

TH. SUNDORPH

LÆREBOG I FYSIK  
*for realskoler*

TRETTENDE UDGAVE VED  
H. JEPSEN

GYLDENDAL

1957

I TILKNYTNING TIL

*Th. Sundorph: Fysik for Realskoler*

ER UDKOMMET

*H. Jepsen og Th. Sundorph: Fysiske Øvelser*

*H. Jepsen: Uorganisk Kemi*

Printed in Denmark

Gyldendals Forlagstrykkeri København

893

# INDHOLDSFORTEGNELSE

## MEKANISK FYSIK I

|                                                    |    |                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|------------------------------------|----|
| Træk og tryk . . . . .                             | 7  | Torricellis forsøg . . . . .       | 23 |
| Vægtfylde . . . . .                                | 11 | Andre barometre . . . . .          | 26 |
| Tryk i væsker . . . . .                            | 13 | Boyle-Mariottes lov . . . . .      | 28 |
| Forbundne kar . . . . .                            | 17 | Trykmåleren (manometret) . . . . . | 29 |
| Arkimedes' lov . . . . .                           | 18 | Opdrift i luften . . . . .         | 31 |
| Nøjagtigere bestemmelse af<br>vægtfylden . . . . . | 20 | Hæverten . . . . .                 | 33 |
| Luftens tryk . . . . .                             | 21 | Trykpumpen . . . . .               | 34 |
|                                                    |    | Fortætningspumpen . . . . .        | 35 |

## MEKANISK FYSIK II

|                                                         |    |                                                                  |     |
|---------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------|-----|
| Bevægelse . . . . .                                     | 37 | LYDEN . . . . .                                                  | 93  |
| Hastigheden ved en ujævn be-<br>vægelse . . . . .       | 38 | MAGNETISME . . . . .                                             | 98  |
| Kræfternes sammensætning<br>og opløsning . . . . .      | 39 | Jordmagnetismen . . . . .                                        | 101 |
| Tyngdepunktet . . . . .                                 | 43 | ELEKTRICITET . . . . .                                           | 104 |
| Legemers fald gennem luften . . . . .                   | 46 | Elektrisk fordeling. Gode og<br>dårlige ledere . . . . .         | 105 |
| Vægtstangreglen . . . . .                               | 49 | Elektrisk spænding . . . . .                                     | 107 |
| Eksempler på vægtstang-<br>reglens anvendelse . . . . . | 50 | Den elektriske strøm . . . . .                                   | 110 |
| Arbejde . . . . .                                       | 54 | Elektromagnetisme . . . . .                                      | 112 |
| Maskiner . . . . .                                      | 55 | Strømmens kemiske virk-<br>ninger . . . . .                      | 115 |
| Centripetalkraft . . . . .                              | 59 | Måling af strømstyrke . . . . .                                  | 117 |
| Pendulet . . . . .                                      | 62 | Måling af modstand . . . . .                                     | 119 |
| VARMELÆRE . . . . .                                     | 65 | Måling af spændingsforskel og<br>elektromotorisk kraft . . . . . | 121 |
| Udvidelse ved opvarmning . . . . .                      | 65 | Galvaniske elementer II . . . . .                                | 125 |
| Termometret . . . . .                                   | 67 | Elektromagneters anvendelse . . . . .                            | 127 |
| Varmeenheden. Varmefylde . . . . .                      | 68 | Grundforsøg over induktions-<br>strømme . . . . .                | 130 |
| Varmens bevægelse . . . . .                             | 71 | Dynamomaskinen (Grammes<br>maskine) . . . . .                    | 135 |
| Centralopvarmning . . . . .                             | 73 | Vekselstrømmaskine . . . . .                                     | 138 |
| Opløsning og smeltning . . . . .                        | 74 | Den trefasede vekselstrøm . . . . .                              | 141 |
| Fordampning og fortætning . . . . .                     | 77 | Elektrisk belysning . . . . .                                    | 146 |
| Mættede dampes tryk . . . . .                           | 81 | Lampenes anbringelse i led-<br>ningen . . . . .                  | 148 |
| Kogning . . . . .                                       | 82 | Elektromotorer . . . . .                                         | 150 |
| Luftarters fortætning . . . . .                         | 84 |                                                                  |     |
| Dampmaskinen . . . . .                                  | 87 |                                                                  |     |
| Forbrændingsmotorer . . . . .                           | 90 |                                                                  |     |
| Forskellige energiformer . . . . .                      | 91 |                                                                  |     |

|                               |     |                                |     |
|-------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| Elektrisk energi . . . . .    | 152 | Lysets tilbagekastning . . . . | 170 |
| Elektrisk kraftoverføring . . | 154 | Lysets brydning . . . . .      | 173 |
| Elektriske strømme gennem     |     | Linser . . . . .               | 175 |
| luft . . . . .                | 156 | Billeddannelse ved linser . .  | 176 |
| Elektriske udladninger i      |     | Linsens anvendelse . . . . .   | 180 |
| atmosfæren . . . . .          | 162 | Newtons forsøg . . . . .       | 183 |
| Elektriske svingninger . . .  | 164 | Farver . . . . .               | 184 |
| LYSLÆRE . . . . .             | 168 | Strålevarme . . . . .          | 186 |
| Skyggedannelse . . . . .      | 168 | Spektroskopet . . . . .        | 187 |
|                               |     | Radium . . . . .               | 191 |

## FORORD TIL TRETTENDE UDGAVE

I trettende udgave er der foretaget følgende ændringer:

Sugepumpen er udeladt, da den næppe bruges mere, og dens virkemåde er ikke væsentlig forskellig fra, hvad der gennemgås ved trykpumpen.

Elektriske udladninger i atmosfæren er omarbejdet, da tordenvejrets teori er ændret gennem nyere undersøgelser.

Atombomben har fået en ganske kort behandling.

Elevøvelser er udeladt; der henvises til Jepsen og Sundorph, Fysiske øvelser, hvor der er opgaver til det hele fysikpensum.

H. J.

# MEKANISK FYSIK I

## Træk og tryk

Figuren viser, hvordan en *fjedervægt* ser ud. Den ene ende af en spiralfjeder er gjort fast foroven i hylsteret, og i fjederens nederste ende er der fastgjort en viser og en stang, som forneden ender i en krog. Hænger man en ting på krogen, forlænges fjederen, og viseren peger på en inddeling, som angiver, hvor meget tingen vejer. Fjedervægten er inddelt ved først at hænge 1 kg på krogen, så 2 kg o. s. v.; inddelingerne viser sig at være lige store.

Når man trækker en vogn, kan man måle trækkets størrelse ved at gøre fjedervægtens krog fast i vognen, trække i fjedervægtens ring og se, hvor langt viseren går ud; går den ud til mærket 8 kg, siger man, at man har trukket med en kraft på 8 kg, og at trækket går i retning af spiralfjederens midterlinje.

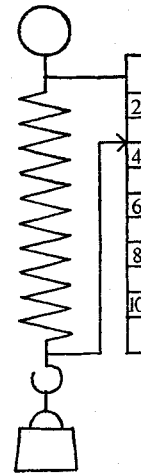


Fig. 1



En hængelampe, der vejer 20 kg, frembringer et træk på 20 kg i den krog, der bærer lampen; trækket går lodret nedad. Holder man en sten i hånden, mærker man et tryk; trykket går lodret nedad og er i størrelse lig stenens vægt.

*Træk og tryk kaldes med et fælles navn kræfter; de måles i kilogram og har en bestemt retning.*

En kraft afbildes ved en ret linie med en pil på den ene ende. Liniens længde angiver kraftens størrelse og pilen dens retning.

*Eksempler på kræfter.* Føres en papplade gennem luften, således at pladen er vinkelret på bevægelsesretningen, mærker man en modstand, som kaldes *luftmodstanden*; den er størst, når pladen er stor og bevæges hurtigt.

Ethvert legeme er påvirket af et træk, der går lodret nedad, og som får legemet til at falde, hvis det ikke understøttes; dette træk kaldes *tyngdekraften*.

Tager vi enderne af en kautsjuksnor hver i sin hånd og strammer snoren, stræber den at trække sig sammen til sin oprindelige længde og frembringer derved et træk i hænderne. Alle legemer, hvis form man har forandret, stræber mere eller mindre at antage den oprindelige form; man siger, at de er mere eller mindre *elastiske*. Legemernes *elasticitet* er tit skyld i, at der opstår kræfter. Sætter vi f. eks. en genstand på en kautsjukplade, kan vi se, at den trykker en fordybning i pladen; da nu pladen stræber at rette sig ud, frembringer den et tryk opad på genstanden. Det er dette tryk, der forhindrer genstanden i at falde. På samme måde går det, når vi sætter genstanden på et bord; fordybningen er her blot så lille, at man ikke kan se den. Læner man sig mod en væg, giver væggen lidt efter, og idet den søger at rette sig ud, frembringer den det tryk, som forhindrer en i at falde.

To glatslebne messingplader, der presses godt mod hinanden, hænger sammen, således at den ene plade endog kan bære den anden; er der den mindste afstand mellem pladerne, hænger de

ikke sammen. Messingpladerne på begge sider af berøringsfladen tiltrækker altså hinanden, og på samme måde går det med alle andre stoffer. De kræfter, der her optræder, kaldes *berøringskræfter* (vedhængning). Man antager, at berøringskræfterne er skyld i, at et legemes enkelte smådele ikke falder fra hinanden, og taler derfor om smådelenes *sammenhængskraft*. Det er vedhængningen, der er skyld i, at man kan lime papir på træ. Når limen er størknet, hænger papir og lim og lim og træ sådan sammen, at de ikke kan skilles; prøver man på det, er det i reglen sammenhængskraften mellem papirtrevlerne, man overvinder, og ikke vedhængningen til limen.

På midten af en rund glasplade fastgøres en metaltråd, hvis øverste ende bindes fast under vægtens ene skål og glaspladen afbalanceres (fig. 2). Under pladen anbringes der en flad skål, og der hældes kviksølv i den, til kviksølvet rører pladen underside. Lægges der nu lodder på vægtens anden skål, indtil glaspladen rives fra, har vi målt vedhængningen mellem glas og kviksølv. Forsøget gøres om med vand i stedet for kviksølv. Da der efter forsøget hænger vanddråber på glaspladens underside, er det vandets sammenhængskraft, vi har overvundet; denne er altså mindre end vands vedhængning til glas. – Det er vedhængningen, der er skyld i, at en regndråbe kan hænge på en rude, at der hænger olie ved en pind, der stikkes ned i olien o. s. v. – Fyld et reagensglas godt halvt med vand, kom 3 à 4 cm<sup>3</sup> sprit i et andet reagensglas og lad spritten forsigtigt løbe

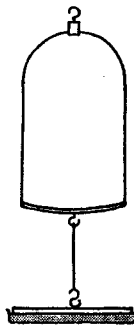


Fig. 2

ned på vandet langs siden af det første reagensglas. Spritten lægger sig da oven på vandet, og man kan se skillefladen mellem de to vædsker. Efter længere tids forløb begynder skillefladen at blive utydelig, og efterhånden forsvinder den helt; vandet har langsomt trukket spritten nedad, og spritten har trukket vandet opad.

Den modstand, man mærker, når et legeme slæbes hen over et gulv, kaldes *gnidningsmodstanden*. Den fremkommer væsentlig ved, at ujævnheder i legemets underflade griber ind i ujævnheder i gulvet. Jo glattere gulvet og legemets underflade er, desto mindre er gnidningsmodstanden. Dette gælder dog kun til en vis grænse, fordi vedhængningen også spiller en rolle og får størst indflydelse, når berøringsfladen er plan og meget glat; i så fald kan gnidningsmodstanden blive meget stor.

*Aktion og reaktion* (tryk og modtryk). Når et legeme trykker på eller trækker i et andet legeme, virker dette altid tilbage på det første med en lige så stor kraft, der går i modsat retning. Trykker man fingeren ned mod bordet, trykker bordet lige så stærkt opad på fingeren. Holder man hammerskaftet løst i hånden og lader hammerhovedet falde ned på et søm, springer hammeren tilbage. Aktionen virker på sømmet, reaktionen på hammerhovedet. Magneten tiltrækker et stykke jern, jernet trækker lige så stærkt i magneten.

Når to legemer *A* og *B* (fig. 3) tiltrækker hinanden, er den kraft, hvormed *A* tiltrækker *B* lige så stor som den hvormed *B* tiltrækker *A*; de to kræfter fremstilles derfor ved to lige lange pile.

Lægger man en bog på den flade hånd, trækker jorden i bogen (bogens vægt), og bogen udøver et træk opad i jorden; disse to kræfter er aktion og reaktion. Desuden trykker bogen nedad på hånden, og hånden trykker opad på bogen; disse to kræfter er aktion og reaktion. Læg mærke til, at bogen er på-

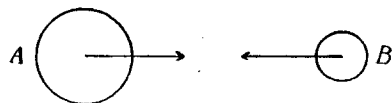


Fig. 3

virket af to kræfter (jordens træk og håndens tryk), som op hæver hinanden, men ifølge det foregående ikke er aktion og reaktion. Aktion og reaktion ophæver aldrig hinanden, da de virker på to forskellige legemer.

## Vægtfylde

Ved hjælp af et måleglas (fig. 4) kan vi finde, hvor meget en kubikcentimeter af forskellige stoffer vejer.

Et lille måleglas stilles på vægtens ene skål og afbalanceres med hagl og papirstumper. Læg f. eks. 8 g på den vægtskål, hvor haglene ligger, og hæld vand i måleglasset, indtil der igen er ligevægt. Forsøget viser, at  $1 \text{ cm}^3$  vejer 1 g.

Vægten af  $1 \text{ cm}^3$  af andre vædsker, f. eks. kviksølv og sprit findes ved at afbalancere måleglasset, hælde vædske i f. eks. til mærket 10  $\text{cm}^3$ , veje vædsken og dividere dens vægt med 10.  $1 \text{ cm}^3$  kviksølv vejer ca. 13,6 g,  $1 \text{ cm}^3$  sprit vejer ca. 0,8 g.

Vægten af  $1 \text{ cm}^3$  messing finder vi ved at veje et stykke messing, hvis rumfang er et helt antal  $\text{cm}^3$ , hælde vand i et måleglas til et eller andet mærke, sænke messingstykket ned i vandet og se, hvor mange  $\text{cm}^3$  vandet stiger; stigningen giver os

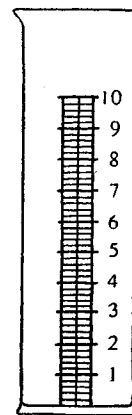


Fig. 4

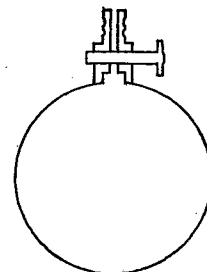


Fig. 5

messingstykkets rumfang, og vi kan nu beregne vægten af 1 cm<sup>3</sup> messing. På samme måde findes vægten af 1 cm<sup>3</sup> af andre stoffer; hvis stoffet er træ, må vi trykke det ned under vandoverfladen i måleglasset med en strikkepind eller metaltråd. 1 cm<sup>3</sup> jern vejer ca. 7<sup>3</sup>/<sub>4</sub> g, 1 cm<sup>3</sup> messing lidt over 8 g, 1 cm<sup>3</sup> træ ca. 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> g (forskelligt for tørt og vådt træ og forskellige træsorter).

Vægten af 1 cm<sup>3</sup> luft kan findes ved hjælp af en glasbeholder med messinghals, som kan lukkes med en hane. Beholderens rumfang er 11 = 1000 cm<sup>3</sup>; den pumpes så vidt muligt lufttom ved hjælp af luftpumpen (som beskrives senere), hænges op under vægtens ene skål og afbalanceres. Åbnes nu hansen, hører vi luften strømme ind, og beholderen bliver tungere; vægtforøgelsen findes, og ved at dividere den med 1000 får vi vægten af 1 cm<sup>3</sup> luft. Den er lidt over 0,001 g, men er ikke altid den samme; den er mindst, når det er varmt, og barometret står lavt.

*Vægten i gram af 1 cm<sup>3</sup> af et legeme kaldes legemets vægtfylde.*

Man kan også sige, at vægtfylden er forholdet mellem legemets vægt og vægten af samme rumfang vand. I dette tilfælde udtrykkes vægtfylden ved et ubenævnt tal.

1 cm<sup>3</sup> kviksølv vejer 13,6 g, 1 cm<sup>3</sup> vand 1 g, altså er kviksølvets vægtfylde  $\frac{13,6 \text{ g}}{1 \text{ g}} = 13,6$ .

#### TABEL OVER VÆGTFYLDER

|                   |                                  |                     |                                   |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Platin .....      | ca. 22                           | Aluminium .....     | ca. 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> |
| Guld .....        | „ 19                             | Glas og porcelæn .. | „ 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>   |
| Bly .....         | „ 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | Is .....            | „ 0,9                             |
| Sølv .....        | „ 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | Sprit .....         | „ 0,8                             |
| Tin og zink ..... | „ 7                              | Luft .....          | „ $\frac{1}{800}$                 |

## Tryk i væsker

Et bredt glastrør (fig. 6) har en løs bund af messing, som ved hjælp af snoren kan trækkes op, så at den slutter tæt til rørets planslebne rand. Vi tager fat om røret, holder snoren stram og



Fig. 6

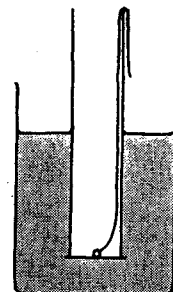


Fig. 7

sænker apparatet et stykke ned i vand (fig. 7); slipper vi nu snoren, falder bunden ikke af. Dette forsøg viser os, at der er tryk nede i en væske. Vandet må trykke opad på messingbunden.

Vi vil nu undersøge, om trykket er lige stort overalt i væsken; hertil kan vi bruge apparatet fig. 8. *a* er en lille cylindrisk messingdåse, hvis endeflade *b* er af skind. *d* er et glastrør, i hvis øverste ende der anbringes en lille tragt ved hjælp af et stykke gummislange. Ved *c* kan messingdåsen drejes om en tap, så at *b* kan vende opad, nedad og til siden; som figuren viser, er apparatet konstrueret således, at *b kommer til at ligge på samme sted, når metaldåsen drejes en halv omdrejning*. Når apparatet skal bruges, skiller man det ved *c*, fylder metaldåsen med vand, sætter igen glastrøret *d* på og hælder vand i det; det øverste af vandet i *d* kan farves ved til sidst at hælde et par dråber blæk i det.

Apparatet anbringes i forsøgsstativet, et stykke seilgarn bindes om glastrøret og tjener under forsøget som viser, idet vi forskyder det hen til vandoverfladen i glastrøret. Trykker vi

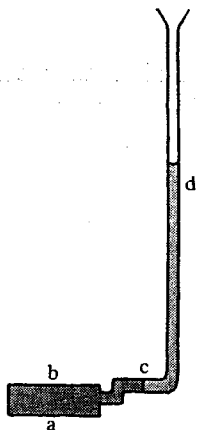


Fig. 8

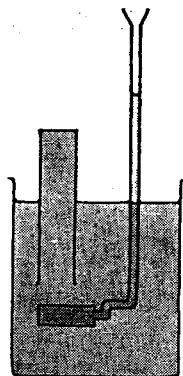


Fig. 9

med fingeren på skindet, stiger vandet i glastrøret, desto mere, jo stærkere vi trykker. Apparatet må altså kunne bruges til at undersøge trykket i væsker.

1. Dåsen anbringes i en beholder med vand med skindet opad (fig. 9) og skydes efterhånden længere og længere ned i vandet. Forsøget viser, at vandet i beholderen trykker nedad, og at trykket vokser i dybden.

2. Dåsen anbringes et sted i beholderen med skindet opad, og sejl garnet bringes på plads. Forsøgsstativet løftes op; dåsen drejes en halv omgang, så at skindet vender nedad, og stativet sættes igen på bordet. Skindet er nu lige så langt nede i beholderen som før. Forsøget viser, at vandet i beholderen trykker opad, og at trykkene fra oven og fra neden på samme sted i vandet er lige store på samme flade.

3. Et cylinderglass fyldes med vand, anbringes med bunden opad, således som fig. 9 viser, og dåsen anbringes i beholderen, forsøgsstativet skydes frem og tilbage på bordet, og trykket undersøges forskellige steder i samme vandrette lag, både når dåsen er henne under cylinderglasset og uden for dette. Forsøget viser, at trykket er ens på lige store flader i samme vandrette lag.

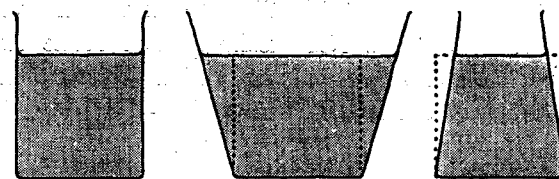


Fig. 10

Hvis det store kar (fig. 9) har skrå vægge, giver forsøget samme resultat. De tre kar på tegningen (fig. 10) har lige store bunde, og vandet står lige højt i dem; hvor er bundtrykket størst?

