seega riista osuti hälve on võrdeline pingega. Voltmeeriga võime mõõta ka suletud vooluallika pinget. Seks tuleb voltmeeter lülitada ahelasse rööbiti voolu tarvitava riistaga. Üldiselt ampermeeter lülitatakse alati järjestikku ja voltmeeter rööbiti voolu tarvitava riistaga.

Elektrolüüs.

180. Vasevitrioli elektrolüüs. Kallame klaasanumasse, näiteks keeduklaasi, vasevitrioli lahust ja asetame sinna vedelikku kaks söepulka või platinapleki riba. Ühendame söepulgad või platinaribad 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.



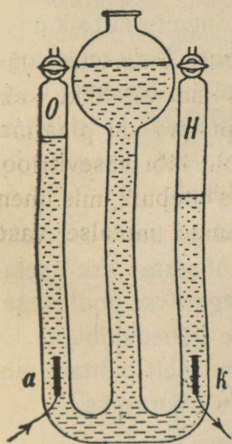
201. joon. Vasevitrioli elektrolüüs.

Katsed näitavad, et **elektrivoolu toimel lahutub keemiliselt vasevitrioli (Cu SO_4) lahus**. Niisugust keemilist lahutamist nimetatakse **elektrolüüsiks**, lahutatavat vedelikku, antud puhul vasevitrioli lahust, nimetatakse **elektrolüüdiks**. Seejuures söepulki või platinaribasid, mille kaudu juhatakse 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 puhul vooluahelasse lülitatud galvanomeeter ei näita voolu, mil-

lest järeldame, et destilleeritud vesi ei juhi elektrivoolu. Alles kui veele lisandame hapet, soola või leelist, hakkab vesi elektrit juhtima, kusjuures toimubki keemiline lahutamine.

181. Vee elektrolüüs. Juhime elektrivoolu läbi vee, millele juurde lisatud väävelhapet, teiste sõnadega, läbi väävelhappe lahuse. Niipea kui voolu ühendame, algab elektrodidel elav gaasimullide tekimine, mis sealt veepinnale tõusevad. Et paremini uurida tekkinud gaase, seks tarvitame riista, nagu seda 202. joon. kujutab. Riista mõlemasse äärmisse harusse on juhitud platinast elektrodid. Elektrivoolu läbimisel tekivad elektrodidel gaasimullikesed, mis mööda torusid üles tõusevad ja kogunevad suletud kraanide puhul torude ülemistesse otsesse, 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 mehaaniline segu moodustab nn. **paukgaasi**. Et vesi koosneb hapnikust ja vesinikust ruumala vahekorras 1 : 2, siis järeldame sellest katsest, et elektrivool läbibes väävelhappe lahutab vee keemilisteks algosadeks — hapnikuks ja vesinikuks.



202. joon.
Vee elektrolüüsi riist.

Nii võib elektrivoolu abil lahutada ka teisi soolalahuseid, seebikivi jne. Seejuures elektrolüüsil vabanenud vesinik ja metallid kogunevad alati katoodile, ülejäänud ained anoodile.

Katsed näitavad, et ajaühiku kestel lahutatud aine hulk on 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?

182. Elektrolüüsi rakendamine. Elektrolüüsi nähtused leiavad laialdast praktilist tarvitamist kehade õhukese metallikihi katmisel (kuldamisel, hõbetamisel, nikeldamisel), reljeefkujude kopeerimisel, keemiliselt puhta metalli (vase, alumiiniumi jne.) saamisel.

Esemetest reljeefkujude saamine (galvanoplastika) toimub järgmiselt. Antud esemest (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, vasevitrioolilahus. 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 täppis positiivkuju.

Kui elektrolüüsi abil soovitakse näiteks hõbedaga katta esemeid, siis elektrolüüdiks võetakse hõbedasoola lahus, hõbetatav ese asetatakse sinna vedelikku ja ühendatakse vooluallika negatiivse poolusega. Voolu läbimisel katoodiks olev ese kattub õhukese hõbedakihi. Et elektrolüüdil katoodile kogunenud metallid on keemiliselt puhtad, siis tarvitatakse seda meetodit sageli puhtate metallide saamiseks.

183. Polarisatsioonivool. Eelmistes katsetes tarvitati plaatinast või söest elektroode, sest nendesse ainetesse ei mõju keemiliselt elektrolüüsil lahutatud ained.

Võtame nüüd elektrodideks seatinapleki ribad, mis paigutame 10—15% väävelhappe lahusesse kui elektrolüüti. Seatina on aine, mis juba õhus ühineb kergesti hapnikuga, tekitades seatina pinnal oksüüdikihi.

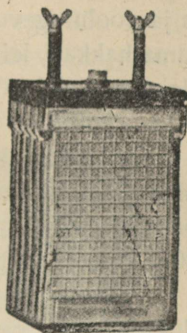
Voolu läbimisel anoodil tekkinud hapnik ühineb seatinaga, moodustades nn. seatina superoksüüdi, kuna katoodil tekkinud vesinik ühineb seal oleva oksüüdi hapnikuga veeks, seetõttu vabaneb oksüüdist seatina, mis moodustab katoodil poorse kihi. Lülitame vooluahelast vooluallika välja ja ühendame elektrolüüdis olevad elektrodid traatide kaudu läbi galvanomeetri. Galvanomeeter näitab nüüd vastu-

suunalist elektrivoolu. Selle allikaks on nüüd elektrolüüt seatina elektrodidega. Seega voolu läbimisel tekkisid seal keemilised muutused, mille tagajärjel moodustavad seatina elektrodid väävelhappe lahuses galvaani elemendi, mille positiivseks pooluseks on pruunika värvusega anood, negatiivseks pooluseks helehall katood. Seda nähtust nimetatakse polarisatsiooniks, tekkinud algvoolule vastusuunalist voolu **polarisatsioonivooluks**.

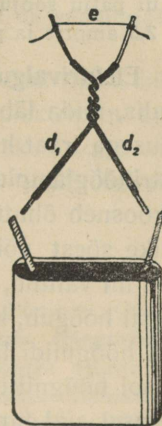
184. Akumulaatorid. Polariseerimise nähtusel põhinevad akumulaatorid. Et akumulaator annaks voolu, seks tuleb teda enne laadida. Laadimisel tekivad akumulaatoris keemilised muutused, ühtlasi koguneb sinna keemilist energiat, mis akumulaatori tarvitamisel tühjenemisel uuesti vabaneb. Seatina-akumulaatori pinge on umbes 2 volti.

1. Mitu seatina-akumulaatorit on tarvis, et saada pinge 220 volti?
2. Kus tarvitatakse akumulaatoreid?

Voolusoojus.



203. joon. Seatina-akumulaator.



204. joon. Voolusoojus.

185. Joule'i seadus. 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. Elektrivoolu läbimisel hakkab traat hõõguma, kusjuures ta seda heledamalt hõõgub, mida suurem on voolutugevus. Seega juhe, mida läbib elektrivool, soojeneb. Et määrata soojushulka, mis tekib voolu toimel juhtmes, paigutatakse takistustraata kalorimeetris olevasse vette ja jälgitakse vee temperatuuri tõusu teatava aja kestel. Vastavad katsed näitavad, et **elektrivoolu toimel traadis tekkinud soojuse hulk on võrdeline voolutugevuse ruuduga, juhtme takistusega ja voolu kestusega** (Joule'i seadus) ehk lühidalt:

$$Q = 0,24 i^2 r t,$$

kus Q on kaloreis mõõdetud soojushulk, i — voolutugevus ampreis, r — juhtme takistus oomides ja t — voolu kestus sekundis.