4. Ved at dreje dåsen, så at skindet er lodret, vises på samme måde som i de foregående forsøg, at vandet trykker til siden, at sidetrykket vokser med dybden, men er ens overalt i samme dybde. Det er sidetrykket, der driver vandet ud af et kar, der har huller i siden. Strålerne når længst ud forneden, hvor sidetrykket er størst (fig. 11).

Spørgsmålet er nu, hvad er årsagen til trykket i væsker, og hvor stort er det? Stikker vi en pind ned i en let flydende væske, som vand, sprit eller kviksølv, og fører pinden rundt, mærker vi ingen nævneværdig modstand, således som vi ville gøre, hvis vi førte den rundt i tjære eller mel. Væskedelene i let flydende væsker må altså være meget glatte og vedhængningen mellem dem meget lille.

Vi betragter en vandret flade  $ab$  i en let flydende væske; ifølge det foregående er der grund til at tro, at det nedadgående tryk på fladen skyldes vægten af væskesøjlen  $abcd$ , og

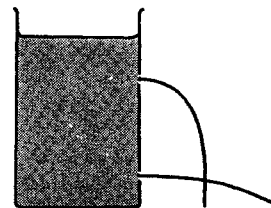


Fig. 11

at det i størrelse – i hvert fald tilnærmelsesvis – må være lig denne væskesøjles vægt. Når væskesøjlen lodrette sider er glatte, og der ingen vedhængning er mellem dem og den omliggende væske, bæres søjlen nemlig ikke – hverken helt eller delvis – af væsken udenom, men kun af fladen  $ab$ . – Trykket på en vandret flade i en sten er ikke vægten af den stensøjle, der ligger over fladen, fordi stensøjlen hænger sammen med den omliggende stenmasse, og det samme gælder f. eks. for mel og tjære; hvor stort trykket er i disse tilfælde kan vi ikke vide noget om.

Vi forudsætter altså, at *det nedadgående tryk på en vandret flade, som ligger under den fri overflade i en let flydende væske, er vægten af den væskesøjle, der ligger over fladen*; men vi må erindre, at denne regel ikke er bevist. Hvis vi imidlertid ved hjælp af reglen kan udlede andre love, hvis rigtighed kan godtgøres ved forsøg, får vi et indirekte bevis for reglens rigtighed, og et sådant bevis får vi netop senere (ved Arkimedes' lov).

Det nedadgående tryk på en flade  $pq$  (fig. 12), der er lige så stor som  $ab$  og ligger i samme vandrette lag, er lige så stort som trykket på  $ab$  ifølge forsøg nr. 3. Væskesøjlen over  $pq$  vejer ganske vist mindre end væskesøjlen over  $ab$ ; at trykket dog kan være det samme på de to flader, ligger i, at den skrå karvæg over  $pq$  er elastisk og lidt udspilet af væskens tryk, så at den frembringer et tryk ind mod væsken, idet den stræber at trække sig sammen.

Ifølge forsøg nr. 2 er *det opadgående tryk på  $ab$*  (fig. 12) lige så stort som det nedadgående, altså lig vægten af væske-

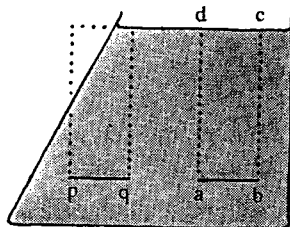


Fig. 12

søjlen  $abcd$ ; det opadgående tryk afhænger altså ikke af fladens afstand fra bunden. Det opadgående tryk i væsker fremkommer ved, at de andre væskelag er sammenpresset af den ovenover liggende væskes vægt; da væsken er elastisk, stræber den at rette sig ud og frembringer derved et tryk opad, som ifølge sætningen om aktion og reaktion er lige så stort som det nedadgående.

*Trykket på en flade i en væske er altid vinkelret på fladen.* Det kommer af, at en flade i en væske som tidligere nævnt er glat, og glatte flader kan kun frembringe tryk, der er vinkelret på fladen. Vi ser det f. eks., når vi trykker fingeren skråt ned mod bordet, bordets tryk mod fingeren går da skråt opad i fingerens retning og standser den; jo glattere bordet er, jo lettere glider fingeren, og på et fuldstændig glat bord vil fingeren altid glide, hvis man ikke trykker den vinkelret mod bordpladen.

## Forbundne kar

Vi sætter u-røret (fig. 13) i et forsøgsstativ og hælder vand i det; når vandet er kommet i ro, måler vi afstanden fra den vandrette\* bordplade til vandoverfladerne, de to højder viser sig at være lige store. Hælder vi mere vand i den ene rørgren, strømmer der vand over i den anden, indtil det atter står lige

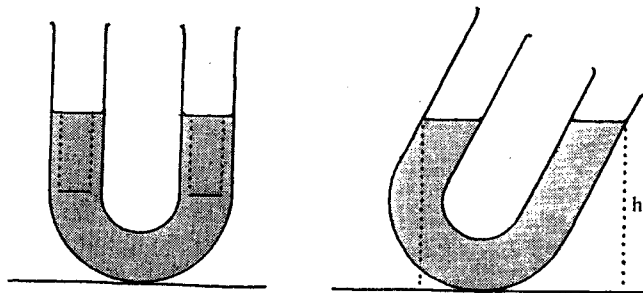


Fig. 13

\* At en plan flade er vandret vil sige, at en lodline står vinkelret på fladen.

højt i dem begge. *Væsken stiller sig lige højt i to beholdere, der er åbne til luften og på en eller anden måde står i forbindelse med hinanden, selv om de ikke er lige brede.* De to beholdere kaldes *forbundne kar*.

Reglen om forbundne kar stemmer med, hvad vi har lært om tryk i væsker; trykkene på to lige store flader, der ligger hver i sin beholder og i samme vandrette lag, kan nemlig kun være lige store, hvis væsken står lige højt i begge beholdere.

Vandet stiller sig lige højt i tekedlen og dens tud, når kedelen står på bordet, og når den hældes. Hælder man den så meget, at tuden er under vandoverfladen i kedelen, løber vandet ud af tuden. Der går en grøft fra en dam til en anden; kan man se på vandet i grøften, om overfladerne står lige højt i de to damme?

## Arkimedes' lov

*a b c d* forestiller et legeme, der er anbragt i en væske. Fladerne *a b* og *c d* er lige store og vandrette og har form som rektangler; de fire sideflader er lodrette rektangler. Væsketrykkene på de fire sideflader er vandrette og ophæver hinanden to og to, idet to modstående sideflader er lige store og lige langt nede i væsken. Trykket på *a b* går lodret nedad og er lig vægten af væskesøjlen *a b e f*. Trykket på *c d* går lodret opad og er lige så stort som det opadgående tryk på fladen *z v*, der er lige så

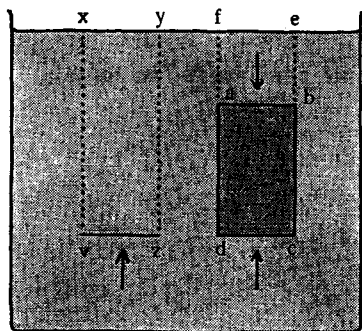


Fig. 14

stort som *c d* og ligger i samme vandrette lag; det opadgående tryk på *c d* er altså lig vægten af væskesøjlen *x y z v*.

På legemet *a b c d* må der i alt virke et tryk opad, *opdriften*, der er lig trykket på *c d* ÷ trykket på *a b*. *Opdriften bliver altså lig vægten af en væskemængde, der har samme rumfang som legemet.* Dette gælder også, når legemet har en uregelmæssig form.

Opdriften bevirker, at et legeme vejer mindre i en vædske end i luften. *Et legeme, der nedsænkes i en væske, taber lige så meget i vægt, som den fortrængte væske vejer (Arkimedes' lov).* Denne lov har vi bevist under den forudsætning, at væskedelene er glatte, vedhængningen mellem dem lille, og at legemet har en regelmæssig form. Det er derfor nødvendigt at kontrollere den ved forsøg.

Vi benytter dertil en hul metalcylinder samt en massiv cylinder, der nøjagtig kan udfylde hulheden. Med en sytråd binder vi den massive cylinder til kroge under den ene vægtskål, og på skålen stiller vi den hule cylinder (fig. 15).

Vi stiller et glas med vand under vægtskålen og sænker cy-

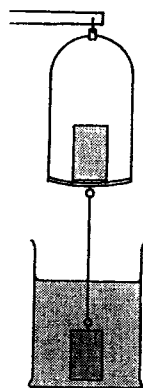


Fig. 15

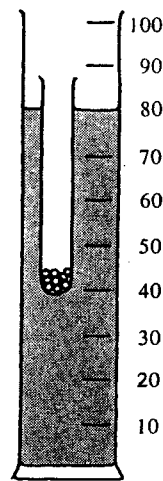


Fig. 16

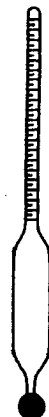


Fig. 17

linderen ned i vandet. Vi ser, at skålen går til vejrs; dette skyldes opdriften på cylinderen. Fylder vi den hule cylinder med vand, vil der atter være ligevægt.

Forsøget viser os, at opdriften er lig med vægten af en vandmængde, der har samme rumfang som cylinderen. Gør samme forsøg med sprit. Resultatet bliver det samme.

Dermed er Arkimedes' lov påvist ved forsøg.

I et smalt reagensglas kommer vi hagl eller sand, så at det hele vejer f. eks. 8 g. Vi hælder vand i måleglasset til et eller andet mærke og sætter reagensglasset ned i vandet; dette stiger 8 cm<sup>3</sup>. Da reagensglasset flyder ovenpå, må det have tabt hele sin vægt, ellers ville det synke dybere eller gå til bunds.

Reagensglasset har tabt 8 g i vægt og fortrænger 8 g vand. Når et legeme svømmer på vand, vejer det fortrængte vand lige så meget som legemet.

Hvis et legeme, der stikkes ned i en væske, har større vægtfylde end væsken, vejer legemet mere end den fortrængte væske; legemets vægt er altså større end opdriften, og legemet går til bunds, når man slipper det. Har det mindre vægtfylde end væsken, stiger det til vejrs. Har det samme vægtfylde som væsken, bliver det på det sted, hvor man slipper det.

Fig. 17 viser, hvordan en flydevægt ser ud; den er lavet af glas og er hul. I kuglen forneden er der kviksølv for at holde den lodret, når den stikkes ned i en væske. Hæld vand i et glas, stik flydevægten ned deri og se, hvor dybt den synker. Hælder vi nu sprit i vandet, ser vi, at flydevægten synker dybere, fordi blandingen er lettere end rent vand.

Hvorfor kan man bruge en flydevægt til at prøve, om mælk eller sprit er fortyndet?

## Nøjagtigere bestemmelse af vægtfylden

*Faste stoffer.* Ved hjælp af Arkimedes' sætning kan et stofs vægtfylde bestemmes nøjagtigere end med måleglasset, som ikke giver en nøjagtig rumfangsbestemmelse.

Legemet ophænges i en tynd tråd under vægtens ene skål og vejes; det vejer f. eks. 80 g. Et glas vand stilles under legemet, vægten sænkes, så at legemet kommer under vand, og vægttabet bestemmes; lad det være 10 g. En vandmængde, der har samme rumfang som legemet, vejer altså 10 g. Legemets vægtfylde er 8.

Er et stof f. eks. dobbelt så tungt som en væske og denne er 0,8 gange så tung som vand, er stoffet 1,6 gange så tungt som vand. Dette benytter man, når man skal bestemme vægtfylden af et stof, der opløses i vand, f. eks. sukker. Sukkerets vægtfylde findes i forhold til sprit, som ikke opløser sukker. Sukkerets vægtfylde i forhold til vand er da produktet af dets vægtfylde i forhold til sprit og sprits vægtfylde i forhold til vand.

*Væsker. 1. måde.* Et legeme ophænges i en tynd tråd under vægtens ene skål og afbalanceres. På samme måde som i forrige forsøg findes dets vægttab i den væske, hvis vægtfylde skal bestemmes; er vægttabet 8 g, vejer den væskemængde, der har samme rumfang som legemet, 8 g. Derpå bestemmes legemets vægttab i vand; er dette 12 g, vejer den vandmængde, der har samme rumfang som legemet, 12 g. Væskens vægtfylde er altså  $\frac{8}{12}$  eller  $\frac{2}{3}$ .

*2. måde.* En flaske med snæver hals, hvorpå der er anbragt et mærke, afbalanceres på vægten og fyldes derefter med væsken, og dennes vægt findes. Flasken fyldes derpå med vand, og vandet vejes. Vi kender nu vægtene af lige store rumfang af væsken og af vand. Den første vægt divideret med den sidste er da væskens vægtfylde.

## Luftens tryk

*Luftpumpen.* Det første forsøg på at fremstille et luftfortyndet rum blev gjort af Otto v. Guericke, borgmester i Magdeburg, født 1606. Han konstruerede en fortyndingspumpe, der i det væsentlige lignede den, der findes i de fleste skolesamlinger. Fortyndingen, der kan nås med en sådan pumpe, er ret ringe;

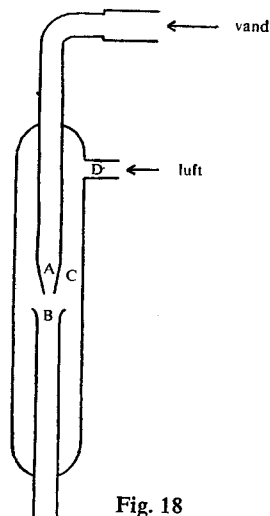


Fig. 18

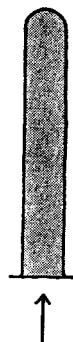


Fig. 19

i den nyere tid er der konstrueret pumper, hvormed der kan nås en fortynding af ca. en milliontedel millimeter kviksølvtryk.

Hvis der ikke kræves særlig stærk fortynding, er Christiansens vandluftpumpe meget anvendelig. Dens indretning fremgår af fig. 18. En vandstråle strømmer under højt tryk, altså med stor hastighed, gennem et snævert rør (A) og ind i et videre (B), der sidder lodret under og i ringe afstand fra det snævre. Når vandstrålen strømmer fra det snævre rør ind i det vide, bliver vandtrykket i strålen meget ringe, hvorfor luften i beholderen (C) suges ind i vandstrålen og føres med denne ud gennem røret (B). Beholderen har foroven et siderør (D), der fører ind til det rum, hvor luften skal fortyndes.

Vi fylder et reagensglas eller vandglas med vand, lægger et stykke papir over åbningen og vender glasset med bunden opad. Luftens tryk forhindrer papiret i at falde af, og forsøget viser altså, at *luften trykker opad*. Samme forsøg kan gøres med et bredt glasrør, der er en meter langt eller mere, og hvis ene ende er lukket med en prop (åbningen dækkes med filterpapir).

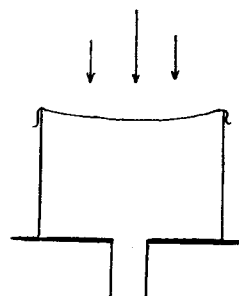


Fig. 20

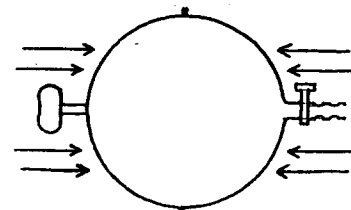


Fig. 21

Over den ene ende af en glascylinder bindes et stykke pergamentpapir (for at få det til at slutte tæt hælder man lidt vand i cylinderen og lader det løbe rundt langs randen, så at papiret her bliver fugtigt). Sætter vi cylinderen med papiret opad på luftpumpens tallerken og pumper luften ud af cylinderen, buer papiret nedad. Luften over pergamentpapiret må trykke stærkere end den fortyndede luft i cylinderen; *luften trykker altså nedad*.

Anbringer vi under luftpumpens glasklokke en medicinflaske, hvis prop er smurt med fedt, for at den ikke skal sidde for fast, og pumper luften ud af klokken, springer proppen op, selv om flasken ligger ned. *Luften trykker altså til siden*. Det samme ser vi, når vi pumper luften ud af det rum, der er mellem to halvkugleformede skåle, hvis rande slutter tæt til hinanden (de magdeburgske halvkugler); skålene kan da vanskeligt trækkes fra hinanden. – Ved disse forsøg må glascylinderens, klokens og skålens rande smøres med fedt for at slutte lufttæt.

## Torricellis forsøg

Tag et kort, ikke for smalt glasrør, sæt en prop i den nederste ende og fyld det med kviksølv. Luk for åbningen med fingeren, vend glasset om og stik åbningen ned i en skål med kviksølv; fjernes nu fingeren, løber kviksølvet ikke ud, fordi luften



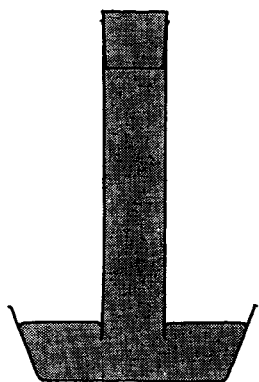


Fig. 22

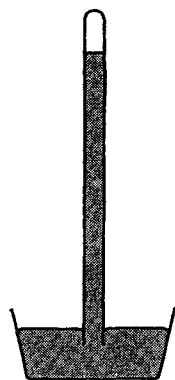


Fig. 23

trykker på overfladen af kviksølvet i skålen og holder det oppe i glasset.

Tager vi proppen af, stiller kviksølvet sig lige højt i røret og i skålen, fordi rør og skål er to forbundne kar. *Hvorfra og hvortil gik den kviksølvsøjle, som blev holdt oppe i røret af luftens tryk?*

Vi gør forsøget om igen med et glastrør, der er godt 80 cm langt og er lukket i den ene ende (fig. 23). Kviksølvet synker nu et stykke, så at der fremkommer et lufttomt rum over kviksølvet i røret; luftens tryk er altså ikke stort nok til at holde det lange glastrør fyldt med kvikslv. Dette forsøg er først gjort af italieneren Torricelli i året 1643. — Apparatet kaldes Torricellis barometer, den lodrette afstand mellem kviksølveroverfladerne i røret og i skålen kaldes *barometerstanden*. Måler man jævnlig barometerstanden, ser man, at den forandrer sig; den er meget sjældent under 70 cm eller over 80 cm. Dens gennemsnitsværdi er 76 cm, som kaldes *luftens normaltryk*.

Når lufttrykket er højt, er der udsigt til godt vejr; synker det stærkt, er der udsigt til regn og blæst. — Jo højere man stiger til vejrs, jo mindre er barometerstandens gennemsnitsværdi; da forsøgene med luftpumpen viste os, at fortyndet luft trykker

mindre end tæt luft, må luften altså blive tyndere og tyndere oppefter. Man har iagttaget stjerneskud — d. v. s. meteorsten, der bliver glødende ved at gå gennem jordens atmosfære — i indtil 25 metermils højde, så at luften i denne højde endnu er ret tæt. Luften har ingen bestemt grænse.

*Luftens tryk på en flade, der er 1 cm<sup>2</sup> stor.* Fig. 24 forestiller Torricellis apparat; lad os antage, at barometerstanden er 76 cm. På fladen *ab*, som er 1 cm<sup>2</sup> stor og ligger i overfladen af kviksølvet i skålen, virker luftens tryk lodret nedad. Trykket på fladen *cd*, der ligger i samme vandrette lag og er lige så stort, er lig trykket på *ab*. Trykket på *cd* er vægten af den kviksølvsøjle, som ligger lodret over *cd*; denne søjles rumfang er 76 cm<sup>3</sup>, dens vægt altså  $76 \cdot 13,6$  g, d. v. s. lidt over 1 kg. *luftens tryk på 1 cm<sup>2</sup> er ca. 1 kg.*

I stedet for at angive trykket på en flade i kg, angiver man det ofte i cm; når man f. eks. siger, at trykket er 70 cm, mener man, at det er lig vægten af en kviksølvsøjle, som er 70 cm høj, og som har fladen til grundflade.

En vandsøjle, der trykker lige så meget som en 76 cm høj kviksølvsøjle, må være  $13,6 \cdot 76$  cm, d. v. s. ca. 10 m høj. Ville

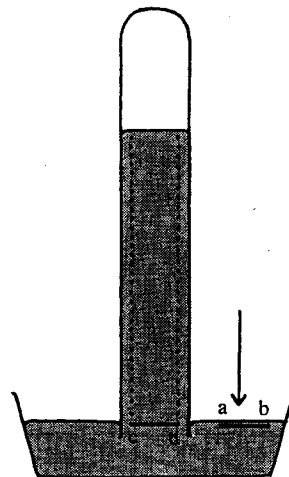


Fig. 24

man foretage Torricellis forsøg med vand, måtte røret altså være over 10 m højt.