Joule'i seadusest järgneb, et elektrivoolu toimel soojeneb see osa juhtmest, mille takistus on suur (näiteks hõõgniit elektripirn), kuna see osa juhtmest, mille takistus on väga väike, ei soojene märgatavalt (juhtmed, mille kaudu juhitakse vool tarvitajaile).

1. Kui palju soojust tekib reostaadis 1 sekundi kestel, kui reostaadi takistus on 44 oomi ja voolutugevus 5 amprit?

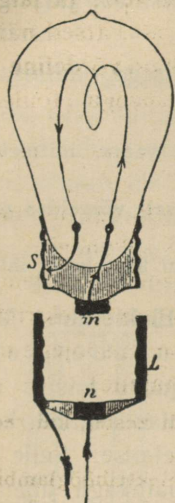
2. Kui palju soojust tekib 1 tunni kestel elektrihõõglambis, kui hõõglambi takistus on 1 000 oomi ja voolutugevus on 0,1 amprit?

3. Kui palju soojust tekkis elekterkütjas 10 min. kestel, kui voolutugevus oli 2,5 amprit ja pinge 220 volti?

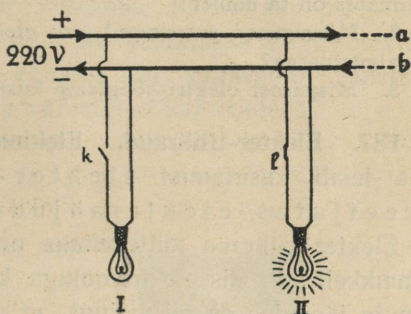
186. Elektrivalgustus. Hõõglamp. Nähtus, et elektrivoolu toimel traadis, mida läbib vool, tekib soojus ja voolutugevusele vastava jämedusega traat hõõguma ning helenduma hakkab, leiab kasutamist **elektrihõõglampides**. Th. A. Edisoni leiutatud elektrihõõglamp ehk -pirn koosneb õhutühjast klaaspirnist, millesse on paigutatud peenike söest või metallist hõõgniit. Hõõgniidi jämedus ja pikkus on nii valitud, et ta antud pingel puhul voolu läbimisel parajasti heledasti hõõgub, kuni 2000°C . Õhk on pirnist välja pumbatud, et takistada hõõgniidi läbipõlemist. Jälgi 205. joonise järgi, kuidas juhitakse vool hõõgniiti.

Praegusel ajal tarvitatakse söeniiti elektrilambis väga harva, sest nad tarvitavad suhteliselt palju voolu. Praegu tarvitatavate elektripirnide hõõgniidid valmistatakse raskesti sulavast metallist, tantalist, osmiumist, eriti aga volframist (mille sulamistemperatuur on umbes 3500°C) või nende sulameist. Vähesed voolu tarvitamisega on eriti gaasäitega hõõglambid. Nende elektripirnid on täidetud lämmastikuga, mis ei ühine keemili-

selt hõõgniidiga. 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-voldilisse elektri-



205. joon. Hõõglamp.



206. joon. Hõõglampide lülitus.
k ja l on kustutajad.

pirni 220-voldilise pingega vool, siis põleb elektripirn läbi, ümberpöörduvalt aga 220 volti tarvis ettenähtud elektripirn 110-voldilisel pingel hõõgub nõrgalt. Elektripirnid kruvitakse vastavaisse pesadesse, mille kaudu juhitakse vool elektripirni. Kõik elektripirnid lüli-



207. joon. T. A. Edison.

Thomas Alva Edison (1847—1931) oli alul ajalehemüüja, siis telegrafist, hiljemini New York'i lähedal oleva tehnilise laboratooriumi juhataja. Omandas ülemaailmalise kuuluse oma leiutistega, millest peale hõõglambi on tähtsamad fonograaf, kinematograafi aparaat jt.

tatakse vooluvõrku rööbiti, mis võimaldab neid üksikult „süüdata“ ja „kustutada“. Seega igal lambil on tavaliselt oma lüüti või kustutaja,

mille abil elektripirni läbiv vool kas ühendatakse (süüdatakse) või katkestatakse (kustutatakse).

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.

Tubased juhtmed on isoleeritud kummimähisega, millesse nad on paigutatud.

1. Lõika isoleeritud traadi küljest tükk ja vaata, mitmekordne kummimähis on ta ümber!
2. Missugused paremsused on elektrivalgustusel võrreldes petrooleumivalgustusega?
3. Mispärast elektri-hõõglamp kustub kohe, kui kest katki läheb?

187. Elekter-triikraud. Elekterkeetjad. Elekterahi. Voolusoojus leiab kasutamist elekter-triikraudades, elekterkeetjates, elekterahjudes ja paljudes teistes riistades. Elekter-triikraua **küttekehaks** on vilgukiviplaadi ümber keritud kroomnikkeltraat, mis elektrivooluga kuumaks aetakse. Selle traadi pikkus ja jämedus on nii valitud, et teda vooluallikaga ühendades



208. joon. Elekter-triikraua küttekeha.

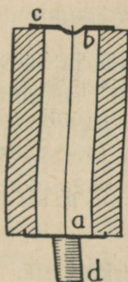
kuumeneb ta paraja temperatuurini. Küttekehalt levib soojus mööda triikrauda laiali. Samasugused küttekehad on ka elekterkeetjates ja elekterahjudes. Elekterkeetja tuleb enne voolu ühendamist veega täita, vastasel puhul võib ta läbi põleda.

188. Lühiühendus. Juhtmed, mille kaudu toimetatakse elektrivool elektrijaamast tarvitajaile, on võrdlemisi jämedad vasktraadid. Seetõttu on nende takistus elektrivoolule väga väike. Pisut peenemad on need juhtmed, mida tarvitatakse tubades elektriseadmes, kuid ka nende takistus elektrivoolule on väga väike. Teisiti on lugu väga peenikese söest või metallist hõõgniidiga elektripirnis. Selle takistus elektrivoolule on väga suur.

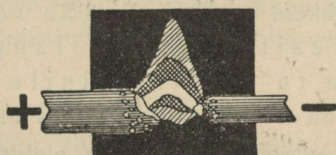
Igas riistas, kus elektrivoolu tarvitatakse, on osa juhtmeid suure takistusega, mistõttu elektrivool neis kunagi liiga suureks ei tõuse.

Kuid elektrivool võib tekkida ka otse elektrijuhtmete vahel, kui nad ühendusse satuvad mingi elektriseadise rikke tõttu või mõnel teisel põhjusel. Säärast ühendust nimetatakse **lühiühenduseks**. Nii-sugusel juhul kasvab vigastatud koha kaudu elektrivoolu tugevus väga suureks. Juhtmed võivad ise hõõguma hakata ja põhjustada tulikahju tekkimist.

189. Kaitsmed. Et juhtmeid, lampe jm. lühiühenduse eest kaitseda, seks lülitatakse vooluahelasse **kaitsmed**, milleks on peenike (tina- või hõbe-)traat, mis kohe ära sulab ehk „läbi põleb“, kui voolutugevus tõuseb üle lubatud piiri. Peenike kaitsetraat paigutatakse harilikult padrunisse (**kaitsekork**), mis keeratakse nagu elektripirn vastavasse pesasse. Seega on kaitsme ehk kaitsekorgi vahetamine lihtne. Kõik elektriseadised on varustatud kaitsmetega.



209. joon. Kaitsekork.



210. joon. Kaarleek.

190. 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 on seejuures metallide ainest, millede vahel tekkis säde: vask annab roheka, raud kollakaspunase valguse, jne.

Püsivama elektrisädeme võib tekitada kahe söepulga vahel. Kaks söepulka ühendatakse traatide kaudu vooluallikaga, mille pinge on vähemalt 40—50 volti, söed lähendatakse teineteisele nii, et nad üksteist puudutavad. Kokkupuute kohal 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 see-

juures positiivse poolusega ühendatud süsi. Et söepulgad ühtlasi ka põlevad, siis tuleb neid aeg-ajalt teineteisele lähendada.

Elektri kaarleeki tarvitati varemini suurlinnades tänavate valgustamiseks, praegusel ajal tarvitatakse kaarleeki peamiselt kino- ja projektsiooniaparatuurides, kiirteheitjais ja mujal. Et kaarleegi temperatuur on väga kõrge — kuni 4000°C , siis tarvitatakse seda ka **elektrilistes sulatamisahjudes**.

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.

191. Voolu võimsus ja energia. Paljudes jahu- ja saeveskites pannakse vesiturbiinid käima veejõul. Veejõud suudab 1 sekundi kestel seda rohkem tööd teha, mida rohkem vett sekundi kestel vesiturbiinile langeb ja mida suuremat rõhku ta vesiturbiinile avaldab, s. o. mida kõrgemalt vesi turbiini langeb.

Analoogiliselt suudab elektrilampides, elekterkeetjais, elektrimootoreis ja mujal voolav elekter — elektrivool — seda rohkem tööd teha, mida rohkem voolab 1 sek. kestel elektrit juhtmetest läbi ja mida kõrgem on ta pingeline.

4-voldilise elektrivooluallika (patarei) poolustega ühendame elektrihõõglambi. Mõõtmine näitab, et temast läbib näiteks 0,5-ampriline vool, kusjuures lamp heledasti hõõgub. Sellega rööbiti ühendame teise samasuguse elektrihõõglambi, mis niisama heledasti põleb. Nüüd näitab mõõtmine, et kogu voolutugevus on $2 \times 0,5 = 1$ amper, 3 lambi puhul $3 \times 0,5 = 1,5$ amprit, jne. Neid lampe võime niisama heledasti põlema panna, kui neid ühendame järjestikku, kuid siis on tarvilik kahe lambi puhul pingeline 8 volti, 3 lambi puhul — 12 volti, kusjuures voolutugevus on alati 0,5 amprit. Seega 4-voldilise pingeline ja 1-amprilise voolutugevuse juures on voolu võimsus niisama suur kui 8-voldilise pingeline ja 0,5-amprilise voolutugevuse puhul. Mõlemal puhul põlevad kaks lampi ühe heledusega. Korrutis voolutugevusest on mõlemal puhul võrdne 4-ga. Samuti on ka 4-voldilise pingeline ja

1,5-amprilise voolutugevuse puhul voolu võimsus niisama suur kui 12-voldilise pingel ja 0,5-amprilise voolutugevuse puhul. Korrutis voolutugevusest ja pingest on nüüd mõlemal juhul 6. Arvestades seda, kuidas arvutatakse veevoolu võimsus, ja eelmist näidet, järeldame, et **voolu võimsus on võrdne voolu tugevuse ja pingel korrutisega ehk lühidalt**

$$W = IE,$$

kus W on voolu võimsus, I voolu tugevus ja E pingel.

Voolu võimsuse ühikuks on **1 vatt (W)**. 1 vatt on voolu võimsus, kui voolutugevus on 1 amper ja pingel on 1 volt, seega

$$1 \text{ vatt} = 1 \text{ volt-amper.}$$

Suuremaks võimsusühikuks on **1 kilovatt (kW)**. 1 kilovatt = 1000 vatti.

Üldiselt masina võimsus korrutatult aja kestusega annab tehtud tööhulga. Seega ka **voolu töö võrdub voolutugevuse, -pingel ja -kestuse korrutisega**. Vooluenergia ühikuks on **vatt-tund** ja **kilovatt-tund**. 1 kilovatt-tund = 1000 vatt-tundi.

Näide. Elekterkeetja 220-voldilisel pingel tarvitab 2,5-amprilist voolu. Kui suur on siin voolu võimsus ja kui palju tarvitab elekterkeetja vooluenergiat 30 minuti kestel?

Lahendus. Voolu võimsus antud puhul on $220 \times 2,5$ vatti = 550 vatti. Voolutöö 30 minutit = $\frac{1}{2}$ tunni kestel on: $550 \times \frac{1}{2}$ vatt-tundi = 275 vatt-tundi = 0,275 kilovatt-tundi.

Vooluenergia mõõtmiseks varustatakse voolutarvitajaid nn. **voolumõõtljatega**. Voolumõõtja näitab otseselt äratarvitatud elektrivoolu energiat kilovatt-tundides või selle osades. Tavalistes mõõtljates 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 elektri-jaama ametnik vastava arve ja saadab siis selle elektrivoolu tarvitajale.

1. Kui palju elektrienergiat tarvitab hõõglamp 10 tunni kestel, kui voolutugevus hõõglambis on 0,1 amprit ja pingel 220 volti?

2. Mis läheb niisugune hõõglambi tarvitamine maksma 1 kuu kestel, kui keskmiselt iga päev põleb lamp 6 tundi ja 1 kilovatt-tund elektrienergiat maksab 24 senti?

3. Kui palju maksab 400-vatise elekter-triikraua tarvitamine tunnis?

4. Mitu 25-vatist lampi võib süüdata ühes 400-vatilise elekter-triikrauga, kui kaitsmed 4-amprilise voolu puhul läbi põlevad?

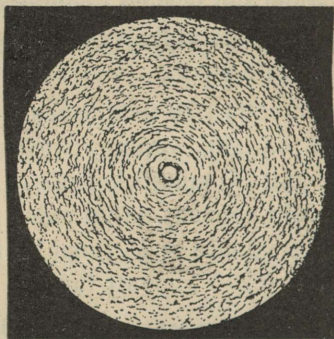
5. Mitu amprit läbib 25-vatelist hõõglampi 220-voldilise ja 110-voldilise pingepuhul? Kui suur on voolutugevus 400-vatilisest elektritriikrauas, kui pinget on 110 volti?

6. Kui palju elektrienergiat kulub 1 liitri vee keemiseks, kui vee algtemperatuur on 12°C, arvestades seejuures, et soojust läheb kaduma 20%? Kui palju läheb see maksma?

7. Kui suured kaitsmed peavad vähemalt olema elektriseadmel, kui maksimaalne voolu tarvitus on 1 kilovatt ja pinget on 220 volti?

Voolu magnetiline toime.

192. Voolu magnetivälja nähtavaks tegemine. Nägime, et elektrivool avaldab mõju magnetnõelale. 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



211. joon. Magnetivälja voolu ümber.