Lufttrykket angives nu i *bar*. 1 bar (1000 millibar) = trykket af en 750 mm høj kviksølv søjle. 45. breddegrad 0° C.

## Andre barometre

*Stuebarometret* (fig. 25), der egner sig bedre til dagligt brug end Torricellis barometer, består af et bøjet glastrør; den lange gren er lukket foroven, den korte gren ender i en beholder, som er åben foroven. Rummet over kviksølvet i den lange gren er lufttomt. Barometerstanden er den lodrette afstand mellem kviksølvoverfladerne i røret og i beholderen. På den træplade, der bærer glastrøret, er der oppe ved rørets øverste ende anbragt et stykke af en målestok, hvis nulpunkt ville være lige ud for kviksølvoverfladen i beholderen, hvis hele målestokken var der. Bliver luftens tryk større, stiger kviksølvet i røret og synker i beholderen. Målestokken skulle altså egentlig flyttes, for

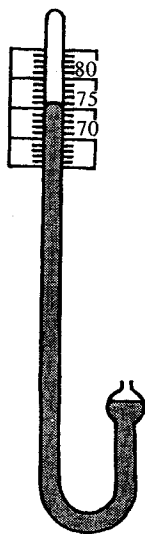


Fig. 25

at dens nulpunkt stadig kunne være lige ud for kviksølvoverfladen i beholderen; men da denne er bred i sammenligning med røret, får den fejl, der fremkommer ved, at målestokken er fast, kun ringe betydning.

*Aneroidbarometret* (på dansk: barometret uden væske) består af en omtrent lufttom metaldåse *M*, hvis låg og bund er meget tynde. *ab* er en stærk stålfjeder, som forhindrer, at æskens låg og bund presses sammen af luftens tryk. Stålfjederen stræber altså at trække låget opad. Fra *b* går en snor *bc* op omkring et hjul, hvorpå der er fastgjort en viser; snorens ende *c* er fastgjort til hjulets omkreds. Stiger nu lufttrykket, nærmer dåsens låg og bund sig til hinanden, *b* går nedad, og snoren drejer hjul og viser. Bliver lufttrykket mindre, går *b* opad. Snoren slappes, og en spiralfjeder (urfjeder), hvis ene ende er fastgjort på hjulet, den anden på en opstander, drejer hjulet, til snoren er stram. Viseren peger på en skala, hvis inddelinger er afsat ved sammenligning med et kviksølvbarometer.

Dåsens låg og bund er bølget, for at de bedre kan give efter for luftens tryk; men trykket er ikke større, end det ville være, hvis fladerne var plane.

Inde i en stue står barometret lige så højt som udenfor. Hvis lufttrykket f. eks. var større udenfor, ville luften presses ind gennem sprækker i vinduerne, indtil trykket var ens ude og inde.

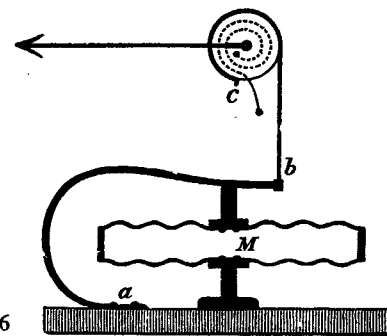


Fig. 26

## Boyle-Mariottes lov

Det er tidligere vist, at tæt luft trykker stærkere end tynd luft; vi vil nu måle, hvor meget trykket vokser, når luften sammenpresses.

Et bøjet glasrør er anbragt på et lodret bræt; rørets korte gren er lukket foroven, den lange gren er åben. Hælder vi kviksølv i den lange gren, stiger det kun et lille stykke op i den korte gren, hvor luften bliver sammenpresset. Luftens rumfang aflæses på en målestok, der er anbragt ved siden af den korte gren; dens tryk måles på følgende måde.

$a$  og  $b$  (fig. 27) er to lige store flader i samme vandrette lag;  $a$  vælges således, at den ligger i overfladen af kviksølvet i den korte gren. På  $a$  virker den indespærrede lufts tryk, som må være lig trykket på  $b$ . Trykket på  $b$  er vægten på kviksølvsøjlen  $bc$  + den ydre lufts tryk, der virker lodret nedad på  $c$  (fladen  $c$  er lige så stor som  $b$ ), og findes ved hjælp af barometret;

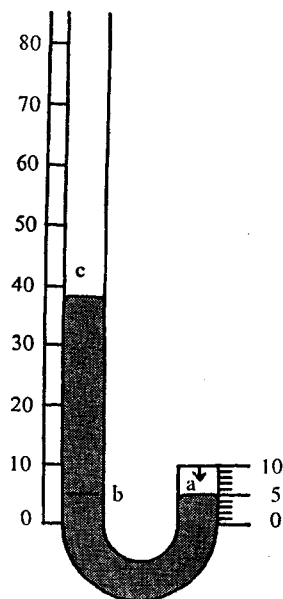


Fig. 27

er barometerstanden f. eks. 75 cm og afstanden mellem  $b$  og  $c$  20 cm, er luftens tryk på  $a$  95 cm. Vi har nu set, hvordan luftens rumfang og det tilsvarende tryk findes.

Hælder vi nu mere kviksølv i den lange gren, stiger det lidt i den korte gren, så at den indespærrede lufts rumfang bliver mindre. På samme måde som før måler vi luftens nye rumfang og det tilsvarende tryk, og således bliver vi ved nogle gange. Det viser sig da, at produkterne af luftens rumfang og det tilsvarende tryk meget nær er lige store. Denne regel kaldes *Mariottes lov* og kan udtrykkes således: *For en bestemt luftmasse er produktet af tryk og rumfang konstant ved samme temperatur.* Hvis luften opvarmes, samtidig med at den sammenpresses, stiger trykket desuden på grund af opvarmningen.

*Eksempler.* 1 liter luft har trykket 1 normalatmosfære (= 76 cm), hvor stort bliver trykket, når luften sammenpresses til  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{8}$  og  $\frac{1}{10}$  liter? Angiv resultatet i normalatmosfærer, i cm og i kg pr.  $\text{cm}^2$ . Hvor stort bliver trykket, hvis luftens rumfang forøges til 2 l og til 10 l?

Hvor højt vil en kviksølvsøjle stå i det åbne rør, regnet fra nulpunktet, når kviksølvet i det lukkede rør står ved 2, og barometerstanden er 76 cm? Ved forsøgets begyndelse stod begge kviksølvoverflader ved 0.

Hvordan må det gå med luftens vægtfylde, når trykket bliver 2, 3 og 4 gange så stort som det oprindelige?

## Trykmåleren (manometret)

*Det åbne manometer* er et bøjet glasrør, der indeholder kviksølv, og hvis ene ende fører hen til en beholder  $B$ , som indeholder damp eller fortættet luft, hvis tryk man vil måle. Er trykket i  $B$  lige så stort som luftens tryk, står kviksølvet lige højt i rørets to grene. Er trykket i  $B$  større, stiller kviksølvet sig således, som figuren viser, og trykket findes på følgende måde. På fladen  $a$  virker det søgte tryk lodret nedad og er lige så stort som trykket på fladen  $b$ , der ligger i samme vandrette

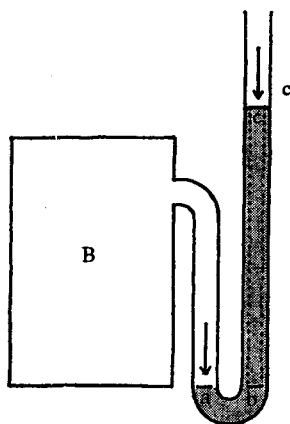


Fig. 28

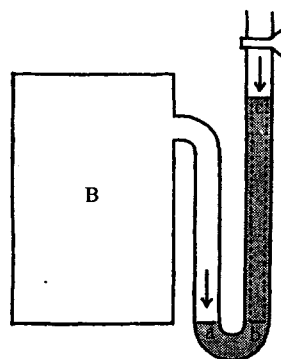


Fig. 29

plan og er lige så stort som *a*. Men trykket på *b* er vægten af den kviksølvsøjle, der ligger lodret over *b* + luftens tryk på fladen *c*. Er søjlen *b c* f. eks. 12 cm høj og barometerstanden 78 cm, er det søgte tryk 90 cm; hvor mange normalatmosfærer er det, og hvor mange kg pr.  $\text{cm}^2$ ? Hvordan finder man trykket i *B*, hvis kviksølvet i grenen til venstre står 12 cm højere end i grenen til højre, og barometerstanden er 78 cm?

I *det lukkede manometer* er grenen til højre lukket foroven, og der er luft over kviksølvet i den lukkede gren. Når kviksølvet står lige højt i de to grene, er luftens tryk i den lukkede gren lige så stort som trykket i beholderen; lad os antage, at dette finder sted, når trykkene de to steder er 1 normalatmosfære. Når trykket i beholderen er større, står kviksølvet således, som figuren viser. Er rumfanget af luften i den lukkede gren f. eks. formindsket til en femtedel af det oprindelige rumfang, er dens tryk 5 normalatmosfærer ( $= 5 \cdot 76 \text{ cm}$ ); står kviksølvet i den lukkede gren 10 cm højere end i den anden gren, ser vi på samme måde som før, at trykket i beholderen er  $5 \cdot 76 \text{ cm} + 10 \text{ cm}$ . Hvor mange normalatmosfærer er det, og hvorfor ville det være upraktisk at benytte et åbent manometer til at måle så store tryk?

Ofte benyttes trykmålere af lignende konstruktion som aneroidbarometret; de indeles ved sammenligning med et lukket manometer.

## Opdrift i luften

Om trykket på en flade i luften gælder der de samme sætninger som om trykket i væsker. Forsøg med barometret viser, at trykket på lige store flader i samme vandrette luftlag er lige store, og at trykket bliver mindre og mindre, jo højere man kommer til vejrs. At det nedadgående lufttryk på en vandret flade er lig vægten af den luftsøjle, der ligger lodret over fladen, indses på samme måde som ved væsker. Det opadgående lufttryk på fladen fremkommer ved, at de nedre luftlag er sammenpresset af de øvre luftlags vægt og stræber at udvide sig, hvorved de frembringer et tryk opad, der ifølge sætningen om aktion og reaktion er lige så stort som det nedadgående tryk. Man må dog erindre, at *sætningerne kun gælder, når væsken og luften er i ro*; man har således ikke lov til at anvende dem på vand, der strømmer gennem et rør, eller på luften, når det blæser.

Ligesom væsketrykket frembringer en opdrift på et legeme, der er nedsænket i væsken, fordi trykket opad på legemets underside er større end trykket nedad på legemets overside, således frembringer også luftens tryk en opdrift på legemer i luften, og opdriften må være lig vægten af den fortrængte luftmasse. Opdriften i luften kan påvises med apparatet fig. 30. På en lille vægtstang er der anbragt en hul glaskugle og et mindre, massivt metallod, der holder hinanden i ligevægt i luften. Op-

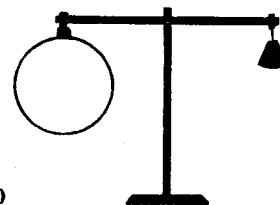


Fig. 30



Fig. 31

driften på kuglen er større end opdriften på loddet, fordi kuglen er størst. Stilles apparatet under luftpumpens klokke, og pumpes luften ud, forsvinder opdriften, og begge legemer bliver tungere; kuglen får den største vægtforøgelse og går nedad.

At et legeme, der er lettere end samme rumfang luft, vil stige, benyttes ved luftskibet. Et luftskib har omtrent form som en cigar. I skibets indre findes en række brintfyldte balloner, som bærer det oppe; det drives frem ved hjælp af flere benzinmotorer, der virker på lige så mange skruer. Styringen sker ved ror, der sidder på agterenden. På undersiden findes gondoler, hvor motorerne samt kahytterne er anbragt.

En flyvemaskine er tungere end luften og bæres kun oppe ved luftens tryk på vingerne, opdriften spiller ingen rolle. Farten frembringes ved en motordrevet luftskruer (propel), og styringen sker fra førersædet ved hjælp af rat og styreliner, der virker på højderor og sideror samt vingeklapper.

Idet flyvemaskinens vinge bevæges fremad, bliver lufttrykket på dens underside større, på dens overside mindre end atmosfærens tryk; jo større hastighed flyvemaskinen har, desto større bliver trykforskellen, og det er denne trykforskel, der bærer flyvemaskinen.

Fig 31 er et fotografi af en amerikansk to-motorers bombe-maskine (Mitchell). Hver motor udvikler 1700 hk, og maskinen kan flyve med en hastighed på 500 km. Maskinens længde er 15,8 m.

## Hæverten

*Stikhæverten* er et i begge ender åbent rør, som er snævert forneden og har en udvidelse på midten; den bruges, når man vil tage væske op af et kar uden at hælde det. Hæverten stikkes ned i væsken, og man suger luft ud af den. Luftens tryk på væskeoverfladen er nu større end trykket inde i hæverten og driver væske op i den. Tager man munden bort og sætter fingeren hurtigt for hævertens øverste ende, løber der næsten ingen væske ud af den, når den løftes op. Tages fingeren bort, løber væsken ud.

*Den togrenede hævert* er et bøjet rør, et glasrør eller en gummislange. Vi fylder røret med vand, holder for enderne, vender røret om og sætter enderne ned i to glas vand (fig. 33). Tager fingrene bort, løber vandet fra det ene glas over i det andet, indtil det står lige højt i dem begge. – De to glas er to forbundne kar. Hæverten er forbindelsesrøret, og forsøget er det samme som forsøget fig. 13 i en noget ændret form.

En hævert kan virke i et lufttomt rum, når blot ikke væske-søjle's sammenhæng ophæves af luftblærer, så lufttrykket har kun den betydning, at det hindrer, at der dannes luftblærer inde i røret af den luft, der i almindelighed er opløst i væsken. Jo større højdeforskel der er mellem de to kar, jo hurtigere vil væsken løbe, fordi væske-søjle's vægt i røret til højre bliver større end i røret til venstre.

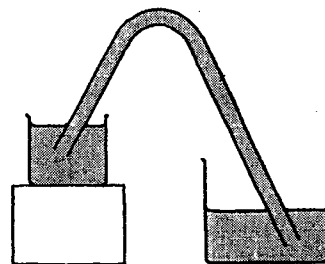


Fig. 32



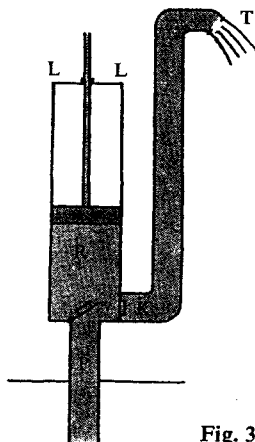
Fig. 33

## Trykpumpen

Når man vil have vandet op fra en brønd eller tømme et bassin, benytter man en trykpumpe. Dens indretning fremgår af fig. 34. Til venstre ses pumperøret, hvori der er et tætsluttende stempel, forneden går pumperøret ned i et snævrere rør, der går ned i brønden, på grænsen sidder en ventil  $V$ , der kan åbnes opad. Til højre er der et smalt rør, som kaldes stigrøret. Foroven har det en tud  $T$ , og forneden, hvor det munder ud i det brede pumperør, er der en ventil  $K$ , som kun kan åbne sig ind i stigrøret. Vi tænker os, at vandet fra først af står lige højt i brønden og inde i pumpen, og at stemplet står i sin laveste stilling, d. v. s. lidt over ventilerne, som begge er lukkede. Hvad der sker, når man pumper, skal nu forklares.

*Stemplet går opad. V åbner sig, K vedbliver at være lukket, luftens tryk på vandoverfladen i brønden presser vandet op i pumpen. Luften i stemplet går ud gennem låget  $LL$ , der ikke slutter lufttæt.*

*Stemplet standser i sin øverste stilling. V lukker sig, K vedbliver at være lukket. Hvorfor løber vandet i rummene P og R ikke ud?*



**Fig. 34**

*Stemplet går ned. V vedbliver at være lukket, K åbner sig, og der presses vand over i stigrøret.*

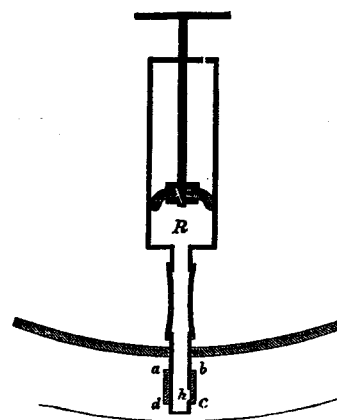
Hvordan stiller ventilerne sig, når stemplet standser i sin nederste stilling, og hvordan går det, når stemplet igen trækkes op og ned?

Stigrøret kan være lige så højt det skal være; jo højere tuden sidder, jo vanskeligere er det at trykke stemplet ned, fordi vandsøjlen fra *K* op til tuden skal hæves. Stiller man den fordring, at vandet hele tiden skal stå til underkanten af stemplet, mens dette går op, må afstanden mellem vandoverfladen i brønden og underkanten af stemplet i dettes øverste stilling højst være 10 m.

Det er dog kun nødvendigt, at vandet står et stykke over  $V$ , når stemplet er i sin øverste stilling. Som det fremgår er arbejdet med vandets hævn timer fordelt på begge pumpe­slag, hvilket er af betydning, når pumpen drives af en motor.

## Fortætningspumpen

Når man pumper luft ind i en cykelring, skruer man en for-tætningspumpe fast på ringen, skruen er ikke tegnet med på figuren.



**Fig. 35**

Stemplet er en læderplade, hvis rand er bøjet nedad, og hvis midterste del er klemmt fast mellem to metalplader. Hullet  $h$  er lukket med et kort, tyndt gummirør  $abcd$ . Skydes stemplet nedad, presses der luft ned i det smalle rør. I hullet  $h$  trykker den så stærkt på gummirøret, at det giver efter, og luften bærer sig vej ind i cykelringen. Så snart stemplet standser i sin nederste stilling, lukker gummirøret igen for hullet.

Når nu stemplet trækkes op, fortyndes luften i rummet  $R$ , luften oven over stemplet presser læderpladens nedadbøjede rand til side og slipper langs pumpens indervæg ned i rummet  $R$ .

Fortætningspumper, der er konstrueret noget anderledes, anvendes til at pumpe luft ned til en dykker og til fortætning af luftarter.

## MEKANISK FYSIK II

### Bevægelse

Vi siger, at et legeme har en *jævn bevægelse*, hvis det går lige langt i lige store tidsrum; ellers kaldes bevægelsen *ujævn*.

*Hastigheden ved en jævn bevægelse er den vejlængde, som legemet tilbagelægger i ét sekund.*

Er hastigheden  $v$  og den i  $t$  sekunder tilbagelagte vej  $s$ , har man

$$s = v \cdot t.$$

Kender man to af disse størrelser, kan vi altså beregne den tredje.

*Eksempler.* En mand går med hastigheden 1,5 m pr. sek.; hvor længe er han om at gå en mil ( $7\frac{1}{2}$  km) og en metermil (10 km)? Hvor langt er der fra København til Korsør, når et tog kan tilbagelægge vejen i 7 kvarter med hastigheden 17,5 m pr. sek.? Hvor stor er jordens hastighed i sin bane om solen, når jordbanens radius er 15 millioner metermil?

*Bevægelse i retlinet og krumlinet bane. Inertiens lov.* Når et legeme forandrer hastighed, er der altid et andet legeme, som er årsag til forandringen. Vi støder til en bog, så at den glider hen ad bordet. Ujævnheder i bordpladen griber ind i ujævnheder i bogens overflade og standser snart bogen. Det er den ujævne bordplade, der er årsag til hastighedsforandringen; jo glattere bordet er, jo længere glider bogen. – Et legeme, som ligger stille, har hastigheden 0; det forandrer kun hastighed, hvis det bliver påvirket af et andet legeme.

*Når et legeme forandrer bevægelsesretning, er et andet legeme altid skyld deri.* Når en kugle løber rundt i en cirkelformet rende, er det rendens ydervæg, der tvinger kuglen til at gå i den krumme bane.

Et legeme, som forandrer hastighed eller bevægelsesretning, må altså være underkastet påvirkninger fra andre legemer; sådanne påvirkninger kaldes *kræfter* (træk eller tryk). Kræfters størrelse måles i kg og kan findes med en fjedervægt.

*Der fordres ingen kraft til at vedligeholde en jævn, retlinet bevægelse.* Sparker vi en sten hen ad en isflade, standses den efterhånden af gnidning og luftmodstand; jo glattere isen er, jo længere glider stenen. Var der ingen modstand, ville stenen åbenbart bevæge sig med jævn hastighed, indtil den stødte mod bredden.