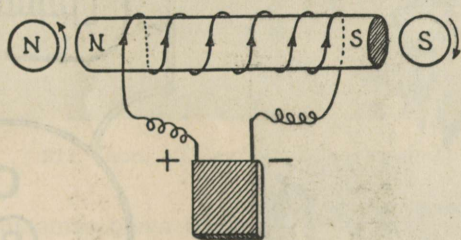
nüüd papitükki nõrgalt koputada, siis asetub rauapuru traadi ümber konsentriliste ringidena, mille keskpunktiks on traat. See näitab, et **voolu ümbritseb magnetiväli**, kusjuures magneti tungjooned asetsevad ringjoontena ümber voolujuhtme. Tundliku magnetnõelaga võib magneti tungjooni jälgida ka kaugemal. Magnetnõel asetub rööbiti tungjoontega, kuna voolujuhtmega on ta seejuures, nagu nägime, risti.

Tarvitades sirge traadi asemel ringikujulist traati, siis selles voolu mõjul tekkinud magneti tungjooned läbivad risti ringi tasapinnaga. Seega vooluring moodustab väga lühikese magneti. Tugevama magnetivälja annab spiraali keeratud voolujuhe, sest siin kõikide

keerdude magnetiväljad liituvad. Nagu iga teine magnet, nii omab ka spiraal, mida läbib elektrivool, kaks poolust. Põhjapoolus asetseb selles otsas, kus voolu suund on, vaadates spiraali otsa kohal, vastupidine kellaosuti liikumise suunaga, ja lõunapoolus selles spiraaliotsas, kus voolu suund ühtib kellaosuti liikumise suunaga.

193. Elektromagnet. 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, järelkult ka raua magnetism peaaegu täiesti.

Raudpulka, mille ümber on mähitud isoleeritud juhe, mida mööda läheb elektrivool, nimet. **elektromagnetiks**. Elektromagneti poolused määrab voolu magneti tungjoonte suund. Põhjapoolus on



212. joon. Elektromagnet.

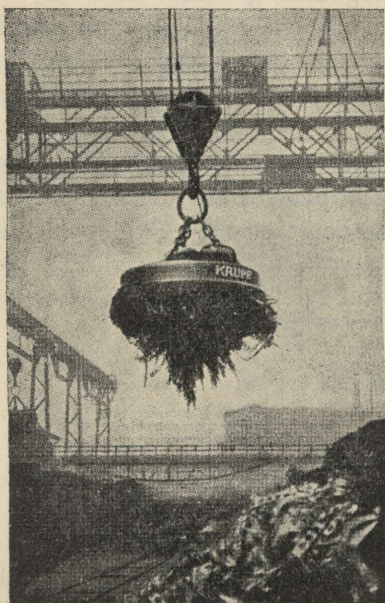
seal, kus voolu tungjooned elektromagnetist väljuvad, s. o. selles otsas, kus voolu suund on ümber elektromagneti vastupidine kellaosuti liikumise suunaga.

Elektromagnetid on märksa tugevamad kui niisama suured harielikud magnetid. Kuju poolest on elektromagnetid väga mitmesugused: sirged, hobuseraua-kujulised jne.

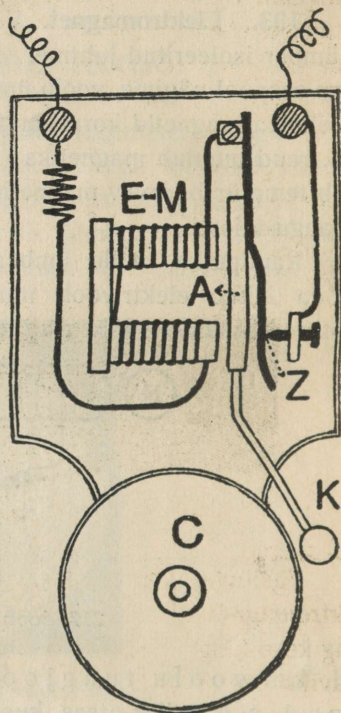
Üht niisugust tugevat kellakujulist elektromagnetit kujutab 213. joon. Niisuguseid elektromagneteid kasutatakse tehastes ja mujal rauatükkide eraldamiseks teistest metallitükkidest.

Veel leiab elektromagnet laialdast praktilist tarvitamist mitmesuguste riistade ja masinate ehitamisel, nagu elekterkõlistajas, telegraafis, telefonis, elektrimootoris jne.

194. **Elekterkõlistaja.** Elekterkõlistaja ehitust ja tegevust kujutab 214. 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



213. joon. Kellakujuline elektromagnet.



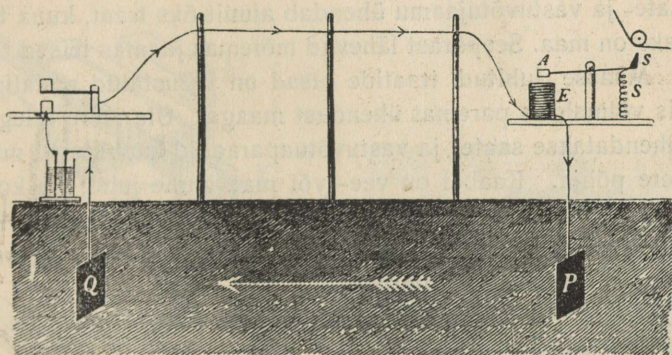
214. joon. Elekterkõlistaja.

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 eemaldus nüüd vedru kruvist; seetõttu katkeb vool ja vedru rõhub ankru endisse seisangusse, 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.

1. Kus ja milleks tarvitatakse elekterkõlistajat? Missugust elementi ja traati tarvitatakse elekterkõlistajas?

2. Joonesta skeem, kuidas elekterkõlistajat mitmest kohast helisema panna!

195. **Telegraaf.** Telegraafi tarvitatakse teadete edasisaatmiseks elektrivoolu kaudu kaugel maa taha. Telegraafijaama tegevust selgitab 215. joonis, kus ühel pool on **saatejaam** ühes vooluallikaga (galvaani elementide patareiga) ja võtmega ning teisel pool **vastuvõtijaam** sõnumeid üleskirjutava telegraafiaparaadiga. **Võtme** ülesanne on voolu ühendada; see toimub võtme allavajutamisega.



215. joon. Telegraafijaama kavand.

Vastuvõtijaamas oleva **telegraafiaparaadi** tähtsamaks osaks on **elektromagnet E**. Elektromagneti lähedal on ankur **A**, mis kinnitatud kangikese külge. Kangikese teises otsas on pliitsi või nõel. Pliitsi teraviku ees on liikuv paberlint.

Saatejaamas võtme allavajutamisega ühendatakse vool, see läheb postidele kinnitatud juhtmete kaudu vastuvõtijaama ja läbib seal telegraafiaparaadi elektromagneti. Elektromagnet tõmbab ankru enda külge, vajutades seega pliitsi liikuvale lindile. Katkestame voolu, siis tõmbab vedru **S** ankru magnetist eemale ning pliits ei puuduta enam linti.

Vajutab telegrafist võtme alla ainult üheks hetkeks, siis on voolu kestus väga lühike ja pliits märgib paberile täpi; hoiab telegrafist võtme pisut kauemini all, siis ilmub lindile kriips. Neist täppidest ja kriipsudest on koostatud telegraafitähestik. Seda tähestikku kutsu-

takse telegraafi aparaadi leiutaja ja tähestiku koostaja S. Morse'i (l.: mors) järgi **Morse'i tähestikuks**. Selle leiutise tegi ta 1832. a.