Det foranstående kan sammenfattes i følgende regel, som kaldes *inertiens lov*: *Når et legeme forandrer hastighed eller bevægelsesretning, er der en kraft, der er skyld deri. Der fordres ingen kraft til at vedligeholde en jævn, retlinet bevægelse.*

*Eksempler på inertiens lov.* Sættes en vogn i bevægelse med et ryk, falder man let bagover, fordi underkroppen følger med vognen, men overkroppen bliver i hvile. – Man kan få hammerhovedet til at sidde fast på skaftet ved at slå skaftet ned mod et bord; når skaftet standser, fortsætter hammerhovedet sin bevægelse og glider lidt længere ind på skaftet. – Springer man af en sporgvogn, standser fødderne, når de rører jorden, mens legemet fortsætter sin bevægelse; man kan da let falde og falder med hovedet i samme retning som vognen kører.

## Hastigheden ved en ujævn bevægelse

Når et legeme har ujævn bevægelse, siger man, at hastigheden stadig forandrer sig; følgende eksempel giver oplysning om, hvorledes man bestemmer hastigheden. Et tog kører på vandret banelinie fra *B* mod *A*; ved *C* begynder toget at bremse og kører stadig langsommere, indtil det standser ved *A*. Lige før toget når *D*, tilbagelægger det stykket  $a_1 = 0.007$  m ( $= 7$  mm) i tiden  $t_1 = \frac{1}{1000}$  sek. Bremsningen i så kort tid kan ikke forandre togets bevægelse synderlig, så at bevægelsen på strækningen  $a_1$  næsten er jævn. Kørte toget stadig med

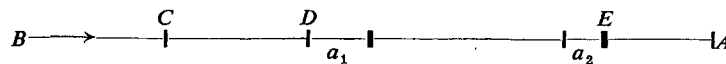


Fig. 36

samme hastighed som på strækningen  $a_1$ , ville det i hver tusindedel sekund køre 0,007 m, i et sekund altså 7 m ( $= \frac{a_1}{t_1}$ ).

Man siger, at hastigheden i *D* er 7 m; i virkeligheden kører toget ikke så langt i næste sekund. – Lige før toget når *E*, tilbagelægger det vejen  $a_2 = 0,002$  m i  $\frac{1}{1000}$  sek.; hvor stor er hastigheden i *E*?

Vi har forudsat, at bevægelsen i meget kort tid kan betragtes som jævn; denne forudsætning er nærmere ved at være rigtig, når vi vælger  $t_1$  mindre, f. eks. lige en milliontedel sekund eller mindre endnu (hastigheden i *D* ville da blive lidt mindre end 7 m). Af formelen for den jævne bevægelse ( $s = v \cdot t$ ) ser vi, at hastigheden er lig  $\frac{s}{t}$ , d. v. s. lig vejen divideret med tiden; ved den ujævne bevægelse får vi også hastigheden ( $\frac{a_1}{t_1}$ ) ved at dividere vejen med tiden, men vej og tid skal her være meget små, så små som muligt.

*Hastigheden i et punkt af en ujævn bevægelse defineres altså som vejen divideret med tiden, når vej og tid gøres så små som muligt.*

Under en ujævn bevægelse er hastigheden enten voksende eller aftagende. Forøges eller formindskes hastigheden lige meget i hvert sekund, kaldes bevægelsen *jævnt voksende* eller *jævnt aftagende*.

## Kræfternes sammensætning og opløsning

I en papskive, der ligger på et bord, er der boret et hul *a* og en tråd er bundet fast i hullet. Stikker vi en stift gennem *a* ned i bordet og trækker i tråden, rører skiven sig ikke. Stikker vi stiften gennem et andet punkt *b* og trækker i tråden, drejer



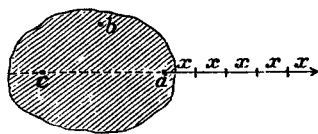


Fig. 37

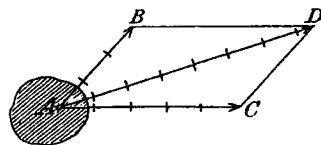


Fig. 38

skiven sig om *b*. Ved kraftens angrebepunkt forstår vi et punkt med den egenskab, at legemet ligger stille, hvis punktet gøres fast. Stikker vi stiften gennem andre punkter af papskiven og trækker i tråden, drejer papskiven sig, medmindre punktet ligger i snorens forlængelse (den punkterede linie). Vi kan altså selv vælge *a* til angrebepunkt, men vi kan lige så godt vælge ethvert andet punkt i snorens forlængelse.

Er den kraft, der virker på papskiven, 5 kg, kan vi på en tegning fremstille den således: Vi vælger en linie *x*, der skal forestille en kraft på 1 kg, og afsætter fra et af angrebepunkterne en linie 5 *x* i kraftens retning, det vil sige i den retning, hvori kraften kan bevæge legemet.

Tegningen forestiller et legeme, som er påvirket af to kræfter på 3 og 5 kg (*AB* og *AC*). Vi tegner nu det parallelogram *ABCD*, hvori de to kræfter er sammenstødende sider. Ved forsøg kan vi vise, at en kraft, der i størrelse og retning er lig diagonalen *AD*, kan erstatte kræfterne *AB* og *AC* (på figuren er *AD* mellem 7 og 8 kg). *ABCD* kaldes *kræfternes parallelogram*; *AD* kaldes *resultanten*. At finde resultanten kaldes *at sammensætte kræfterne*.

Går to kræfter i samme retning, er resultanten lig deres sum; går de i modsat retning, er den lig deres differens. Danner de to kræfter en vinkel med hinanden, må resultanten være mindre end kræfternes sum og større end deres differens.

Hvis et legeme oprindelig er påvirket af én kraft *AD*, må denne omvendt kunne erstattes med kræfterne *AB* og *AC*. I så fald siger vi, at vi har *opløst* en kraft i to andre kræfter, som kaldes *komposanterne*.

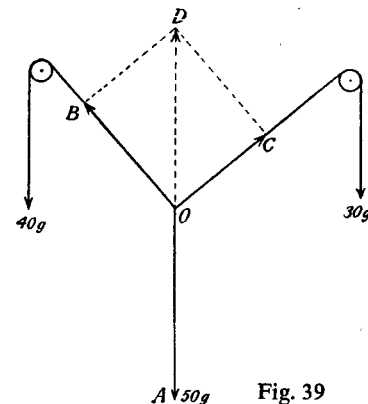


Fig. 39

*Forsøg over kræfternes parallelogram.* To meget letløbende trisser fæstes i ca. 1 meters afstand fra hinanden på den sorte tavle.

Derefter lægges en snor omkring trisserne.

De tre i snoren anbragte kræfter holder hinanden i ligevægt. Kraften *A* (50 g) kan imidlertid holdes i ligevægt af en lige så stor og modsat rettet kraft *D*.

*D* har samme virkning som *B* og *C* tilsammen. *D* er altså *B*'s og *C*'s resultant.

Ved at forbinde pilespidserne *CD* og *DB* finder man ved måling, at *OB* = *CD* og *OC* = *DB*, altså er figuren et parallelogram.

#### Eksempler.

1. To mænd trækker en båd op ad en å ved at trække i tovene

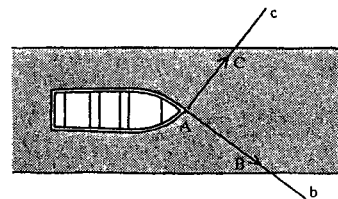


Fig. 40



Fig. 41

$Ab$  og  $Ac$ . Kraften  $AB$  er 8 kg,  $AC$  6 kg. Hvor stor er resultanten, hvis  $\angle CAB = 90^\circ$ ?

2. En mand trækker en slæde i et tov  $Ab$ ; trækket  $AB$  opløses i to kræfter, en vandret ( $AC$ ) og en lodret ( $AD$ ).  $AD$  stræber at vælte slæden bagover,  $AC$  bevæger den fremad. Hvor skal en byrde, der anbringes på slæden, helst lægges? Hvor store er  $AD$  og  $AC$ , når  $AB = 10$  kg og  $\angle BAC = 30^\circ$  eller  $45^\circ$ ?

3. Et legeme med vægt  $p$  kg, ligger på et skråplan  $BC$ ,  $p$  opløses i to kræfter:  $T$  vinkelret på skråplanet og  $K$  parallel dermed. Kaldes skråplanets højde  $h$ , dets længde  $l$ , har man da

$$\triangle ABC \sim \triangle abc; \frac{K}{p} = \frac{h}{l} \text{ eller } K = \frac{h}{l} \cdot p.$$

$K$  stræber at bevæge legemet ned ad skråplanet; er dettes højde f. eks. halv så stor som længden, er  $K$  kun halv så stor som legemets vægt. Et legeme, der glider ned ad et skråplan, bevæger sig langsommere, end hvis det faldt frit, dels fordi den kraft, der frembringer bevægelsen, er mindre end vægten, dels på grund af gnidningsmodstand.

Skal man have en tung ting op på en vogn, tager man bagsmækken af vognen og lægger et bræt med den ene ende på jorden, den anden på vognbunden. Nu forestiller den skrå linie brættet, hvorpå den genstand ligger, der skal slæbes op på vognen. Hvis brættet er glat, skal vi kun anvende en kraft, der er lidt større end  $K$ , for at få genstanden slæbt op. Da  $K$

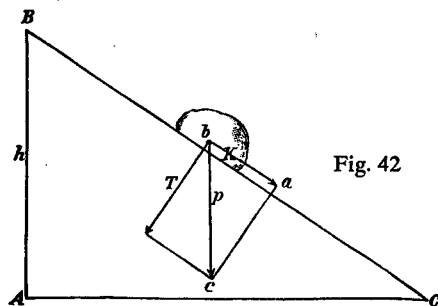


Fig. 42

er mindre end  $p$ , er det lettere at slæbe genstanden op ad brættet end at løfte den op i vognen.

Kører en vogn hen ad en vandret vej, skal hestene kun overvinde gnidningsmodstanden. Kører vognen op ad bakke, skal hestene tillige overvinde den modstand, som frembringes af kraften  $K$  (nu forestiller legemet vognen, den skrå linie bakken).

## Tyngdepunktet

Bor huller ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  og  $D$ ) i en papskive og hæng den op på tavlen ved at stikke en stift gennem et af hullerne,  $A$ . Til stiften fastgør vi en lodsno og tegner på papskiven den lodrette linie gennem  $A$  ved at føre et blyant langs lodsnoen. Hæng efterhånden skiven op i punkterne  $B$ ,  $C$  og  $D$  og tegn på samme måde som før de lodrette linier gennem disse punkter. Vi ser, at alle disse linier skærer hverandre i samme punkt  $T$ . Vi borer nu et hul gennem papskiven ved  $T$  og stikker stiften gennem hullet; skiven er nu i ro, hvilken stilling vi end giver den. I ethvert legeme er der et punkt med den egenskab, at legemet er i ro i en hvilken som helst stilling, når punktet understøttes; dette punkt kaldes tyngdepunktet.

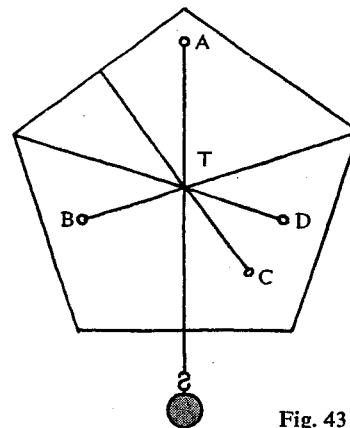


Fig. 43

Ifølge definitionen på en krafts angrebepunkt er et legeme i ro, når angrebepunktet understøttes; heraf følger, at tyngdepunktet kan vælges til angrebepunkt for tyngdekraften i enhver stilling af legemet. Tyngdekraften påvirker hver af de små partikler, hvoraf legemet tænkes sammensat, med en kraft, der går lodret nedad, og som er lig partiklens vægt; resultanten af alle disse parallelle kræfter må åbenbart have tyngdepunktet til angrebepunkt. Deraf følger, at hele legemets vægt kan tænkes samlet i tyngdepunktet. En lodret linie gennem tyngdepunktet kaldes *faldlinien*, fordi tyngdepunktet bevæger sig ad denne linie, når legemet falder.

Sætter vi stiften gennem et af papskivens huller, har vi set, at skiven er i ro, når tyngdepunktet ligger lodret under ophængningspunktet. Vi siger, at skiven er i *stadig ligevægt*, fordi den stadig vender tilbage til samme stilling, hvis vi støder til den. Vi kan også få skiven til at stå stille, når tyngdepunktet er lodret over ophængningspunktet, vi siger nu, at den er i *ustadig ligevægt*, fordi den ikke vender tilbage til samme stilling, når vi støder til den. Sættes stiften gennem tyngdepunktet, siger man, at den er i *ligegyldig ligevægt*. Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er i ro, findes tyngdepunktet i en lodret linie gennem omdrejningsaksen.

Får vi en stok til at balancere på en skarp kant, ligger dens tyngdepunkt nær ved understøtningspunktet (i den lodrette linie gennem dette punkt).

Når en sukkertop står på fladen, er den i stadig ligevægt, fordi den ikke vælter, når vi bringer den *lidt* ud af ligevægstillingen. Får vi den til at balancere på spidsen, er den i ustadig ligevægt.

Ved at bore fire huller i papskiven kan vi ved hjælp af to små stykker kobbertråd gøre en nøgle fast et sted på den og som før finde tyngdepunktet for legemet (papskive og nøgle); vi ser, at tyngdepunktet har flyttet sig hen mod nøglen. Dette forsøg gør det forståeligt, at tyngdepunktet for en belæst vogn ligger højere end for den tomme vogn, og at tyngdepunktet for en lampe, der har en svær fod, ligger lavt.

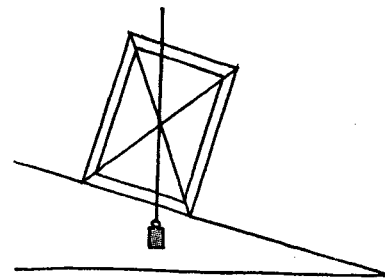


Fig. 44



Fig. 45

Tyngdepunktet for en kasse ligger midt inde i kassen; vi kan se det ved at hænge kassen op i forskellige punkter. På en af kassens sideflader tegnes de to diagonaler, og vi slår en stift ind i kassen i diagonalernes skæringspunkt. Kassen stilles på et bræt, og en lodsnores holdes således, at den under forsøget hele tiden berører stiftet. Tyngdepunktet ligger inde i kassen lige ud for stiftet; lodsnoeren er parallel med faldlinien.

Vi drejer brættet og lægger mærke til lodsnores stilling, når kassen vælter. (For at hindre kassen i at glide kan vi sætte en tegnestift fast i brættet lige neden for kassen). Vi ser, at et legeme vælter, når faldlinien falder uden for den flade, som legemet hviler på. Denne flade kaldes *understøtningsfladen*; en vogns understøtningsflade er den firkant, hvis vinkelspidser er de fire punkter, hvor hjulene berører vejen. Hvilken form har en stols understøtningsflade?

Hvorfor vælter en vogn lettest, når den er smalsporet og har højt læs?

En mand, der bærer en tung byrde på ryggen, hælder sig forover og flytter derved sit og byrdens fælles tyngdepunkt;

holder han en tung genstand i højre hånd, hælder han sig til venstre; hvorfor? Hvorfor er det lettere at stå på to ben end på et?

## Legemers fald gennem luften

Tager vi en stump papir i den ene hånd og et blyant i den anden og lader dem samtidig falde fra samme højde, ser vi, at blyanten når gulvet før papiret.

I et glasrør er der en fjer og en blyklump; glasrøret er indrettet således, at luften kan pumpes ud af det (fig. 45). Holder vi røret lodret, ligger fjer og blyet på bunden. Vender vi røret hurtigt om, ser vi, at blyet falder hurtigere end fjer. Pumper vi luften ud af røret og gør forsøget om, ser vi, at fjer og blyet falder næsten lige hurtigt. *Lette legemer med stor overflade falder langsomt på grund af luftmodstanden. I lufttomt rum falder alle legemer lige hurtigt.* Dette er Galilæis første faldlov.

Et legeme, der falder gennem luften, er påvirket af tyngdekraften, der virker lodret nedad, og luftmodstanden, der virker lodret opad. Når et legeme med stor overflade begynder at falde, er luftmodstanden fra først af mindre end tyngdekraften, og hastigheden vokser. Men når hastigheden vokser, bliver luftmodstanden større og er snart lige så stor som tyngdekraften; fra dette øjeblik af bliver bevægelsen jævn. *Når papir, fjer eller snefnug falder, er luftmodstanden lige så stor som tyngdekraften og ophæver den; bevægelsen bliver da jævn ifølge inertiens lov.*

*Vi skal nu have at vide, hvilke regler der gælder for faldet, når luftmodstanden er meget lille i sammenligning med tyngdekraften; dette finder f. eks. sted, når en sten falder.*

Under faldet trækker jorden hele tiden lige stærkt i stenen. Vi kan se det ved at veje stenen på en fjedervægt nede ved jordens overflade og højere oppe; den vejer lige meget begge steder (som vi senere får at se, er der dog en meget lille forskel).

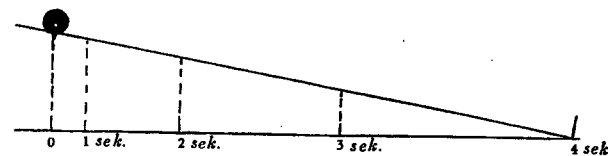


Fig. 46

*Stenens fald er altså en bevægelse, hvor kraften hele tiden er lige stor; man siger, at kraften er konstant.* Men stenens fald foregår så hurtigt, at vi ikke kan følge den med øjnene. Vi vil derfor undersøge en anden bevægelse, der foregår langsommere, men hvor kraften også er konstant. Dette kan ske ved hjælp af skråplanet.

*Skråplanet.* Vi lader en kugle trille ned ad et glat skråplan, hvis højde er lille i sammenligning med længden. Skråplanet kan være dannet af to parallelle, godt 2 m lange jernstænger. Den kraft  $K$ , der frembringer bevægelse (se eksempel 3, side 42), er konstant og mange gange mindre end legemets vægt; bevægelsen bliver derfor så langsom, at vi kan følge den med øjnene. Vi afmærker nu med kridtstreger, hvor langt kuglen er kommen efter 1, 2, 3 sekunders forløb; er vejen i første sekund f. eks. 10 cm, viser det sig, at kuglen i to sekunder løber  $10 \cdot 2^2$  cm, i 3 sek.  $10 \cdot 3^2$  cm o. s. v. Kalder vi den i 1. sek. gennemløbne vej  $a$  cm, den i  $t$  sek. gennemløbne vej  $s$  cm, har vi altså

$$s = a \cdot t^2.$$

Forsøget udføres bedst således: Ved at prøve sig frem finder man så nøjagtigt som muligt faldvejen f. eks. i 4 sek.; hvis loven er rigtig, må faldvejen  $a$  i første sekund være 16 gange mindre. Man afsætter kridtmærker på bordet lige ud for endepunkterne af stykket  $a$ ,  $4a$ ,  $9a$ ,  $16a$  (og  $25a$ ) og ser, om kuglen passerer disse punkter efter 1, 2, 3, 4 (og 5 sekunders) forløb. Tiden måles med en metronom.

Som det fremgår af forsøget med skråplanet *forholder faldvejene sig som kvadratet på tiderne.* Dette er Galilæis anden faldlov.

Når kraften er konstant, er legemets hastighed jævnt voksende, og vi kan da finde vejlængden, et legeme bevæger sig i  $t$  sekunder, ved at betragte bevægelsen som jævn og regne med middelhastigheden ved begyndelsen og slutningen af bevægelsen.

Ved begyndelsen er hastigheden  $o$  og ved slutningen  $v$ ; vi får da, at vejlængden er lig  $\frac{o + v}{2} \cdot t$ , der atter er lig  $a t^2$ ,

$$\text{eller } \frac{v}{2} t = a t^2, \text{ hvoraf vi får}$$

$$v = 2 a t.$$

Hastigheden forøges med  $2a$  i sekundet; hastighedsforøgelsen er altså lig den dobbelte vejlængde i første sekund, denne hastighedsforøgelse kaldes *acceleration*. Giver vi skråplanet større hældning, vokser kraften, og den tid, det tager for legemet at gennemløbe skråplanets længde, bliver kortere. Man kan vise, at *legemets acceleration er proportional med kraften*.

Et legeme, der falder frit, er som tidligere nævnte påvirket af en *konstant* kraft, tyngdekraften, og følgelig må de samme love gælde som ved bevægelsen på skråplanet; det er kun størrelsen  $a$ , der får en anden værdi.