Morse'i tähestik.

a .—	g —.—	m —.—	s ...	y —.—
b —.—	h ...	n .—	t —	z —.—
c —.—	i ..	o —.—	u —.—	ae —.—
d ..	j .—	p .—	v ...	oe —.—
e .	k —.—	q —.—	w .—	ue ..—
f ..—	l ..—	r .—	x —.—	ch —.—

Saate- ja vastuvõtijaamu 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. Üle mere telegrafeerimisel ühendatakse saate- ja vastuvõtuaparaadid **kaablitega**, mis lastakse mere põhja. Kaabel on vee- või maa-alune juhe; ta koosneb mitmest vasktraadist, mis ümbritsetud mitmekordse isoleeriva kihiga.

Telegraafiaparaadid on nii ehitatud, et üks ja sama aparaat on ühtlasi saate- ja vastuvõtuaparaadiks.

Praegusel ajal tarvitatakse laialt Hughes'i (loe: juuz) nn. **tüüp-rõhu-telegraafiaparaate**, mis otseselt edasi annavad tavalisi kirjamärke.

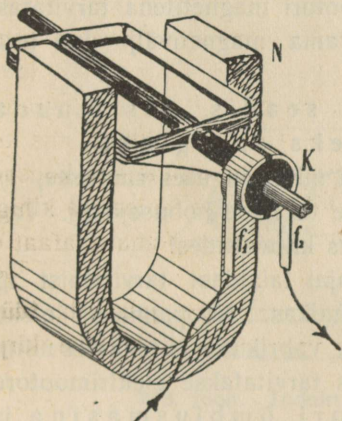
1. Mis tähtsus on telegraafil?
2. Kuidas on telegraafitraadid kinnitatud postidele?
3. Mis paremused ja halbused on maa-alustel kaablitel võrreldes postidele tõmmatud nn. õhuliinidega?
4. Valmista mingi sõnum edasisaatmiseks telegraafilisel teel. Mida tuleb siinjuures silmas pidada?

196. Elektrimootor. Eespool nägime, et magnetinõel kaldub oma tavalisest põhja—lõuna suunast kõrvale, kui asetada temaga rööbiti juhe ja siis sellest juhtmest läbi juhtida elektrivool. Seejuures magnetnõel püüab asetuda risti vooluga. See mõju on vastastikune: kui tarvitada liikuvat voolujuhet ja paigalseisvat magnetit, siis hakkab liikuv juhe, mida läbib elektrivool, magneti mõjul liikuma.

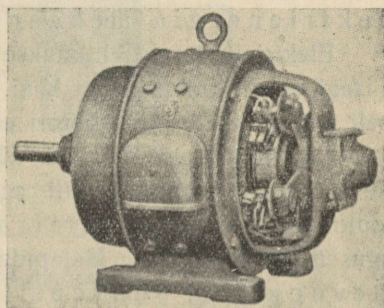
Asetame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, mis võib horisontaalse telje ümber pöörelda (216. joon.). Raamile on keritud rida traadikeerde ehk mähis.

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.



216. joon. Raami liikumine magnetiväljas.



217. joon. Elektrimootor.

Et raami liikumist magnetiväljas kestvaks muuta, seks tuleb iga kord kui raam võtab vertikaalse asendi, muuta raamile keritud mähises voolusuunda. Seks varustatakse raami pöörlemiselg seadise-ga, mida nimetatakse **kollektoriks**. Kollektori moodustab teljega ühendatud isoleeriv silinder, millele kinnitatud üks-teisest isoleeritud metallpoolringid ehk lamellid. Need lamellid on ühendatud mähise traadi otstega. Lamelle puudutavad vetruvad **harjad**, ja nimelt kumbagi lamelli ise hari, mille kaudu juhi-takse vool raamile keritud mähisesse. Harjad ja lamellid on nii pai-gutatud, et iga kord kui raam jõuab vertikaalsesse asendisse, libisevad harjad ühelt lamellilt teisele (216. 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**.

Elektrimootor koosneb seega liikuvast osast, mähisest, mida nimetatakse **ankruks, magneteist**, mis annavad magnetivälja, ja **kollektorist**. Ankrude pöörlemisjõud on seda suurem, mida tugevam on magnetiväli. Et kõiki magneti tungjooni koondada ankrumähisesse, seks varustatakse mähised raudsüdami kuga, millel on oma dus koondada magneti tungjooni. Ühe mähisega ankrude käik on ebaühtlane, samuti on sellel surnud punkt vertikaalses asendis, seetõttu varustatakse ankrud rohkem kui ühe mähisega, vastavalt sellele suurendatakse kollektori lamellide arvu: kahe mähisega ankrude puhul on kollektoril neli lamelli jne. Elektrimootori magnetitena tarvitatakse elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja kui teras-magnetid.

Seega elektrimootor on seadis, mis muudab elektrienergia mehaaniliseks energiaks.

Elektrimootoreid ehitatakse väga mitmesuguses suuruses, $\frac{1}{10}$ ja isegi vähem hobusejõust kuni mitme tuhande hobusejõuni. Tavaliselt märgitakse elektrimootori võimsus kilovattides.

Elektrimootorid leiavad nüüdisajal laialdast tarvitamist igapäevses majapidamises, eriti aga tehnikas. Nii pannakse elektrimootori abil käima elektritrammi, vabrikutes ja tehastes mitmesugused masinad jne. Majapidamises tarvitatakse elektrimootoreid ka evapumbas, õhuventilaatori, õmblusmasina jne. käimapanemiseks.

1. Missugused paremused on elektrimootoril võrreldes aurumasinaga ja plahvatusmootoriga?

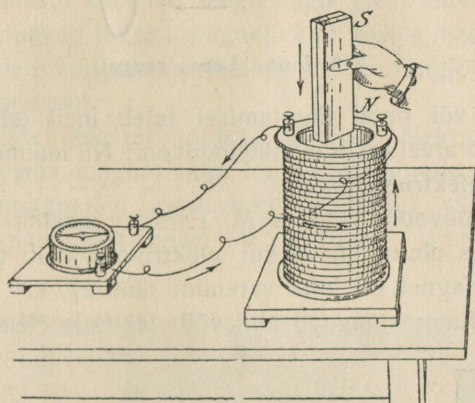
Induktsioonvool ja dünamomasin.

197. **Induktsioonvool.** Elektrivalgustuseks ja teisteks otstarveteks saab elektrivoolu elektrijaamas olevast **dünamomasinast** ehk **dünamost**. Dünamomasin põhineb järgmisel nähtusel.

Ühendame pooli mähise (mitmest traatkeermest 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 jääb galvanoskoobi osuti paigale.

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 vool ühendada või katkestada, suurendada või vähendada.

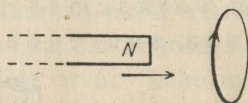


218. joon. Induktsioonvoolu tekkimine poolis.

Need ja teised sellelaadsed katsed näitavad, et kinnises poolis tekib alati elektrivool, kui muutub poolist läbiminevate 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 kiiremini liigutame pooli lähedal magnetit või teist pooli, mida läbib elektrivool. Täpsamalt: **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.

198. Lenzi reegel. Induktsioonvoolu suunda võib määrata mitme reegli abil, millest lihtsaim on Lenz'i reegel: Indutseeri-

tud vool on säärasesuunaline, et ta takistab seda voolu tekitavat liikumist. Lähendame poolile näiteks magneti põhjapooluse, siis tekib poolis induksioonvool, mille suund on säärane, et magneti põhjapoolusele lähemas pooli otsas tekib põhjapoolust tõukav poolus, seega ka põhjapoolus. Ümberpöörduvalt, viime poolist magneti põhjapooluse eemale, siis induksioonvoolu suund on säärane, et pooli lähemas otsas on lõunapoolus, mis takistab magneti põhjapooluse eemaldamist.



219. joon. Lenzi reegel.

Magneti või pooli liigutamisel tuleb meil teha tööd. Selle mehaanilise töö arvel tekib induksioonvool. Nii muundub siin mehaaniline energia elektrienergiaks.

Induksioonvoolu 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.



Michael Faraday, kuulus inglise füüsik (1791—1867), oli sepa poeg, astus noorena raamatukoitja õpilaseks, pääses oma andekuse ja töökuse tõttu Kuningliku Teadusliku Asutise laborandiks, hiljemini tõusis selle presidendiks. Avaldas teedrajavaid uurimusi elektriõpetuse alalt.

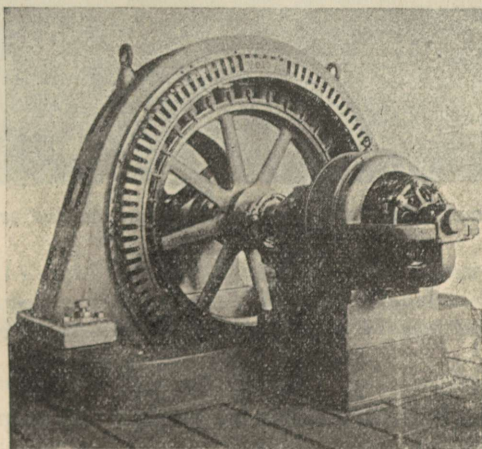
220. joon. M. Faraday.

199. Dünamo. Paigutame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, nagu seda kirjeldasime elektrimootori seletamisel 197. leheküljel. Pöörame raami seal telje ümber, siis tekib raamile keritud traadis induksioonvool, sest pöörlemisel lõikavad traadid magneti tungjooni. Et liikuvalt raamilt võtta elektrivoolu, seks ühendame mähise traadi otsad raami teljel olevate metallrõngastega. Neid rõngaid puudutavad metallvedrud või harjad, mille kaudu juhitakse tekkinud elektrivool välisjuhtmetele.

Raamile keritud mähises raami pöörlemisel tekkinud induksioonvool muudab iga kord voolusuunda, kui raami tasapind on vertikaalne, mida võib järeldada ka Lenz'i reeglist. Et saada alalist voolu, s. o. voolu, mille suund ei muutu, seks pöörlemisteljel olevad metallrõngad asendame üksteisest isoleeritud poolrõngastega ehk lamellidega ja need paigutame pöörlemisteljele nii, et iga kord kui muutub induksioonvoolu 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 dünamomasin.

Dünamomasin koosneb seega nagu elektrimootorigi **väljamagnetitest**, mis annavad tugeva magnetivälja. Selles magnetiväljas liigub nn. **ankur**, millele keritud traatmähis lõikab tungjooi ja milles siis tekib induksioonvool.

Väljamagnetitena tarvitatakse peamiselt elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja kui terasmagnetid. Alalise voolu dünamo väljamagneteid ergutatakse seejuures sama vooluga, mis tekib ankrus ankru pöörlemisel (W. Siemensi iseergutamispriinitsiip).



221. joon. Vahelduvvoolu dünamo e. generaator.

Vahelduvvoolu dünamo kollektor koosneb rõngastest, mida puudutavad kestvaht harjad.

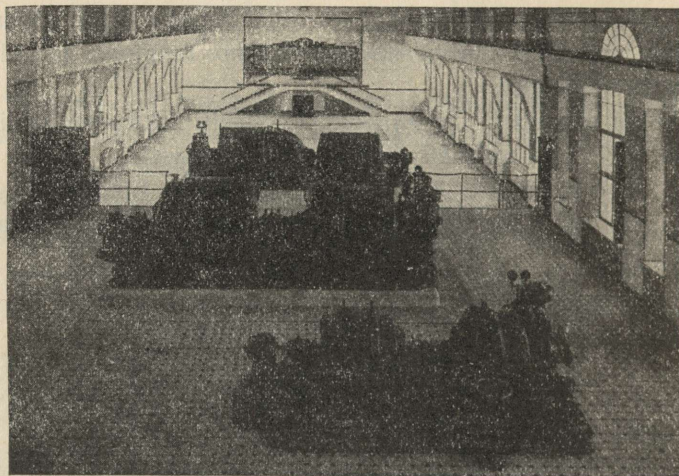
Nagu kirjeldisest järgneb, on dünamo ehitus samasugune nagu elektrimootorigi. Seega dünamomasinat võib tarvitada elektrimooto-

rina ja ka ümberpöördult, elektrimootor, kui ta ankrut ringi ajada, töötab dünamona. Mõlemaid neid nimetatakse elektrimasinaiks.

Sageli nimetatakse vahelduvvoolu elektrimasina liikuvat osa **rrootoriks**, paigalseisvat osa **staatoriks**.

Dünamod leiavad suurt kasutamist elektrivoolu andjatena elektrijaamades ja mujal. Praegusel ajal ehitatakse dünamoid kuni mitmekümne tuhande kilovatilise võimsusega.

Elektrijaamades pannakse dünamod käima auru, vee jne. jõul. Traatide kaudu juhitakse elektrivool sealt tarvitajaile.



222. joon. Tallinna linna elektrijaama masinateruum.

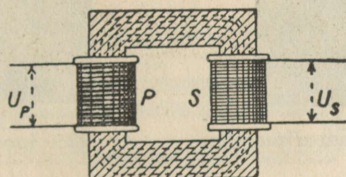
Eesti tähtsamad elektrijõujaamad on Ulila elektrijaam, mis varustab elektrivooluga Tartu linna ja Lõuna-Eestit, Ellamaa elektrijaam, mis varustab elektrienergiaga Tallinna, Tallinna linna elektrijaam, jne.

200. Transformaator. Induktsioonvool tekib poolis ka siis, kui temasse asetatud raudsüdamikuga varustatud poolist juhtida läbi vahelduvvool, sest ka siis suureneb ja väheneb poolist läbiminevate magneti tungjoonte arv. Sellel nähtusel põhinebki vahelduvvoolu **transformaator**. Transformaator koosneb seega ühise raudsüdamiku ümber keritud kahest poolist ehk mähisest. Kui juhtida vahelduvvool läbi nn. primaarse mähise, siis tekib induktsiooni tõttu vahelduvvool ka teises, nn. sekundaarses mähises.

Voolu, mis juhitakse läbi primaarse mähise ja tekitab induktioonvoolu, nimetatakse primaarseks vooluks, tekkinud induktioonvoolu — sekundaarseks vooluks.