Ved det frie fald er  $a = 5$  m og betegnes med  $\frac{1}{2} g$ ;  $2a$  får altså værdien  $10$  m og sættes lig  $g$ ;  $g$  betegner *tyngdens acceleration*, og vi får

$$s = \frac{1}{2} g t^2; v = g t.$$

Eksempel. Hvor langt falder et legeme i 10 sekunder, og hvor stor er hastigheden?

Hvilken hastighed opnår et legeme ved et fald på 320 m?

Hvor lang en vej gennemløber et frit faldende legeme i 1', 2', 3' ...  $n^{\text{te}}$  sekund?

Mærk: Vi har forudsat, at tyngdekraften er konstant, dette er praktisk talt rigtigt, når afstanden mellem legemet og jorden er lille. Tyngdekraften er et eksempel på almindelig tiltrækning mellem legemer; for denne gælder, at *tiltrækningen står i om-*

*vendt forhold til afstandens kvadrat*. Det er denne tiltrækning, der holder planeterne i deres baner omkring solen. Loven er fundet af den engelske fysiker Newton.

## Vægtstangsreglen

Tegningen forestiller et legeme, der kan dreje sig om en akse  $A$  og er påvirket af en kraft  $P$ . En linie  $a$  fra  $A$  vinkelret på kraftens retning kaldes *kraftens arm*. *Produktet af kraften og dens arm kaldes kraftens moment*.

En stang er anbragt således, at den kan dreje sig om en akse. Dens tyngdepunkt ligger lodret under aksen; den er altså i ro i vandret stilling. Med lige store mellemrum er der anbragt en række kroge; den første er f. eks. 2 cm fra aksen, den næste 4 cm o. s. v.

Vi kan frembringe træk nedad i krogene ved at hænge lodder på dem. Vi hænger et lod, der f. eks. vejer 100 g, på krog 6 (til venstre) og prøver, hvor meget vi må hænge på krog 3 (til højre), for at stangen skal forblive i ro; vi må hænge 200 g på. Trækket til venstre er 100 g, dets arm 12 cm; det har momentet  $100 \times 12$ . Trækket til højre har momentet  $200 \times 6$ ; de to momenter er lige store. Prøver vi os frem med forskellige vægte på forskellige kroge, ser vi, at *stangen kun er i ro i vandret stilling, når momenterne er lige store*.

Der gælder altid følgende regel: *Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er påvirket af en kraft, kan denne ophæves af en anden kraft, der drejer modsat vej, hvis de to kræfter har*

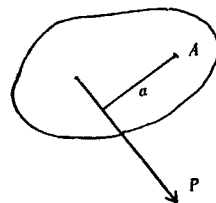


Fig. 47

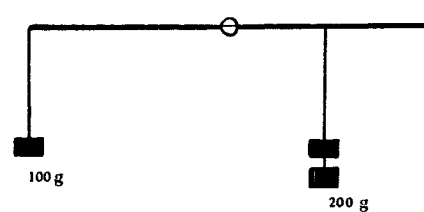


Fig. 48

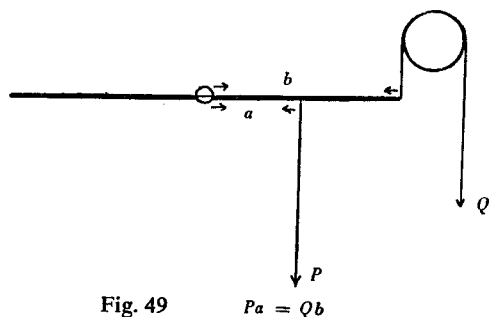


Fig. 49

$$Pa = Qb$$

samme moment. En lille kraft med en lang arm kan altså opveje en stor kraft med en kort arm. Et legeme, der kan dreje sig om en akse, kaldes tit en vægtstang, selv om det ikke har form af en stang; reglen kaldes derfor *vægtstangsreglen*.

I det foregående forsøg virkede der een kraft på hver side af omdrejningsaksen. Hænger vi lodder på mere end to kroge, virker der mere end een kraft på hver side af omdrejningsaksen, og forsøget viser da, at *der er ligevægt, når summen af de momenter, der drejer den ene vej, er lig summen af de momenter, der drejer den anden vej*.

Hvis vægtstangen er enarmet, d. v. s. hvis alle kræfterne virker på samme side af omdrejningsaksen, gælder der de samme regler, og de kan bevises med samme apparat. Da mindst een af kræfterne må gå opad, skal der frembringes et træk opad i stangen; dette sker ved at fastgøre en tråd til stangen, lægge en tråd over en trisse, der er oven over stangen, og hænge et lod i trådens frie ende.

## Eksempler på vægtstangsreglens anvendelse

En mand vil vælte en sten med en *løftestang*. Stangens omdrejningsakse ligger ved *a*. Manden trykker på enden af stangen med en kraft *P*, der er vinkelret på stangen og frembringer

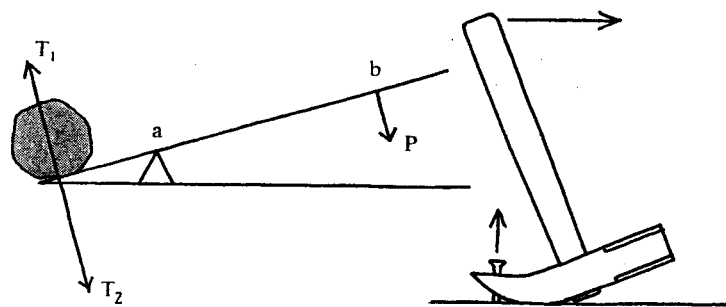


Fig. 50

Fig. 51

derved et tryk  $T_1$  på stenen. Stenens modtryk på stangen ( $T_2$ ) er lig  $T_1$ ; for nemheds skyld antager vi, at  $T_2$  er vinkelret på stangen. Er nu  $ac = 2$  dm,  $ab = 10$  dm og  $P = 20$  kg, har vi:  $T_2 \times 2 = 20 \times 10$ , hvoraf  $T_2 = 100$ . Ved at anvende en kraft på 20 kg har manden frembragt et tryk på 100 kg. (Fig. 50).

Af to drenge vejer den ene 30 kg, den anden 50 kg. Den dreng, der vejer mindst, sidder på den ene ende af et vandret vippebræt, som er 4 m langt. Hvor omtrent skal den anden dreng sidde, for at den ene ikke skal tynge den anden ned?

Man kan trække et søm ud af et bræt med en hammer. Tegningen viser, hvordan man skal holde *hammeren*; *P* er den kraft, hvormed man trykker på hammerskaftet. Vi betragter hammeren som en vægtstang; hvor er omdrejningsaksen, kræfterne og deres arme? Hvorfor er sømmet lettere at få ud, når hammeren har langt skaft?

Hvor er vægtstangen på *brødmaskinen*, hvordan opstår kræfterne *P* og *Q*, og hvor er deres arme? Hvorpå beror det, at trykket på brødet er større end den anvendte kraft?

Anvend vægtstangsreglen på knibtangen, saksen og nøddeknækkeren.

På den almindelige *skålvægt* er der en vandret vægtstang, der kan dreje sig om en akse. Tager vi skålene af og støder til stangen, ser vi, at den kommer i ro i sin oprindelige stilling.

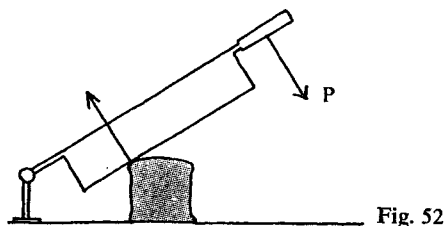


Fig. 52

Tyngdepunktet ligger altså under aksen, så at stangen er ophængt på samme måde som ved forsøget fig. 48. Skålene er ophængt i to punkter, der har samme afstand fra aksen, og den linie, der går gennem skålenes ophængningspunkter, går gennem aksen. Da armene er lige lange, kan vægtstangen kun stå vandret, når den ene skål og det, der ligger på den, vejer lige så meget som den anden skål og det, der ligger på den. Da skålene er lige tunge, må de ting, der ligger på skålene, veje lige meget. Når man vejer en ting, begynder man med et lod, der er for tungt, derpå prøver man det næste lod o. s. v., man springer aldrig lodder over.

Man kan prøve, om armene er lige lange, ved at lægge lige tunge lodder på skålene; vægtstangen skal da stå vandret. Er vægten falsk (d. v. s. den ene arm er længere end den anden), kan man alligevel veje rigtigt på den. Man lægger den ting, der skal vejes, på den ene skål og hagl på den anden, indtil vægtstangen står vandret. Tager man nu tingen bort og erstatter den med lodder, indtil stangen igen står vandret, må tingen og lodderne veje lige meget.

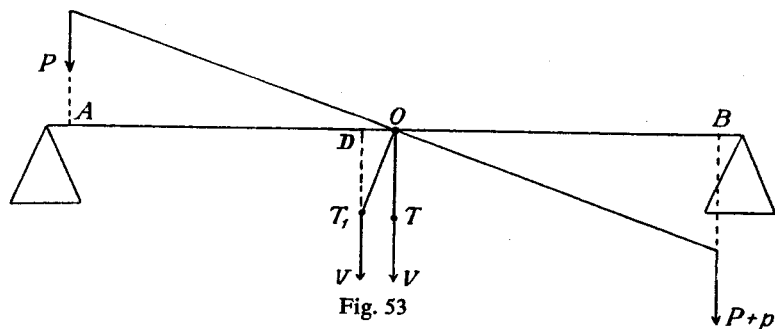


Fig. 53

På fig. 53 er  $O$  omdrejningsaksen,  $T$  vægtstangens tyngdepunkt,  $V$  dens vægt; selve vægtstangen er ikke tegnet med. Skålene og det, der ligger på dem, har vægten  $P$ ; er der desuden på skålen til højre en overvægt  $p$ , står vægtstangen skråt, og  $T$  kommer i stillingen  $T_1$ . De to kræfter  $P$  har lige store arme ( $OA$  og  $OB$ ) og holder hinanden i ligevægt. Da der er ligevægt i den skrå stilling, må desuden

$$V \cdot OD = p \cdot OB.$$

I decimalvægten er loddernes arm 10 gange så lang som den arm, der bærer det, der skal vejes. En ting, der vejer 200 kg, kan altså vejes med et lod på 20 kg. Fordelen ved denne vægt er, at man kan veje tunge ting med lettere lodder.

Vinden består af en valse, som kan drejes rundt med et håndsving, der er længere end valsens radius. Til et punkt på valsen er der fastgjort et reb, i hvis nederste ende der hænger en byrde, f. eks. en spand. Drejer man håndsvinget rundt, vikles rebet om valsen, og spanden hæves. Vi vil finde, hvor stort et tryk  $P$  vi må udøve vinkelret på håndsvinget for at forhindre spanden i at rutche ned. Lad spanden med indhold veje 30 kg; valsens radius er 2 dm og håndsvinget 6 dm. Til angrebepunkt for spandens vægt kan vi vælge ethvert punkt i den lodrette del af rebet, f. eks.  $a$ . Vi har da:  $30 \times 2 = P \times 6$ , hvoraf  $P = 10$  kg. For at hæve spanden, må vi anvende en kraft, der er lidt over 10 kg, da vi skal overvinde gnidningsmodstanden mellem valsens tapper og taplejerne. Med vinden kan vi hæve en byrde ved hjælp af en kraft, der er mindre end byrdens vægt; jo længere håndsving, jo mindre kraft.

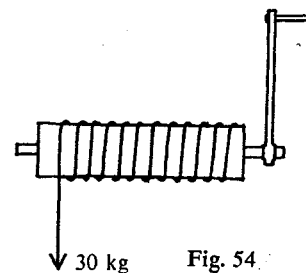


Fig. 54

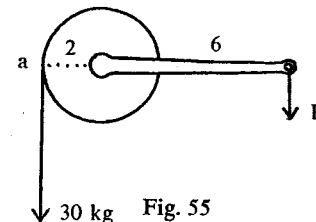


Fig. 55

## Arbejde

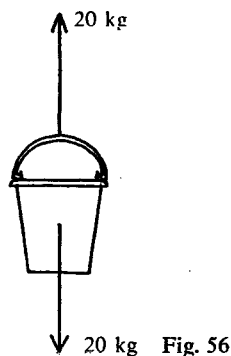
Der udføres et arbejde, når et legeme bevæger sig og er påvirket af en kraft, hvad enten denne er en bevægende kraft eller en modstand.

I. *Arbejdet målt ved modstanden.* Løfter vi en spand, der vejer 20 kg,  $\frac{1}{2}$  m op, siger vi, at der er udført et arbejde på  $20 \times \frac{1}{2}$  kilogrammeter (kgm). Når en byrde hæves, måles arbejdet ved produktet af byrdens vægt og den vej, som byrden er hævet.

II. *Kraftens arbejde.* Håndens træk i spandens hank er den kraft, der frembringer bevægelsen. Fører vi spanden opad med jævn hastighed, går håndens træk lodret opad og må ifølge inertiens lov være 20 kg; til angrebspunkt for dette træk kan vi passende vælge hankens øverste punkt *a*. Under bevægelsen hæves dette punkt også  $\frac{1}{2}$  m, og vi siger, at kraftens arbejde er  $20 \times \frac{1}{2}$  kgm. Når en kraft virker på et legeme, som bevæger sig i kraftens retning, måles arbejdet ved produktet af kraften og den vej, som kraftens angrebspunkt har flyttet sig.

Vi ser, at kraftens arbejde og arbejdet målt ved modstanden er lige store, når spanden løftes med en jævn hastighed (de er begge 10 kgm).

Er håndens træk f. eks. 22 kg, går spanden opad med voksende hastighed. Hæves spanden  $\frac{1}{2}$  m, er kraftens arbejde



$22 \times \frac{1}{2}$  kgm, arbejdet målt ved byrden  $20 \times \frac{1}{2}$  kgm. Kraften må udføre et større arbejde, når legemet bevæger sig med voksende hastighed, end når bevægelsen er jævn

Slæber vi en genstand hen ad et vandret underlag, er det ikke tyngden, men gnidningsmodstanden, der skal overvindes. Er denne 5 kg og vejen 12 m, er arbejdet 60 kgm. Er den kraft, der udfører arbejdet, vandret, må den ifølge inertiens lov være 5 kg, hvis bevægelsen er jævn; kraftens arbejde er altså 60 kgm. Foregår bevægelsen derimod med voksende hastighed, må kraften være mere end 5 kg; kraftens arbejde er altså større end arbejdet målt ved modstanden, hvis legemets hastighed forøges.

En maskines arbejdssevne beror ikke alene på, hvor stort arbejde maskinen kan udføre, men også på, hvor lang tid den er om det. Man siger, at en maskine er på 1 hestekraft (hk), hvis den i 1 sekund kan udføre et arbejde på 75 kgm. En stor dampmaskine er på flere tusinde hk.

Et arbejde på f. eks. 36 kgm kan fremkomme på forskellige måder:

byrden kan veje 4 kg og være hævet 9 m, eller  
byrden kan veje 3 kg og være hævet 12 m, eller  
byrden kan veje 2 kg og være hævet 18 m o. s. v.

## Maskiner

Ved maskiner vil vi forstå redskaber, hvormed vi kan løfte byrder.

En *trisse* er en rund skive med en fure i kanten; den kan dreje sig om en akse, der hviler i en gaffel. Er gafflen fastgjort til en bjælke, kaldes trissen en *fast trisse*. Vi lægger en snor over trissen og binder en byrde *B* fast i den ene ende af snoren. Vi vil finde, hvor stærkt vi skal trække i snorens anden ende for at forhindre byrden i at rutche ned.

Om trækket frembringes med hånden eller på anden måde



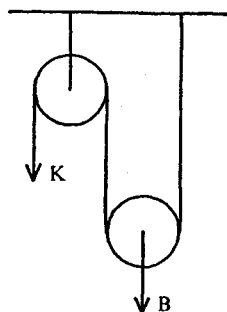


Fig. 58

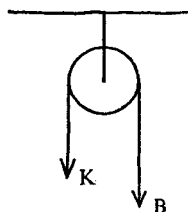


Fig. 57

er ligegyldigt. Det er lettest at lade tyngdekraften frembringe trækket ved at hænge et lod  $K$  i snoren; vi ved da, at trækket er lig loddets vægt. Det viser sig, at *byrden er i ro, når loddet og byrden er lige store.*

For at få byrden hævet kan vi give loddet  $K$  et stød fra oven. Hvis trissen løber meget let, fortsætter byrden sin bevægelse opad med jævn hastighed. Lad os antage, at byrden vejer 8 kg, og at den hæves 4 m; kunne vi løfte den så højt med hænderne, måtte vi udføre et arbejde på 32 kgm. Da trækket i snoren ( $K$ 's vægt) er 8 kg, og da loddet  $K$  er gået 4 m ned, er kraftens arbejde også 32 kgm. *Når en mand løfter en byrde ved hjælp af en fast trisse, må han anvende samme kraft og udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne. Fordelene ved at anvende en fast trisse ligger i, at han kan blive stående på samme sted, medens han udfører arbejdet og kan anvende et nedadgående træk, som er lettere at frembringe end et opadgående.*

En fast trisse kan anvendes i forbindelse med en *løs trisse*. Byrden  $B$  hænger i den løse trisses gaffel, og snoren er anbragt således, som tegningen viser. Vi vil finde, hvor stærkt vi skal trække i snorens frie ende, for at byrden ikke skal rutche ned. (Man må enten regne vægten af den løse trisse med til byrdens vægt, eller – hvad der er det nemmeste – afbalancere den løse trisse med et kontralod, inden byrden anbringes på sin plads).

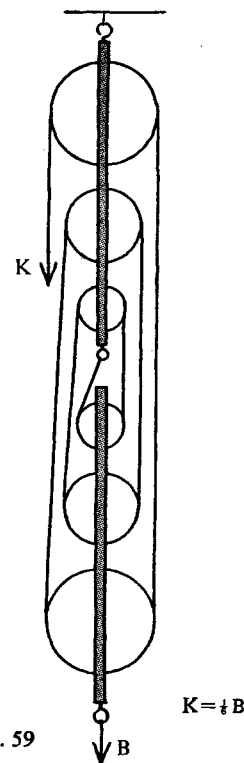


Fig. 59

Ligesom før kan trækket frembringes af et lod  $K$ . Det viser sig, at *loddet kun skal veje halvt så meget som byrden.*

Giver vi loddet et stød fra oven, går byrden opad og loddet nedad med jævn hastighed, hvis gnidningsmodstanden i apparatet er meget lille. Lad byrden veje 10 kg; hæves den 4 m, går loddet  $K$  8 m ned. Da loddet vejer 5 kg, er kraftens arbejde  $5 \times 8$  kgm, arbejdet målt ved modstanden  $10 \times 4$  kgm; de to arbejder er lige store. *Når en mand hæver en byrde ved hjælp af en løs trisse, skal han kun anvende halv så stor kraft, men samme arbejde, som hvis han løftede den med hænderne.*

*Taljen* består af to gaffler; i hver gaffel er der tre trisser (undertiden kun to). Den øverste gaffel er gjort fast til en bjælke;

byrden  $B$  hænger i en krog i den nederste gaffel. Snoren er viklet om trisserne, således som tegningen viser; dens ene ende er bundet i en krog i den øverste gaffel. Vi skal så undersøge, hvilken kraft der skal til for at holde byrden oppe. Som sædvanlig frembringer vi trækket ved hjælp af et lod  $K$ . *Det viser sig, at loddet skal veje  $\frac{1}{6}$  af byrden, hvis gnidningsmodstanden i apparatet er meget lille.*

Vejer byrden 60 kg, kan vi altså hæve den med jævn hastighed med en kraft på 10 kg. Hæves byrden 2 m, må hver af snorene blive 2 m kortere; loddet går 12 m ned. Kraftens arbejde er  $10 \times 12$  kgm. Arbejdet målt ved modstanden  $60 \times 2$  kgm; de to arbejder er lige store. *Når en mand hæver en byrde ved hjælp af en talje, som har 3 trisser i hver gaffel, skal han kun anvende en kraft, der er  $\frac{1}{6}$  af byrdens vægt. Han må udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne.*

*Den faste trisse, den løse trisse og taljen kaldes maskiner. Af andre maskiner har vi tidligere omtalt vinden og skråplanet. Hvad var fordelene ved at bruge et skråplan?*

Ved vinden så vi, at en kraft på 10 kg holder ligevægt mod en byrde på 30 kg, når håndsvinget er 6 dm ( $\frac{3}{5}$  m) og valsens radius 2 dm ( $\frac{1}{5}$ ). *Kraften er lige så mange gange mindre end byrdens vægt, som håndsvinget er længere end valsens radius.*

Hvis gnidningen mellem valsens tapper og taplejerne er meget lille, kan vi dreje håndsvinget rundt med jævn hastighed ved at anvende en kraft på 10 kg. Drejer vi håndsvinget een gang rundt, gennemløber kraftens angrebepunkt vejen  $2\pi \cdot \frac{3}{5}$  m; dens arbejde er  $10 \times 2\pi \cdot \frac{3}{5}$  kgm  $= 12\pi$  kgm. Byrden hæves et stykke, der er lig valsens omkreds ( $2\pi \cdot \frac{1}{5}$ ), arbejdet målt ved modstanden bliver  $30 \times 2\pi \cdot \frac{1}{5} = 12\pi$  kgm. *Når en mand hæver en byrde med vinden, kan han anvende en kraft, der er mindre end byrdens vægt; men han må udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne.*

*Ved hjælp af maskiner kan vi løfte en byrde med en kraft, der er mindre end byrdens vægt; men vi må altid udføre sam-*

*me arbejde, som hvis vi løfter byrden med hænderne. Arbejdet kan vi altså ikke slippe for, hvad der stemmer med en bekendt sætning, energisætningen, som vi først senere kan omtale.*

De store kraner ved havnene er en kombination af tandhjul, vinden og trissen.

## Centripetalkraft

Et legeme, der bevæger sig i en krumliniet bane, må ifølge inertiens lov være påvirket af en kraft, da legemet ellers ville gå i en ret linie. Vi vil kun betragte det tilfælde, at banen er en cirkel. Lad kraften være  $K$ ; den opløses i to komponenter  $C$  og  $T$ ;  $C$  er rettet mod cirkelns centrum, og  $T$  går i retning af tangenten.  $T$ , der kaldes *tangentialkraften*, vil forøge eller formindske legemets hastighed; er  $T = 0$ , er bevægelsen jævn.  $C$ , der kaldes *centripetalkraften* eller den midtpunktsøgende kraft, er den kraft, der holder legemet i den cirkelformede bane. *Centripetalkraften er altså den komponent af den virkende kraft, der i en cirkelformet bevægelse er rettet mod centrum.*

Den centripetalkraft, der er nødvendig for at holde legemet i en cirkelformet bane, afhænger af legemets hastighed og vægt og af cirkelns radius. *Centripetalkraften skal være størst, når*

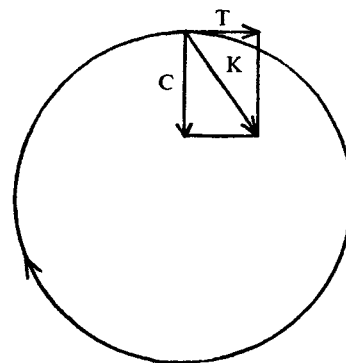
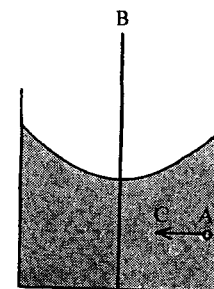


Fig. 60



D  
Fig. 61

banen er stærkt krummet (d. v. s. når radius er lille), når legemet er tungt, og når hastigheden er stor.

Er den mod centrum rettede kraft for lille, d. v. s. mindre end den nødvendige centripetalkraft, fjerner legemet sig fra centrum i en spiralførmig bane; er den for stor, bevæger legemet sig i en spiral ind mod centrum.

1. Slinger vi en sten rundt i en snor med jævn hastighed, strammes snoren og bliver lidt længere; vi kan se det, hvis snoren er af kautsjuk. Snoren stræber at trække sig sammen og frembringer derved det træk i stenen, som uafbrudt forandrer dens bevægelsesretning. Snorens træk i stenen er her centripetalkraft. Går snoren itu, farer stenen bort efter tangenten til det punkt af cirklen, hvor stenen i øjeblikket befinder sig; den kraft, som holder stenen i cirklen, forsvinder nemlig, når snoren går itu. Man ser undertiden det udtryk, at det er „centrifugalkraften“, der får stenen til at gå bort efter tangenten; dette udtryk er misvisende, da den netop forlader cirklen, fordi der *ingen* kraft er til at holde den i cirklen.

2. Når en sporvogn kører i en krumning, trykker hjulene udad på skinnerne; skinnernes modtryk holder sporvognen i dens bane. — Jorden holdes i sin bane af solens tiltrækning. Månen holdes i sin bane af jordens tiltrækning.

3. *A* er en lille væskedel i en væskemasse, der roterer om aksen *BD*. *A* beskriver en cirkelførmig bane med centrum i aksen, og den nødvendige centripetalkraft *C* skyldes trykket fra den omliggende væske. Tænker man sig nu på *A*'s plads anbragt en væskedel af en tungere væske, ville der kræves en større centripetalkraft til at holde denne væskedel i banen; men da den omliggende væskes tryk bliver uforandret, er det mindre end den nødvendige centripetalkraft, og den tunge væskedel må søge ud mod karvæggen. Det er derfor, at mælken i mælkecentrifugen samler sig yderst, medens den lettere fløde samler sig inde ved omdrejningsaksen. Bringes et kar, hvori der er kviksølv og vand, i hurtig rotation, samler kviksølvet sig yderst.

4. Når en cyklist kører rundt i en kreds, hælder han sig ind

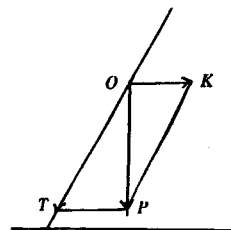


Fig. 62

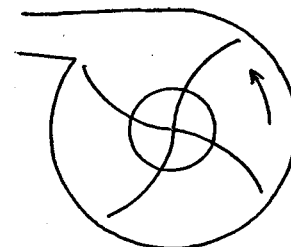


Fig. 63

mod kredsens centrum. Den skrå linie *OT* (fig. 62) forestiller et snit gennem cyklisten og cyklen, og *O* er det fælles tyngdepunkt, den vandrette linie er vejbanen. For at forstå hvorfor cyklisten hælder sig indad, opløser vi tyngdekraften (*P*) i to komponenter, den ene (*K*) er vandret, den anden (*T*) træffer jorden, hvor cykelhjulet træffer vejen. *K* er centripetalkraften. Jo hurtigere han kører, jo større skal *K* være. Tegner vi cyklisten i mere skrå stilling, ser vi, at *K* bliver større, *T* udøver et skråt tryk på vejen, er denne glat, er der fare for, at cyklen glider ud. Cyklebaner anlægges med hældning ind mod banens centrum, derved opnås, at trykket bliver nærmere vinkelret på banen, og faren, for at cyklen glider, formindskes.

5. I centrifugalblæseren (fig. 63) sættes luften i hurtig rotation, når skovlene drejes rundt. Luftdelene kommer ikke til at bevæge sig i cirkler med centrum i skovlenes akse, fordi den nødvendige centripetalkraft mangler, men fjerner sig ud mod blæserens ydervæg og farer i overensstemmelse med inertiens lov ud gennem åbningen *a*. Inde ved aksen bliver luften fortyndet, og ny luft strømmer ind gennem det hul, der er dér. Fører der et rør fra hullet ned i vand, suges der vand op i blæseren, og med dette vand går det, ligesom det før gik med luften; vandet går ud gennem åbningen *a*, og apparatet er nu blevet til en centrifugalpumpe. Støvsugeren er en centrifugalblæser, hvor en gummislange fører fra hullet hen til den ting, som støvet skal suges ud af.

Centrifugalpumpen får udstrakt anvendelse, hvor store bas-

siner skal tømmes for vand og ved tørlægning af arealer (våde enge, havbund), der skal gøres tjenlige til dyrkning.

6. Et legeme vejer mere ved polerne end ved Ækvator, hvis det vejes på en fjedervægt. Grunden hertil er dels, at legemet ved polerne er nærmest jordens centrum, dels – og væsentlig – jordens akseomdrejning. Lad os tænke os, at legemet var ved Ækvator, og at jorden drejede sig så hurtigt, at legemets vægt netop var lig den nødvendige centripetalkraft; i så fald ville legemet ikke trykke nedad på sit underlag, d. v. s. det ville ikke veje noget. Da jorden nu ikke drejer sig nær så hurtigt, er den nødvendige centripetalkraft kun en lille brøkdel af legemets vægt; men denne brøkdel medgår udelukkende til at holde legemet i den cirkelformede bane og mærkes ikke som tiltrækning. Et legeme, der ved Ækvator vejer 200 kg, vejer hos os lidt mere, fordi den nødvendige centripetalkraft her er mindre; ved polerne vejer det 201 kg. – På en almindelig vægtskål vejer et legeme lige meget overalt, fordi loddernes vægt forandrer sig i samme forhold som legemets.

## Pendulet

Et enkelt pendul er et lille lod, der er ophængt i en tynd tråd; afstanden  $l$  fra ophængningspunktet til loddets midte kaldes *pendullængden*. Fører vi loddet lidt ud til siden så at snoren danner en vinkel  $\nu$  med sin oprindelige stilling, og slipper vi loddet, svinger pendulet frem og tilbage.  $\nu$  kaldes *fjerningsvinklen*; den tid, som pendulet er om at gå fra den ene yderstilling til den anden, kaldes *svingningstiden*.

Det er tyngdekraften, der får pendulet til at svinge. På fig. 64 er  $a$  pendulets hvilestilling,  $b$  og  $b_1$  dets yderstillinger. I en vilkårlig stilling af pendulet ( $c$ ) opløser vi loddets vægt  $p$  i to komponenter  $q$  og  $r$ , således at  $q$  går i snorens forlængelse,  $r$  efter tangenten til den cirkelbue, som loddet bevæger sig i;  $q$  strammer snoren, mens  $r$  stadig forandrer loddets hastighed. Foretager vi denne opløsning i forskellige stillinger af pendulet, ser vi, at  $r$  har sin største værdi i yderstillingerne, i hvilestillin-

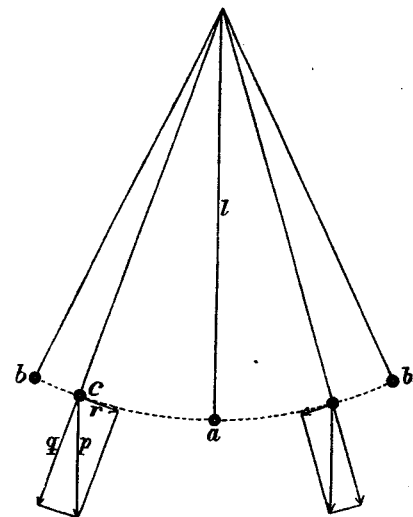


Fig. 64

gen er  $r$  lig 0. Mens loddet går fra  $b$  mod  $a$ , forøger  $r$  hastigheden, som får sin største værdi, når loddet passerer hvilestillingen; under bevægelsen fra  $a$  mod  $b_1$  går  $r$  i modsat retning af bevægelsen og formindsker hastigheden, som bliver 0, når pendulet standser i yderstillingen  $b_1$ .

*Svingningstiden er ligefrem proportional med kvadratroden af pendullængden, men afhænger ikke af loddets vægt eller af udsvingets størrelse, hvis udsvinget er lille.* Har vi således to penduler, af hvilke det ene er 9 gange så langt som det andet, har det længste en svingningstid, der er 3 gange så lang som det korte penduls. En sekundpendul skal næsten være 1 m langt, minutpendulet  $60^2$  så langt eller omtrent 3,6 km.

*Forsøg over pendulet.* 1) Loddet ophænges i en lang tråd (1 à 2 m) eller bedre som på fig. 65 i to tråde. Længden  $l$  måles til midten af loddet, og svingningstiden  $t$  findes, ved at man ser, hvor længe pendulet er om at udføre f. eks. 50 svingninger. På samme måde bestemmes svingningstiden  $t_1$  for en anden pendullængde  $l_1$ . Det skal nu tilnærmelsesvis vise sig, at

$$\frac{t}{t_1} = \sqrt{\frac{l}{l_1}}.$$

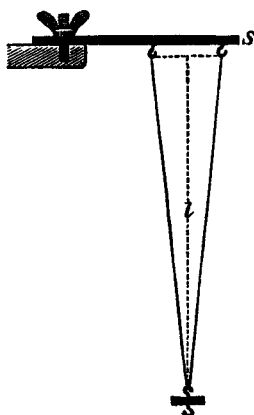


Fig. 65

2) Svingningstiden for et pendul bestemmes to gange for samme pendullængde; første gang fjernes loddet kun nogle få cm fra sin hvilestilling, anden 3 à 4 gange så meget. De to svingningstider skal omtrent være lige store.

3) Svingningstiden for det i (2) brugte pendul bestemmes, idet loddet erstattes med et tungere lod, således at pendullængden bliver den samme. Svingningstiden skal meget nær blive den samme som i (2).

Ved beregninger har man fundet følgende formel for et penduls svingningstid  $t$ :

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

hvor  $g$  er tyngdens acceleration. Ved et pendul som fig. 65 kan man bestemme  $t$  og  $l$ ;  $\pi = \frac{22}{7}$ , altså kan  $g$  beregnes.

Det fysiske eller sammensatte pendul er et legeme, som kan dreje sig om en vandret akse, der ikke går gennem tyngdepunktet; går aksens gennem tyngdepunktet, er legemet i ligevægt og kan ikke svinge.

Pendulet bruges til at regulere urets gang; loddet i uret ville få viseren til at bevæge sig med voksende hastighed, hvis ikke pendulet standsede urværket een gang for hver svingning. Skal pendulet gøres længere eller kortere, hvis uret går for hurtigt?

## VARMELÆRE

### Udvidelse ved opvarmning

*Luft.* I et reagensglas (fig. 66) sidder en gummiprop med glasrør, og i røret er der en lille farvet vandsøjle. Reagensglasset sættes i vandret stilling i et forsøgsstativ.



Fig. 66

Opvarmer vi reagensglasset med hånden, vil den lille vandsøjle bevæge sig udad i røret; fjerner vi hånden, vil vandsøjlen gå tilbage. Det vi har iagttaget er, at luften inde i reagensglasset udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling.

*Vand.* Vi fylder en kogeflaske med vand og sætter en prop med glasrør i halsen; lidt af vandet går op i glasrøret. Opvarmes flasken, synker vandet lidt; det kommer af, at flasken udvider sig, inden vandet er blevet varmt. Men når varmen har fået tid til at trænge ind i vandet, stiger det et stykke op i glasrøret. Vandet synker igen, når flasken afkøles. Man må bruge kogt vand til dette forsøg, da der ellers samler sig luft fra vandet op under proppen.

*Faste stoffer.* En tynd metaltråd hænges op i et forsøgsstativ og strammes ved et ret tungt lod (fig. 68). Trådens længde afpasses således, at loddet netop kan svinge uden at røre bordfladen. Tråden opvarmes med en sprit- eller gasflamme. Loddet vil da røre ved bordpladen, (prøv at lade tråden svinge). Fjernes lampen, vil tråden efter kort tids forløb atter kunne svinge.

Forsøget gentages med forskellige metaller og viser, at de

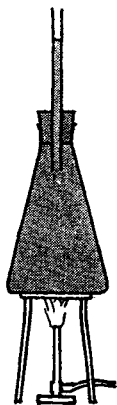


Fig. 67

anvendte metaller udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling.

Næsten alle stoffer udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling; faste stoffer udvider sig kun meget lidt. En undtagelse fra denne regel er vand under  $4^{\circ}\text{C}$ .; det udvider sig, når det afkøles, og trækker sig sammen ved opvarmning. Vand, der er  $4^{\circ}$  varmt, udvider sig altså både, når det opvarmes og når det afkøles. Kun ved  $4^{\circ}$  er vandets vægtfylde nøjagtig 1.

En jernbaneskinne kan om sommeren være nogle millimeter længere end om vinteren; skinnernes ender lægges derfor ikke tæt til hinanden i sammenføjningerne.

Hælder man varmt vand i et glas med tyk bund, bliver siderne hurtigere gennemvarmede end bunden og udvider sig hurtigere. På figuren viser de punkterede linier, hvordan glassets sider udvider sig, når der kommer varmt vand i det; det knækker let omtrent nede ved bunden.

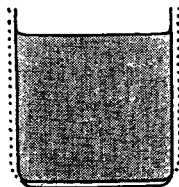


Fig. 69

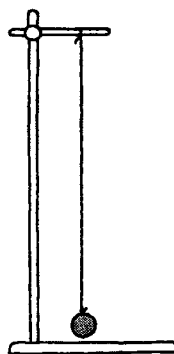


Fig. 68

En glasprop, der sidder fast i en flaske, kan man få op ved at varme halsen lidt, hvorfor det? Hvorfor må man ikke varme halsen for længe, inden man prøver at vrikke proppen løs?

Smeden laver ringen til vognhjulet lidt for lille og opvarmer den så stærkt, at den kan gå omkring hjulet; når den derpå afkøles, spænder den fast om hjulet.

Hvorfor springer glasset på en tændt lampe, når der sprøjter vand hen på det? Hvorfor løsner kalken sig let på det sted, hvor kakkelovnsrøret går ind i væggen? Hvorfor kan pendulets svingningstid forandre sig med temperaturen?

## Termometret

Et legemes temperatur eller varmegrad måles ved hjælp af et termometer. Termometerbeholderen og et stykke af røret er fyldt med kviksølv; opvarmes kviksølvet, udvider det sig og går højere op i røret. Stikkes beholderen ned i smeltende sne eller is, stiller kviksølvet sig altid på et bestemt sted, der kaldes fry-

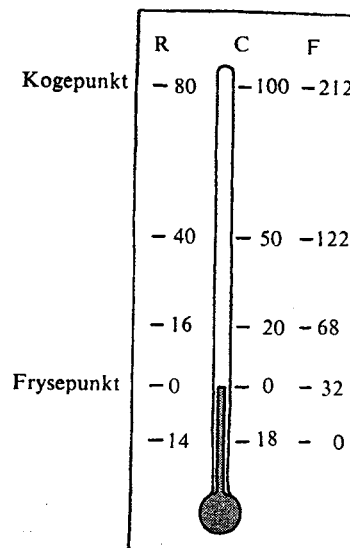


Fig. 70

*sepunktet*. Anbringes beholderen i overfladen af vand, der koger ved normalt lufttryk (76 cm), standser kviksølvet på et bestemt sted, som kaldes *kogepunktet*.

Celsius delte stykket mellem fryse- og kogepunktet i 100 lige store dele (grader); han satte 0° ved frysepunktet, 100° ved kogepunktet. Reaumur satte ved de to punkter henholdsvis 0° og 80°, Fahrenheit 32° og 212°; Fahrenheit delte altså stykket mellem fryse- og kogepunktet i 180 lige store dele. Man har altså:

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

$$5^{\circ} \text{ C.} = 4^{\circ} \text{ R.} = 9^{\circ} \text{ F.}$$

Hvor mange grader F. svarer til 16° R.?  $1^{\circ} \text{ R.} = \frac{9}{4} \text{ F.}$ , altså  $16^{\circ} \text{ R.} = 16 \cdot \frac{9}{4} \text{ F.} = 36^{\circ} \text{ F.}$  Da Fahrenheit har 32° ved frysepunktet, må 16° svare til  $36^{\circ} + 32^{\circ} \text{ F.}$

I termometret er der tit vinånd (ren sprit) i stedet for kviksølv. Vinånd ligner vand; for at man bedre kan se det, farves det rødt, blåt eller gult. Vinåndstermometret kan bruges fra ca.  $\div 100^{\circ}$  til  $79^{\circ}$ ; under  $\div 100^{\circ}$  bliver vinånden tykflydende og klæber sig fast i røret. Kviksølvttermometret kan bruges fra  $\div 39^{\circ}$  til  $358^{\circ}$ .

Ved  $358^{\circ}$  er kviksølvet damptryk 1 atm.; der dannes da dampblærer inde i kviksølvsøjlen, som skiller søjlen ad. *Kviksølvet koger ikke.*

Termometerrøret er lukket foroven, for at væsken ikke skal fordampe eller løbe ud af røret. Rummet over væsken er i reglen lufttomt.

## Varmeenheden. Varmefylde

Vi vil undersøge, om lige store vægtmængder af forskellige stoffer, der har samme temperatur, har samme varmeevne.

I tre måleglas hældes der vand, til det står ved mærket 50 cm<sup>3</sup>, og vandets temperatur aflæses. Et blylod og et aluminiumlod, der vejer lige meget – f. eks. 39 g –, opvarmes til 100° ved at sænkes ned i kogende vand; i loddernes kroge er

der bundet sytråde. Løft lodderne op, sænk dem hurtigt ned i hvert sit måleglas, rør rundt i vandet ved at hæve og sænke lodderne og aflæs igen vandets temperatur i de to glas. Hæld 39 g (= 39 cm<sup>3</sup>) kogende vand i det tredje måleglas og find temperaturstigningen (først sætter man hånden for måleglassets munding og vender et par gange op og ned på glasset).