Kui transformaatori sekundaarse mähise keerdude arv on suurem kui primaarse mähise keerdude arv, siis tekkinud sekundaarse voolu pinge on kõrgem kui primaarse voolu pinge, suurema takistuse tõttu on aga voolutugevus väiksem. Ümberpöördult on jälle sekundaarse voolu pinge madalam siis, kui sekundaarse mähise keerdude arv on väiksem kui primaarse mähise keerdude arv. Seega transformator on seadis, mis võimaldab muuta vahelduvvoolu pinget, kusjuures suureneb või väheneb pinge nii mitu korda, kui suur on primaarse ja sekundaarse mähise keerdude arvu suhe. Voolu võimsus jääb seejuures muutumatuks, sest pinge suurenemisel väheneb voolutugevus samas vahekorras või ümberpöördult. Selles mõttes räägitaksegi transformaatori **ülekande suhtest**. Näiteks raadiotehnikas tarvitatakse transformatoreid ülekande suhtega 1 : 4, s. o. iga primaarse mähise ühe keeru kohta tuleb sekundaarse mähise 4 keerdu.

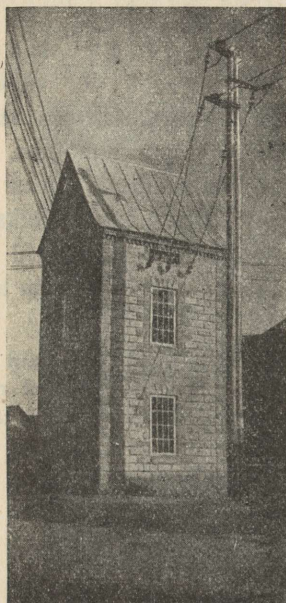
Tehnikas mõlemad mähised sageli ei kerita üksteise peale, vaid üksteise kõrvale ühise südamiküümber. Et seejuures energia kaod raudsüdamiküümber magnetiseerimisel oleksid võimalikult väikesed, seks tarvitatakse kinnisi raudsüdamikke, s. o. raudsüdamikke, mis moodustavad kinnise ringi.



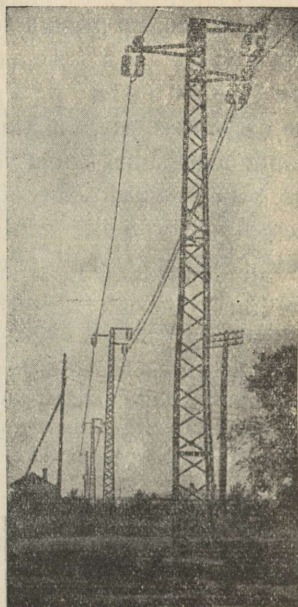
223. joon. Suletud südamikuga transformator.

Transformaatorid leiavad laialdast kasutamist elektrienergia edasiandmisel suurtele kaugustele. Elektriijaamad ehitatakse võimalikult sinna, kus dünamo käitamiseks vajalik energia on kose, turbaraba, kivisöe jne. näol odav. Elektriijaamast juhitakse elektrienergia tarvitamiskohtadele traatide kaudu. Seejuures esineb paratamatu energiakadu juhtmete soojenemise tõttu. Joule'i seaduse järgi voolu toimel juhtmeis tekkinud soojushulk on võrdeline voolutugevuse ruuduga. See energia kaotus juhtmetes tekkinud soojuse kujul on kõrgepinge puhul väiksem, sest sama võimsuse

$W = EI$ puhul on voolutugevus vastavalt ka väiksem. Sel põhjusel transformeeritaksegi elektrivool elektrijaamas kõrgepinge vooluks, pingega kuni 100 000 ja isegi rohkem volti. See kõrgepinge vool juhitakse eriliselt kõrgepinge isolaatorite abil isoleeritud juhtmete kaudu tarvitamiskohtadele, kus see vastava transformaatori abil tavalise pingeni, 220 või 110 voldile transformeeritakse. Kõrgepinge juhtmete puudutamine on surmav.



224. joon. Transformaatorimajake.



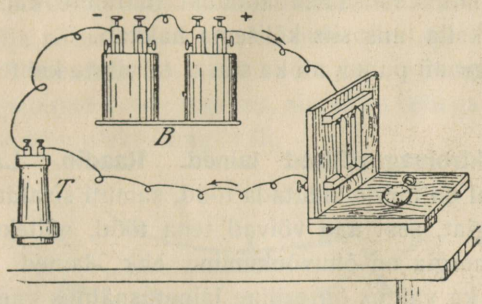
225. joon. Kõrgepingeliin.

Et vahelduvvoolu pinget on transformaatori abil hõlpus muuta, siis eelistatakse sel põhjusel vahelduvvoolu alalisele voolule.

Tavaliselt tarvitatakse nn. keerlevoolu, mis koosneb kolmest sidadest vahelduvvoolust.

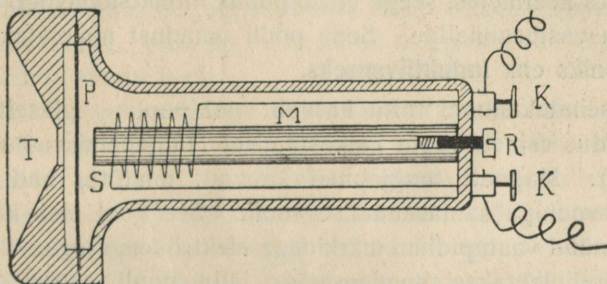
201. Telefon. Telefoni tarvitatakse kõne edasisaatmiseks traadi kaudu. Telefoni kaudu kõneldes hoiame suu **mikrofoni** ees. Lihtsat mikrofoni kujutab 226. joonis. Siin on puulauakesele kinnitatud kaks sõepulka, mis ühenduses elektripatareiga. Neile sõepulka-
dele tuginevad lõdvalt kaks teist sõepulka. Rääkimisel tekivad häälelained, mis panevad pisut liikuma ka sõepulki. Seetõttu puudutavad

nad rohkem või vähem teineteist, mille tagajärjel pulgakesi läbiv elektrivool leiab kord suurema, kord väiksema takistuse. Tekib muutliku tugevusega elektrivool, mis juhitakse vastuvõtuaparaadi kuuldetorusse.



226. joon. Mikrofon.

Kuuldetoru läbilõiget kujutab 227. 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.



227. joon. Telefoniaparaadi kuuldetoru.

Mikrofonist tulev muutliku tugevusega vool muudab kuuldetorus magnetitugjoonte välja. Seetõttu kord suureneb, kord 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 induksioonvoolu. Seega võib seda kõnet kuulda teise kuuldetoriga. Kuid hääl on siis palju nõrgem.

Et võimalik oleks samast kohast ise rääkida ja teist kuulata, on mikrofon ja kuuldetoru käepidemega ühendatud. Märkuandmiseks, et soovitakse telefoniga kõnelda, on telefoni induktor.

Telefoni induktor on väike dünamomasin, mille ümberajamisel tekkinud vool juhitakse saateaparaadist juhtmete kaudu vastuvõtuaparaadi elektrikella, mis siis kõlisema hakkab.

Nagu telegraafi puhul, nii ka siin ei tarvitata kahte traati, teiseks on maa.