Hvorledes kan temperaturstigningen i de tre forsøg vise, om de tre stoffer har samme varmeevne?

Hvorledes kan vi prøve, om lige store rumfang vand og aluminium ved samme temperatur har samme varmeevne?

*Lige store vægtmængder eller lige store rumfang af forskellige stoffer, der har samme temperatur, har ikke samme varmeevne; man siger, at stofferne har forskellig varmekapacitet. Blandt alle flydende og faste stoffer er vand det, der har størst varmeevne.*

Når en gryde med vand står over ilden, stiger vandets temperatur, og man siger, at der *strømmer* varme fra ilden over i vandet. Tidligere antog man nemlig, at varme var et stof, der kunne strømme fra varme legemer over i kolde. Dette kan dog ikke være rigtigt; når to legemer støder sammen, bliver de begge varmere, og når en vognaksel ikke er smurt, opvarmes både hjul og aksel stærkt, uden at vi kan påvise noget andet legeme, hvorfra varmen kommer. Vi vil dog beholde den forestilling, at der tilføres et legeme *noget*, når legemet bliver opvarmet.

Når vand skal opvarmes, må der altså tilføres det varme. *Den mængde varme, der skal tilføres 1 gram vand for at opvarme det 1°, kaldes en gramkalorie eller en varmeevne (V. E.).*

*Eksempel 1.* Hvor mange V. E. medgår der til at opvarme 10 g vand fra 20° til 38° (d. v. s. 18°)?

Udregning: Til at opvarme 1 g vand 1° medgår der 1 V. E.

|   |   |      |   |     |   |   |     |   |
|---|---|------|---|-----|---|---|-----|---|
| – | – | 1 g  | – | 18° | – | – | 18  | – |
| – | – | 10 g | – | 18° | – | – | 180 | – |

*Eksempel 2.* Hvor mange V. E. indeholder 20 g vand à 7°? 20 g vand à 7° indeholder 140 V. E. mere end 20 g vand à 0°, fordi der kræves 140 V. E. til at opvarme vandet fra 0° til 7°. Man siger kort og godt, at 20 g vand à 7° indeholder 140 V. E.

Blander vi koldt og varmt vand, får blandingen en temperatur (fællestemperaturen), som ligger mellem det kolde og det varme vands temperatur. Vi skal nu se, hvordan fællestemperaturen kan *beregnes*.

*Eksempel 3.* 50 g vand à 20° blandes med 150 g vand à 30°. Det koldeste vand indeholder  $50 \times 20$  V. E., det varme  $150 \times 30$  V. E., tilsammen 5500 V. E., som efter blandingen er ligeligt fordelt over 200 g vand. Hvert gram indeholder  $5500 : 200$  V. E. =  $27\frac{1}{2}$  V. E. Fællestemperaturen må altså være  $27\frac{1}{2}^\circ$ .

Som varmeanhed bruges tit en kilogramkalorie. *En kilogramkalorie er den mængde varme, der må tilføres 1 kg vand for at opvarme det 1°.* Da 1 kg = 1000 g, er 1 kilogramkalorie = 1000 gramkalorier.

*Ved et stofs varmfylde forstås det antal gramkalorier, der medgår til at opvarme 1 g af stoffet 1°.* Vands varmfylde må altså være 1, kobbers og messings varmfylde er  $\frac{1}{10}$ ; disse metaller er altså 10 gange så lette at opvarme som vand.

Er varmfyllden for et eller andet stof c, dets vægt p g, og opvarmes det fra  $t^\circ$  til  $T^\circ$ , må der

til at opvarme 1 g af stoffet 1° medgå c V. E.

— — p g — — 1° — pc V. E.

— — p g — —  $T^\circ - t^\circ$  — pc(T-t) V. E.

Når et legeme opvarmes, skal der altså tilføres det en varmemængde, der er lig *vægten*  $\times$  *varmfyllden*  $\times$  *antallet af grader*, som legemet opvarmes. Afkøles legemet fra  $T^\circ$  til  $t^\circ$ , går der pc(T-t) V. E. bort fra det. Hvis det er vand, der er tale om, er c = 1, og udtrykket bliver da p. 1. (T-t) V. E.

## TABEL OVER NOGLE STOFFERS VARMEFYLDE

brint 3,4

vand 1

is ca.  $\frac{1}{2}$

glas og aluminium ca.  $\frac{1}{5}$

jern ca.  $\frac{1}{9}$

kobber og messing ca.  $\frac{1}{10}$

bly og kviksølv ca.  $\frac{1}{30}$

## Varmens bevægelse

*Ledningsevne.* Stikker vi den ene ende af et søm ind i en flamme, bliver sømmet snart så varmt, at vi ikke kan holde på det. Gør vi samme forsøg med en træpind, der omtrent er lige så lang og tyk som sømmet, brænder vi os ikke på den. Varmen går altså meget lettere gennem sømmet end gennem træet; *jern er en god, træ en dårlig varmeleder*. På samme måde kan vi prøve med papir, kobbertråd og et stykke glastrør; papiret leder dårligere end glasset, kobbertråden bedre.

Om vand er en god eller dårlig varmeleder, prøver vi ved at fylde et reagensglas med vand, stikke et termometer helt ned til bunden og opvarme vandet foroven (fig. 71). Vandet her kan koge nogen tid, uden at temperaturen stiger; vand må være en dårlig varmeleder.

*Alle metaller er gode varmeledere, særlig sølv og kobber. De dårligste ledere er træ, papir, luft og ting, der indeholder meget luft, f. eks. fjer, halm, hø og uldtøj.*

Klæder er dårlige varmeledere; de forhindrer varmen i at gå bort fra legemet, men kan ikke opvarme det.

Hvorfor er der træhanke på kaffekander?

Hvorfor er jern koldere at føle på end træ?

Hvorfor kan man om sommeren gemme is på marken ved at dække den med tørvesmuld og halm?

Når maden er kommen i kog på komfuret, sætter man den tit ned i en kasse, der er foret med hø; hvorfor gør man det?

Om vinteren vikler man halm om pumpen, for at vandet i pumperøret ikke skal fryse. Halmen opvarmer ikke pumpen, men hindrer den varme, der er inde i pumpen, og som kommer nede fra brønden, i at gå bort.



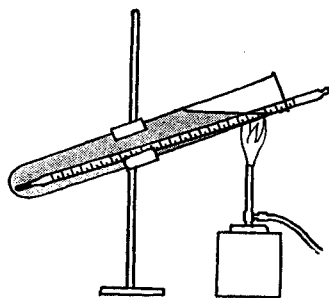


Fig. 71

*Strømme i vand.* Vi fylder vand i et vidt reagensglas (diameter ca. 3 cm), kommer lidt savsmuld i vandet og anbringer glasset skråt i forsøgsstativet. Opvarmes glassets bund svagt, kan vi se på savsmuldet, at det varme vand stiger til vejrs, mens det kolde vand bevæger sig ned langs glassets nederste side. Strømmene fremkommer, fordi varmt vand har mindre vægtfylde end koldt vand.

Når en gryde vand står over ilden, opvarmes vandet ved bunden og stiger til vejrs, mens det kolde vand søger ned til bunden og bliver opvarmet.

Hvorfor fremkom der ikke strømme i vandet ved forsøget fig. 71?

*Strømme i luft.* Da Arkimedes' sætning også gælder for luft, må opvarmet luft stige til vejrs.

I kemien læres, at der skal luft (ilt) til, for at det kan brænde i kakkelovnen. Luften går fra stuen ind i kakkelovnen, og ny luft strømmer ind i stuen gennem sprækker i vinduer og døre, hvor der derfor bliver stærk *træk*; om vinteren, når man fyrer i kakkelovnen, trækker det meget mere end om sommeren.

Luften er en slet varmeleder. Når der er ild i kakkelovnen, føres varmen rundt i stuen af strømme i luften. Luften lige om kakkelovnen opvarmes, stiger til vejrs og samler sig under loftet. Når den bliver afkølet, synker den lavere ned. Den koldere luft ved gulvet strømmer hen til kakkelovnen, opvarmes,

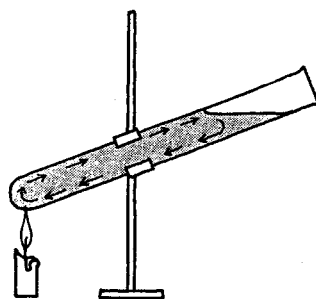


Fig. 72

går til vejrs op under loftet, og sådan bliver det ved. Da den varme luft under loftet afkøles mest ved ydervæggene, er der her de stærkest nedadgående luftstrømme. Lægger man røgelse på kakkelovnen, lugter man det først henne ved vinduerne. Når lampen osrer, går den varme os op under loftet og føres med af luftstrømmene. Den der sidder ved vinduet, mærker lampeosen før den, der sidder lige ved lampen.

Luk døren på klem til et koldt værelse og hold et tændt stearinlys i dørspærken. Foroven, hvor den lette, varme luft strømmer ud og går op under loftet i den kolde stue, blæser flammen udad. Forneden, hvor den kolde, tunge luft strømmer ind og erstatter den, der er strømmet ud foroven, blæser flammen den modsatte vej; midt i dørspærken står den omtrent lige.

## Centralopvarmning

I stedet for at have kakkelovn i hvert værelse bruger man nu en stor ovn i kælderen og lede varmen herfra rundt i huset. Værelserne opvarmes enten ved damp eller varmt vand.

Ved opvarmning med damp opvarmes vand i en kedel, der står i kælderen. I hvert værelse er der opstillet et hult varmeapparat af jern. Vanddampe fra kedelen føres gennem rør op gennem varmeapparaterne og opheder dem. Ved gulvet er der en åbning, som går ud i en skorsten (trækkanal). Forklar, hvordan luften bevæger sig i stuen.

Opvarmning med varmt vand foregår på lignende måde som med damp. Kedelen, rørene og varmeapparaterne er fyldt med vand. Når vandet ved kedelens bund opvarmes, bliver det lettere; det stiger op gennem rør, der udgår fra kedelens overdel, og går gennem varmeapparaterne. På vejen afkøles det efterhånden, bliver tungere og føres gennem andre rør tilbage til kedelens bund, hvor det på ny opvarmes.

## Opløsning og smeltning

En stor skefuld salmiak opløses i noget vand, og temperaturen aflæses før og efter opløsningen; da temperaturen synker stærkt, må der forsvinde varme ved opløsningen. Man kan frembringe stærkere kulde ved at blande salt med sne eller stødt is (bedst en vægtdele salt til tre vægtdele sne); efterhånden smelter sneen, saltet opløses, og temperaturen kan gå ned til  $\div 21^{\circ}$ , der er frysepunktet for en mættet saltopløsning. Blandingen kaldes en *kuldeblanding*.

**Smeltepunkt.** Nogle stoffer, således alle metaller, kan smelte; andre, f. eks. træ og tøj, kan ikke smelte, men omdannes ved opvarmning til luftarter og en fast rest. Når et stof, der kan smelte, opvarmes, stiger dets temperatur, til smeltningen begynder, og bliver nu uforandret i nogen tid eller stiger kun meget langsomt; når stoffet er smeltet, stiger temperaturen igen hurtigere. Afkøles det smeltede stof, synker temperaturen hurtigt, indtil det begynder at størkne, bliver i nogen tid omtrent uforandret og synker så raskere, når stoffet er størknet. Stoffet smelter og størkner ved samme temperatur, som kaldes *smeltepunktet*.

**Forsøg over smeltning og størkning.** I et bægerglas hældes sne eller stødt is, og i et andet bægerglas hældes vand ved en temperatur af ca.  $0^{\circ}$ . Man iagttager derefter temperaturen i de to glas. I glasset, hvor isen smelter, holder temperaturen sig på  $0^{\circ}$ , medens den stiger i det andet glas. Man slutter deraf, at der forbruges varme til smeltning af isen. Hvor kommer varmen fra?

I et reagensglas hældes så meget vand, at termometerbeholderen er godt dækket, i et andet reagensglas samme mængde saltvand; de to glas sættes ned i en kuldeblanding, og man rører rundt med termometrene. Det viser sig da, at temperaturen i begge glas synker til  $0^{\circ}$ , derefter står den stille i det rene vand, men synker stadig i saltvandet; det rene vand er begyndt at

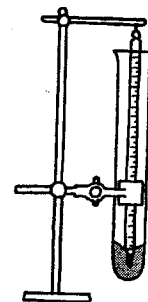


Fig. 73

fryse. Når alt vandet er frosset, synker temperaturen atter. Man slutter deraf, at der ved vands frysning opstår varme.

**Stearins smeltepunkt.** Nogle små stykker af et stearinlys anbringes i et reagensglas, som stikkes ned i et bæger med kogende vand; stearinen smelter. Reagensglasset og et termometer anbringes i forsøgsstativet (fig. 73). Stearinens temperatur aflæses hvert minut og opskrives; smeltepunktet fremgår tydeligt af den opskrevne temperaturrække. Stearinen i forskellige lys har ikke samme smeltepunkt.

Når stearinen er størknet, synker temperaturen meget langsomt. Af disse og lignende forsøg har man draget den slutning, at der opstår varme, når et stof størkner, og at der forbruges varme, når det smelter.

**Saltvands frysepunkt.** I en kuldeblanding anbringes et reagensglas, der indeholder lidt saltvand. Frysepunktet bestemmes.

**Vands underafkøling.** Nogle stoffer, f. eks. svovl og vand, kan afkøles under smeltepunktet, uden at de størkner. Et reagensglas, hvori der er lidt, kogt vand og et termometer, sættes ned i en kuldeblanding. Når glasset står uden at rystes, synker vandets temperatur under  $0^{\circ}$ , uden at det fryser.

Når temperaturen er sunket til  $\div 4^{\circ}$  à  $5^{\circ}$ , tages glasset forsigtigt op. Rystes det derefter kraftigt, fryser en del af vandet, og temperaturen stiger samtidig til  $0^{\circ}$ , fordi der opstår varme ved størkning.

Tabel over smeltepunkter:

|                  |                  |                |          |
|------------------|------------------|----------------|----------|
| platin .....     | 1800°            | bly .....      | ca. 330° |
| jern og stål ... | 1050°–1600°      | tin .....      | ca. 230° |
| guld .....       | lidt over 1000°  | is .....       | 0°       |
| sølv .....       | lidt under 1000° | kviksølv ..... | ÷ 39°    |

*Rumfangsforandringer under smeltningen.* Da is har mindre vægtfylde end vand, må vand udvide sig, når det størkner. På samme måde går det, når smeltet støbejern størkner, hvorfor det fuldstændigt kan gengive støbeformen. Når stearin er i færd med at smelte, synker de stykker til bunds, der endnu er på fast form; stearinen udvider sig altså, når den smelter. *Nogle stoffer trækker sig sammen under smeltningen, andre udvider sig.*

Når is eller sne à 0° står i en varm stue, går der stadig varme fra stuen over i isen, uden at dens temperatur stiger; *der forsvinder* altså varme under smeltningen. Når et stof størkner, går der varme fra stoffet over i de koldere omgivelser, uden at stoffets temperatur synker; *den varme, der forsvinder, når et stof smelter, kommer frem igen, når stoffet størkner.* Ved et stofs smeltevarme forstås det antal gramkalorier, som må tilføjes et gram af stoffet for at smelte det, når stoffet i forvejen er opvarmet til smeltepunktet.

Tabel over nogle stoffers smeltevarme:

|            |          |
|------------|----------|
| is .....   | omtr. 80 |
| jern ..... | — 30     |
| zink ..... | — 28     |
| tin .....  | — 13     |
| bly .....  | — 6      |

Isen har en meget stor smeltevarme, større end noget andet stof. Derfor holder isen på søer sig så godt, at det skal være tøvæjr i lang tid, før al isen er smeltet. Til gengæld varer det længe, inden der i frostvejr danner sig en tyk isskorpe på vandet, fordi dette under størkningen afgiver store varmemængder, der først må bortskaffes.

## Fordampning og fortætning

Hælder vi æter eller sprit på hånden, fordamper væsken, og hånden bliver kold. Binder vi et stykke tøj om termometerbeholderen, hælder æter på tøjet og svinger termometret frem og tilbage, synker temperaturen stærkt. *Alle væsker fordamper; ved fordampningen forsvinder der varme.* Faste stoffer kan også fordampe; man kan lugte et stykke kamfer, tøj kan tørre i frostvejr.

Hæld 70 cm<sup>3</sup> koldt vand i et måleglas og mål vandets temperatur. Bring noget vand i kog i en kogeflaske og led dampene ned i vandet i måleglasset (fig. 74); vanddampene fortættes, og vandet i måleglasset stiger. Når det er steget 10 cm<sup>3</sup>, afbrydes tilledningen, og temperaturstigningen aflæses. Der er fortættet 10 g vanddamp (rettere sagt noget mindre, fordi de 70 cm<sup>3</sup> koldt vand har udvidet sig noget). Hæld vandet ud af måleglasset og kom igen 70 cm<sup>3</sup> koldt vand deri. Hæld 10 cm<sup>3</sup> kogende vand i glasset, sæt hånden over munden, vend op og ned på glasset og mål temperaturstigningen. Det viser sig, at 10 g damp à 100° indeholder meget mere varme end 10 g vand à 100°. *Når damp fortættes ved afkøling, opstår der altså varme. Den varme, der forsvinder, når en væske fordamper, kommer frem igen, når dampene fortættes.*

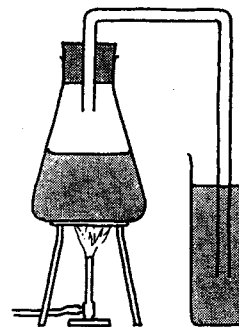


Fig. 74

En væske fordamper ved enhver temperatur. *Ved en væskes fordampningsvarme forstås det antal gramkalorier, der skal tilføres et gram af væsken for at omdanne den til damp af samme temperatur.* Vands fordampningsvarme ved  $40^\circ$  er således den varmemængde, der skal tilføres 1 g vand à  $40^\circ$  for at omdanne det til 1 g damp à  $40^\circ$ ; fortættes dampen igen til vand à  $40^\circ$  opstår der lige så megen varme, som der forsvandt ved fordampningen.

Af alle væsker har vand den største fordampningsvarme; for rent vand er den 536 ved  $100^\circ$ , ved  $0^\circ$  er den 607.

*Rummet over en væske kan mættes med dampe, hvilket vil sige, at der er ligevægt mellem fortætning og fordampning.*

*Eksempler:* Har man låg på en gryde med vand, der står over ilden, mættes rummet under låget snart med vanddampe, og vandet fordamper ikke så hurtigt som i en gryde uden låg; herved opnår man, at der kun forsvinder en ringe varmemængde, så at vandet hurtigere kommer i kog og ikke koger så hurtigt bort. Blæser man på varm mad, blæser man de mættede dampe bort; fordampningen bliver stærkere og afkøler maden. På lignende måde bliver en fugtig vej hurtigst tør i blæst. – Langvarig tåge eller regn kan indvirke på menneskets befindende, fordi luften er mættet med vanddampe, som forhindrer, at hudens fugtighed fordamper.

*Luftens fugtighed.* Luften indeholder vanddampe, som opstår ved haves og søers fordampning. Vanddampe er usynlige, den hvide tåge, man ser, når et lokomotiv fløjter og en gryde koger, er ikke vanddampe, men meget små vanddråber, som fremkommer ved at noget af dampen fortættes.

Luften indeholder ikke altid lige mange vanddampe; er den meget fugtig, fortættes de ved ringe afkøling. Varm luft kan indeholde flere vanddampe end kold luft; om sommeren er luften derfor i reglen mere tør end på andre tider af året. *Dugpunktet* er den temperatur, som luften skal afkøles til for at være mættet med de vanddampe, den indeholder. Bringer

man en karaffel koldt vand ind i stuen, sætter der sig dug på den, hvis karafflens temperatur er lavere end stuens dugpunkt, så at luftlaget lige om karaffen afkøles under dugpunktet. Når vil der sætte sig dug på ruderne? – Om aftenen afkøles jordskorpen ved udstråling tit så meget, at der sætter sig dug på planter; afkøles duggen under  $0^\circ$ , bliver den til rim. Borde og bænke, der står i fri luft, virker som skærme, der hindrer jorden i at udstråle varme, så at der ingen dug sætter sig under dem. På samme måde virker skyerne, derfor falder der stærkest dug ved klar himmel.

*Luftens fugtighedsgrad er forholdet mellem vægten af den vanddamp, der er i et vist rumfang luft, og vægten af den vanddamp, der ville være i samme rumfang, hvis luften var mættet.* Fugtighedsgraden kan altså højst være 1; når den f. eks. angives ved tallet 73, mener man, at den er  $\frac{73}{100}$ .