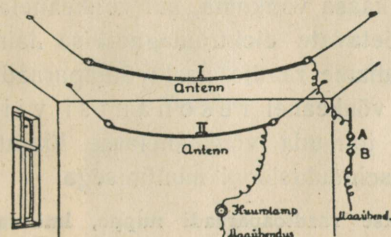
202. Elektromagnetilised lained. Raadio. Lainete tekitamiseks veepinnal on tarvis kulutada tööd, samuti sisaldavad veelained omakorda energiat, sest nad võivad teha tööd, näiteks kaldaid lõhkudes. Hääleenergia on õhuvõnkumine ehk -lained. Lähem uurimine näitab, et ka valgus on eriline lainetusnähtus väga lühikeste ja ülikiiressti üksteisele järgnevate lainetega. Samuti andub elektrienergia edasi mitte üksnes juhtmeid mööda elektrivoolu näol, vaid ka otsest läbi ruumi eriliste võngete ehk lainete kaudu.

Neid laineid nimetatakse **elektromagnetilisteks laineteks**.

Elektri võnkumine võib tekkida kondensaatori tühjenemisel läbi pooli. See tühjenemisvool tekitab pooli traadikeermete ümber magneti tungjooni, mida pooli teised keermed lõikavad, seetõttu tekib pooli teistes keermetes, seega üldse poolis induksioonvool, mis antud voolule on vastusuunaline. Seda pooli omadust nimetatakse **eneseinduksiooniks** ehk **induktiivsuseks**.

Eneseinduksiooni tõttu kasvab vool poolis aeglaselt. Vastupidine nähtus esineb voolu katkestamisel (tühjenemisvoolu lõppemisel poolis). Magneti tungjooned kaovad, mistõttu nad tekitavad tühjenemisvooluga samasuunalise voolu. See vool laeb kondensaatori kihid nüüd vastupidiste märkidega elektrilaengutega. Uue tühjenemise järel laetakse kondensaator jälle pooli eneseinduksiooni tõttu, jne. Teiste sõnadega: kondensaatori tühjenemine toimub elektri võnkumisena. Et ka sirgel traadil on teatav eneseinduksioon, siis igal puhul kondensaatori tühjenemisel tekivad elektri võnkumised. Katsed näitavad, et see võnkumine toimub seda aeglasemalt, mida suurem on kondensaatori mahutavus ja mida suurem on juhtmete eneseinduksioon. Mahutavuse ja eneseinduksiooni muutmiseiga muutub ka elektrivõnkumise võnkude arv. Kondensaator ja pool moodustavad kokku võnkeahela.

Magneti ümber olevat ruumi, kus mõjuvad magnetitugid, nimetasime magnetitugiväljaks. Elektrilaengu ümber olevas ruumis mõjuvad elektritugid. Seepärast võime öelda, nagu magneti kohta, et elektrilaeng tekitab enese ümber elektritugivälja. Magnetitugivälja saime nähtavaks teha rauapuru abil. Elektritugivälja nähtavaks tegemine pole nii kerge. Elektrivool on liikuv elekter. Tähendab, ka elektrivoolu ümber peab olema elektritugiväli. Kui muutub voolu tugevus, siis ühes sellega peab muutuma ka voolu ümber olev elektritugiväli.



228. joon. Voolu tekkimine antennis.

Varemini nägime, et elektrivoolu ümber tekib magnetiväli. Kui kaob vool juhtmes, kaob ka juhtme ümber tekkinud magnetiväli. Elektri võnkumisel saame juhtme ümber elektri- ja magnetivälja muutuse ehk lainetuse, mis nn. elektromagnetiliste lainete näol ümberringi ruumi levib.

Kui säärane magnetivälja muutus kokku puutub mõne juhtmega, siis tekib selles induksioonvool. Näitena vaatame elektrivoolu tekkimist isoleeritud juhtmes — antennis. Võtame 2 isoleeritud juhet ja tekitame ühes neist (I) elektrivoolu muutused (võnkumised), ühendades ta elektrimasina konduktoriga või induktoriga. Teise eemaloleva antenni (II) ühendame huumlambi kaudu maaga. Nüüd näeme, et esimeses antennis voolu võnkumisi tekitades hakkab huumlamp hõõguma. Elektrivoolu võnkumine esimeses antennis tekitab tema ümber muutuvat elektri- ja magnetivälja. Lõikudes teise antenniga tekitab see temas elektrivoolu, mida huumlamp näitab.

Ka raadio puhul on tegemist samalaadiliselt elektromagnetiliste lainete edasiandmisega ruumis. Saatejaamas mikrofoni ees rääkides või muusikat tehes tekitatakse elektrivoolu võnkumisi, mis põhjustavad elektri- ja magnetivälja muutumise ehk lainetuse saatejaama ümber olevas ruumis. Need omakorda tekitavad elektri võnku-

mise vastuvõtuantennis ja aparaadis, mis raadiolampide ja telefoni abil muudetakse häälelaineteks. Et radio vastuvõtuaparaat ei võtaks vastu mitte kõiki töötavaid raadiojaamu korraga, seks häälestatakse ta vastuvõetavate elektromagnetiliste lainetega. Hääle puhul nägime, et helihark hakkab teisele helihargile kaasa võnkuma, kui mõlema helihargi võnkearvud on võrdsed. Seda nähtust nimetatakse resonantsiks.

Samasugune resonants esineb ka elektri võnkeahelates. Vastuvõtuaparaadi elektri võnkeahel hakkab elektromagnetilistele lainetele eriti siis tugevasti kaasa võnkuma, kui võnkeahela nn. omavõnkearv on võrdne vastuvõetavate elektromagnetiliste lainete võnkearvuga. Seega alati, kui tahame radio vastuvõtuaparaadiga kuulata, tuleb vastuvõtuaparaadi võnkeahel resonantsi viia ehk häälestada. See võib toimuda võnkeahelasse lülitatud kondensaatori mahutavuse ja eneseinduktsiooni muutmisega.

Miks keeratakse raadioaparaadi nuppe, kui tahetakse aparaadiga kuulata?

Sisu.

	Lk.
Eessõna	3
Sissejuhatus.	
Mõõtmisi ja mõõtetühikuid	5
Mehaanika põhimõisteid	14
Vedelikud ja gaasid.	
Rõhumisnähtused vedelikkudes	44
Rõhumisnähtused gaasides	54
Mõned gaaside omadustel põhinevad riistad	63
Soojus.	
Temperatuuri mõõtmine	68
Kehade paisumine soojendamisel	72
Vedelikkude paisumine	77
Gaaside paisumine	79
Soojushulga mõõtmine	80
Aine oleku muutumine	85
Aurustumine ja niiskus	89
Keemine	94
Soojuse levimine	99
Soojusenergia ja töö	104
Hääli.	
Hääle tekkimine ja levimine	111
Resonants	120
Inimese hääl ja kuulmine	120
Valgus.	
Valguse levimine	123
Valguse peegeldumine	127
Valguse murdumine	132
Optilised läätsed	136
Optilised riistad. Silm ja nägemine	140
Spekter	150
Magnetism.	
Magnetilised põhinähtused	153
Magnetiväli	157
Elekter.	
Hõõrdumiselekter	161
Õhuelekter	170
Elektrivool ja selle omadused	172
Elektrolüüs	182
Voolu soojus	185
Voolu magnetiline toime	192
Induktsioonvool ja dünamomasin	198

HIND KR. 2.70