Skyerne er tåger, der dannes ved vanddampenes fortætning. De ganske små vanddråber, hvoraf en sky består, daler kun meget langsomt, fordi luftmodstanden er stor ved små legemers fald. Under faldet kommer skyens underflade snart ned i varmere luft og omdannes til damp, som igen stiger til vejrs; når man iagttager en skarpt begrænset sky, ser man også, at underfladen stadig forandrer sig. – De fine hvide skyer, som tit ses højt oppe, når himlen ikke er overtrukket, består af små isnåle; de kan være 15 km over jorden. Ellers er skyerne meget længere nede; i tåge når de helt ned til jorden.

Da skyerne er en blanding af vanddampe og små vanddråber, vokser vanddråberne, når skyerne af en eller anden grund

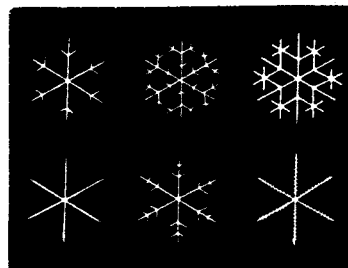


Fig. 75

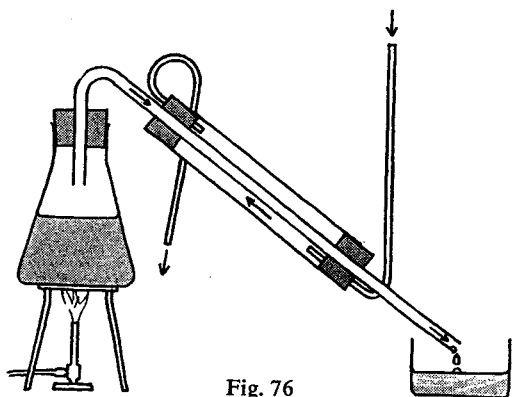


Fig. 76

afkøles, og falder ned som regn. Er temperaturen i skyen under  $0^\circ$ , bliver dråberne til snefnug, der tit har meget regelmæssige former (fig. 75). Passerer regndråberne under deres fald et luftlag, der er under  $0^\circ$ , kan de blive underafkølede (forsøget side 75) og stivner til is i det øjeblik, de rammer jorden; man kalder det isslag.

**Destillationsapparatet.** I kolben er der vand, hvori der er hældt noget blæk. Det lange glasrør, som udgår fra kolben, er omgivet af et bredere rør, *svalerørret*, hvorigennem der strømmer koldt vand. Opvarmes kolben, fordampes væsken, dampene fortættes, når de går gennem svalerørret, og en klar væske løber ud i skålen *S*. Væsken er altså befriet for de mørke farvestoffer.

Hælder vi nogle dråber vand i et reagensglas og bringer vandet til at fordampe, er glasset ikke længere rent; alt kildevand indeholder faste stoffer, som man ofte ser på siderne af vandkarafler og vandglas. Destillerer man kildevand, bliver de faste stoffer tilbage i kolben, og i skålen samler der sig rent vand, *destilleret vand*. Regnvand er destilleret vand.

## Mættede dampes tryk

Hold et barometerrør med åbningen opad; hæld kviksølv i, til det står nogle få millimeter fra randen, og fyld resten af røret med vand. Sæt fingeren for åbningen, vend røret om og stik åbningen ned under overfladen af kviksølvet i en skål; mens røret vendes, stiger vandet op gennem kviksølvet; hvorfor?

Tages fingeren nu bort, synker kviksølvet, en del af vandet fordampes, og rummet over kviksølvet fyldes med mættede vanddampe. Måler vi afstanden mellem kviksølvoverfladerne i skålen og røret, ser vi, at den er mindre end barometerstanden; de mættede vanddampe trykker altså kviksølvet lidt ned, og opvarmer vi rørets øverste ende, stiller kviksølvet sig endnu lavere (damptrykket = barometerstanden  $\div$  højdeforskellen mellem kviksølvoverfladerne). For at undersøge, hvilken indflydelse en ændring i rumfanget har på mættet dampes tryk, kan man gøre følgende forsøg: En lang lineal anbringes vandret i et stativ nøjagtig i højde med kviksølvoverfladen i røret. Føres røret ud til siden, vil kviksølvoverfladen hele tiden følge linealens kant. Rumfanget bliver mindre, men trykket er uforandret. Når rumfanget formindskes, fortættes en del af dampen, forøges rumfanget, vil noget vand atter fordampe. *Mæt-*

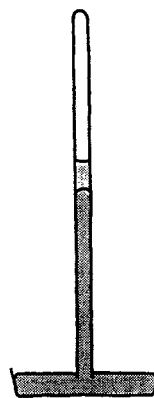


Fig. 77

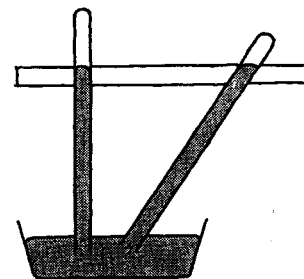


Fig. 78

tede dampes tryk vokser med temperaturen, men er uafhængigt af rumfanget.

Samme forsøg med æter og sprit viser, at mættede æter- og spritdampe trykker stærkere end vanddampe, der er lige så varme; æterdamp trykker mest.

*Mættede dampes tryk er altid 1 atmosfære ved væskers kogepunkt.*

Tabel over mættede vanddampes tryk:

|            |                         |            |              |
|------------|-------------------------|------------|--------------|
| 0° .....   | 4 $\frac{1}{2}$ mm      | 121° ..... | 2 atmosfærer |
| 50° .....  | $\frac{1}{8}$ atmosfære | 134° ..... | 3 —          |
| 100° ..... | 1 —                     | 200° ..... | 15 —         |

Hvordan vil kviksølvet stille sig i røret fig. 77, når vanddampene over kviksølvet er 100°, og når de er 50°?

*Trykket af umættede dampe er mindre end trykket af mættede dampe af samme væske ved samme temperatur. Foruden af temperaturen afhænger umættede dampes tryk af deres rumfang; ligesom ved luftarter gælder her Mariottes lov.*

## Kogning

At en væske koger, vil sige, at fordampningen ikke alene foregår fra overfladen, men også ved karrets bund og sider, d. v. s. på de steder, hvor der tilføres varme. Bringer vi noget vand i kog og måler temperaturen forskellige steder i vandet, ser vi, at den ikke er ens overalt; ved en væskes kogepunkt forstås vi temperaturen i overfladen af den kogende væske. Skønt der stadig tilføres varme, forandrer væskens temperatur sig ikke. Den varme, som fra ilden går over i vandet, forsvinder på grund af den voldsomme fordampning; den kommer frem igen, når dampene fortættes.

Bring vandet i en rundbundet kolbe i kog og lad det koge nogen tid; vanddampene river da al luften med sig ud af kol-

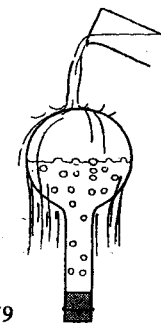


Fig. 79

ben. Sæt en prop i og vend kolben om; oven over vandet er der kun vanddampe. Hælder vi nu koldt vand på kolben, afkøles dampene, deres tryk bliver mindre, og vi ser, at vandet i kolben igen giver sig til at koge. Vender vi så kolben med proppen opad, tager proppen ud og måler vandets temperatur, ser vi, at vandet har kogt, skønt dets temperatur var langt under 100°.

*En væskes kogepunkt afhænger af trykket; jo større trykket er, jo højere ligger kogepunktet.*

At en væskes kogepunkt forandrer sig med trykket, forklares således: dampboblerne indeholder mættet damp, hvis tryk udad på dampboblens vægge må være lige så stort som trykket udefra (luftens + væskens tryk), ellers ville dampboblen blive trykket sammen til væske. Jo større trykket er udefra, jo højere temperatur må dampboblerne have for at kunne eksistere, og jo højere må altså kogepunktet ligge.

*Ved en væskes normale kogepunkt forstås temperaturen i overfladen af væsken, når den koger ved barometerstanden 76 cm.*

Vands normale kogepunkt er 100°; nede i vandet er temperaturen lidt højere, fordi trykket der er lidt større. Er barometerstanden 71 cm, koger vandet ved 98°; er den 79 cm, koger vandet ved 101°.

Æter koger ved ca. 34°, alkohol ved ca. 79°, kviksølv ved 358°.

Hvorfor kan vand ved 2 og 3 atmosfærers tryk først koge ved 121° og 134° (se tabellen side 82)?

Hvor lavt skal trykket være, for at vandet kan koge ved 0° og ved 50°?

*Forsøg over kogepunkter.* For æter kan vi bestemme kogepunktet ved at opvarme vand til ca. 50°, slukke flammen og stikke et reagensglas med lidt æter ned i vandet. Æteren koger, og ved at stikke et termometer ned i den, kan vi bestemme dens kogepunkt. Flammen slukkes, for at der ikke skal gå ild i æterdampene.

For sprit bestemmes kogepunktet på samme måde. Vandet opvarmes til henimod 100°.

Mættet saltvands kogepunkt findes ved at fylde omtrent  $\frac{1}{5}$  af et reagensglas med saltvand, stikke et termometer ned i det, bringe vandet i kog over en flamme og fortsætte kogningen, til saltet begynder at udskille sig. Kogningen må ikke være for stærk. Termometret må gå til 110°.

## Luftarters fortætning

Det har vist sig, at *luftarter er dampe af væsker, som har et lavt kogepunkt*. Når en luftart skal fortættes til væske, anvender man både afkøling og forøgelse af trykket; *jo mere beholderen afkøles, jo mindre er det tryk, ved hvilket fortætningen foregår*. Flydende kultveilte fremstilles ved at anbringe den jernbeholder (fig. 80), hvori den flydende kultveilte skal opsamles, i koldt vand og pumpe luftformig kultveilte gennem røret ind i jernbeholderen, hvor trykket stadig vokser. Når trykket er blevet stort nok, begynder kultveiltten at fortættes til væske, og man fortsætter med at pumpe, indtil jernbeholderen næsten er helt fuld af flydende kultveilte; hanen *H* lukkes nu, og forbindelsen med pumpen afbrydes. Er jernbeholderen f. eks. 20° varm, fortættes kultveiltten i den ved et tryk på 59 atmosfærer, og når den er skilt fra pumpen, er trykket af den kultveilte, der findes over den flydende kultveilte, stadig 59



Fig. 80

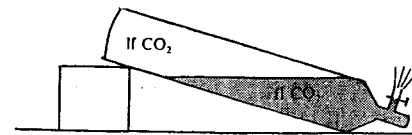


Fig. 81

atm., så længe beholderen er 20°; bliver den varmere, er trykket større.

Lægger man kultveiltebeholderen skråt på et bord med bunden opad og åbner hanen *H*, strømmer den flydende kultveilte ud og er nu kun underkastet et tryk på 1 atmosfære; den fordampner voldsomt, og temperaturen falder til  $\div 78^\circ$ . Det går med den ligesom med vandet i en dampkedel, når man åbner sikkerhedsventilen; før ventilen åbnedes, kogte vandet f. eks. ved 121° (tryk 2 atm.), efter åbningen fordampner vandet voldsomt, og temperaturen falder til 100° (vands kogepunkt ved 1 atm.). Flydende kultveiltes kogepunkt ved trykket 1 atmosfære er altså  $\div 78^\circ$ . — Lader man kultveiltten strømme ud i en lærredspose, som man holder over røret, fyldes posen ikke med flydende kultveilte, men med hvid, fast kultveilte (kultveilte-sne). Kultveiltens frysepunkt ligger nemlig ved  $\div 60^\circ$ , så at den udstrømmende kultveilte er afkølet langt under sit frysepunkt. Stikker man et reagensglas, der indeholder lidt kviksølv, ned i kultveilte-sne, fryser kviksølvet.

Hvis luftformig kultveilte er over 31°, er det ikke muligt at fortætte den, selv om trykket er nok så stort; man siger, at kultveiltens *kritiske temperatur* er 31°. Enhver luftart har sin kritiske temperatur under hvilken den må være afkølet for at kunne fortættes.

For mange luftarter ligger den kritiske temperatur meget lavt.

## TABEL OVER NOGLE KRITISKE TEMPERATURER

|                  |        |                |        |
|------------------|--------|----------------|--------|
| vanddamp .....   | + 365° | kvælstof ..... | ÷ 146° |
| kultveilte ..... | + 31°  | brint .....    | ÷ 241° |
| ilt .....        | ÷ 119° |                |        |

Vanskeligst at fortætte er luftarten helium, som findes i små mængder i den atmosfæriske luft; dens kritiske temperatur er omtrent  $\div 267\frac{1}{2}^{\circ}$ .

Kunstig kulde frembringes enten med kuldeblandinger (f. eks. sne og salt) eller ved at lade fortættede luftarter koge under lavt tryk. I *kuldemaskiner* frembringes kulde ved hjælp af luftarter, der let fortættes, f. eks. kultveilte, ammoniak og svovlsyring. Den flydende luftart findes i et system af rør; dampene over væsken pumpes bort, væsken fordamper livligt og afkøler omgivelserne. Rørene kan være anbragt i mættet saltvand (frysepunkt  $\div 21^{\circ}$ ), som afkøles under  $0^{\circ}$ . Det kolde saltvand ledes gennem rør til det rum, der skal afkøles, eller benyttes til fabrikation af kunstig is, idet forme, der er fyldt med fersk vand, hænges i det kolde saltvand. De dampe, der pumpes fra rørene, pumpes over og fortættes i et andet rørsystem, der afkøles med koldt vand, så at samme væskemasse stadig kan bruges.

Fig. 82 viser en dobbelt virkende pumpe (suge- og trykpumpe), som pumper dampene fra det ene rørsystem over i det andet.

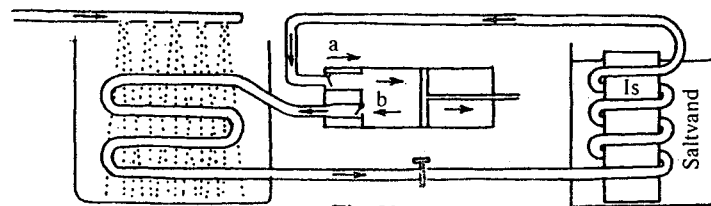


Fig. 82

Ved andre kuldemaskiner bruges kun ekspansion, idet luft sammenpresses stærkt i en beholder. Når den ved sammenpressningen frembragte varme har tabt sig til omgivelserne, lader man luften udvide sig, hvorved temperaturen synker; hvor meget den synker, beror på, hvor hurtigt man lader luften udvide sig. Den kolde luft ledes gennem rør til de rum, der skal køles.

## Dampmaskinen

Til et dampanlæg hører en kedel, hvor dampen, der benyttes som drivkraft, udvikles, samt en maskine, hvor dampens arbejdssevne udnyttes.

Dampkedler kan have mange former, den simpleste består af en vandret liggende cylinder dannet af sammennittede jernplader.

Fig. 83 forestiller en sådan dampkedel. Foran er fyrstedet *F*, hvorfra de varme forbrændingsprodukter ledes gennem ildkanalen *J* og derfra ud gennem skorstenen. Vandet i kedelen omgiver ildkanalen og fylder kedelen i omtrent  $\frac{2}{3}$  af dens højde. Den punkterede linie viser vandoverfladen. Vandstanden i kedelen kontrolleres dels ved prøvehaner, som enten slipper vand eller damp ud, når der åbnes lidt, dels ved et vandstandsglas, der består af et lodret stillet glasrør *V*, og hvis ender foroven og forneden står i forbindelse med henholdsvis damprummet og med vandet. Desuden findes på kedelen et manometer *M*,

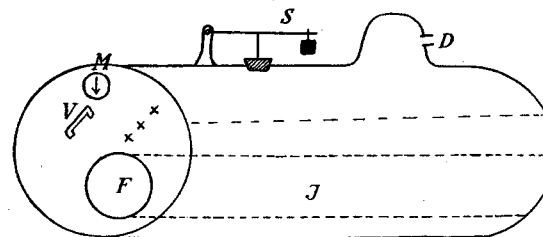


Fig. 83



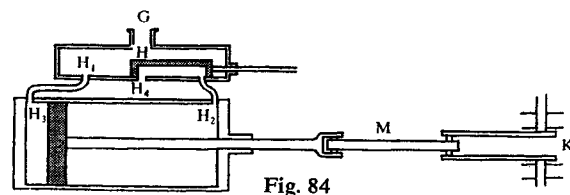


Fig. 84

der viser damptrykket, en sikkerhedsventil *S* og en dampfat (*D*), hvorfra et rør fører dampen hen til maskinen.

Hvis sikkerhedsventilen åbner sig ved et tryk på 10 atm., koger vandet ved 180°, og dampen udøver da et tryk på ca. 10 kg pr. cm<sup>2</sup>.

Fra dampkedlen strømmer dampen ind i gliderkassen *G* (fig. 84). Inde i gliderkassen kan den skålformede glider *H* bevæge sig frem og tilbage. Gliderskålens planslebne rande glider mod den plane væg på gliderkassen. To kanaler *H*<sub>2</sub> og *H*<sub>3</sub> forbinder cylinderens og gliderkassens dampрум. I cylinderen kan et tætsluttende stempel bevæge sig frem og tilbage. Ved den i figuren viste stilling af glideren går kedeldampen gennem kanalen *H*<sub>3</sub> til cylinderen og driver stemplet til højre; samtidig vil den damp, som for et øjeblik siden har drevet stemplet til venstre, strømme ud af kanalen *H*<sub>2</sub> gennem gliderens hulrum og et rør *H*<sub>4</sub> enten ud i luften eller ind i en kondensator.

Hvorledes skal glideren stå, når dampen skal drive stemplet fra højre mod venstre?

Når stemplet går frem og tilbage, får det ved hjælp af plejlstangen *M* og krumtappen *K* aksens til at dreje rundt.

Når stemplet står længst til højre eller til venstre, kan det ikke dreje aksens; men et svinghjul, der sidder på aksens, fører maskinen over de to punkter, der kaldes *de døde punkter*.

Gliderens frem- og tilbagegående bevægelse frembringes ved en *excentrisk skive S* (fig. 85), d. v. s. en skive, der er fastgjort på aksens *A* med sit centrum uden for aksens. Om skiven ligger der en løs ring *R*, der er fast forbundet med mellemlæddet *m*. Når aksens og skiven svinger rundt, tvinges glideren til at gå frem og tilbage; står skiven længst til højre eller længst til ven-

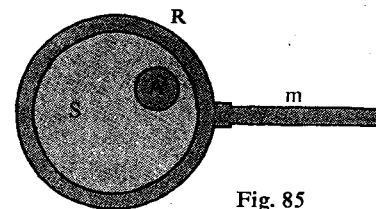


Fig. 85

stre, er glideren henholdsvis i stillingen længst til højre eller længst til venstre.

Glideren indrettes således, at den lukker for damptilførslen til cylinderen, når stemplet har bevæget sig ca.  $\frac{1}{5}$  af stempelslaget. Den derved indespærrede damp udøver et tryk på stemplet og driver dette frem. Når stemplet kommer i sin yderstilling, er damptrykket og temperaturen faldet, hvorved dampens energi er formindsket. Varmeenergi er omsat til bevægelsesenergi.

Når spildedampen udstødes i luften, kaldes maskinen en *højtryksmaskine*. Det modtryk, som dampen skal overvinde, når den skyder stemplet frem, er 1 atm., d. v. s. omtrent 1 kg pr. cm<sup>2</sup>.

I *lavtryksmaskinen* føres spildedampen ind i en stor lukket beholder, *kondensatoren*; den er omgivet af koldt vand, som holder dens temperatur nede ved ca. 40°. Spildedampen fortættes og pumpes tilbage til dampkedelen. Trykket i kondensatoren er lig mættet damps tryk ved 40°, som omtrent er  $\frac{1}{10}$  atm., eller  $\frac{1}{10}$  kg pr. cm<sup>2</sup> på stemplet, mens modtrykket i højtryksmaskinen var ca. 1 kg pr. cm<sup>2</sup>. Lokomotivet er en højtryksmaskine; det har ikke svinghjul, men to maskiner, een på hver side, som ikke samtidig er i de døde punkter. I skibe, hvor der er let adgang til kondensatorvand, bruges lavtryksmaskiner, ligeledes uden svinghjul.

## Forbrændingsmotorer

I dampmaskinen udrettes arbejdet af dampen, der dannes i kedelen, i forbrændingsmotoren sker forbrændingen i cylinderen. Stoffet, der forbrænder, kan enten være benzin, petroleum eller råolie. En blanding af brændslet og atmosfærisk luft antændes enten ved elektrisk gnist, eller ved at den sammenpreses, hvorved dens temperatur stiger så stærkt, at den antændes. Den sidste metode anvendes ved *dieselmotoren*.

Tegningen viser skematisk en firetakts dieselmotor. Ved første stempelslag suges luft ind i cylinderen gennem røret *I* og ventilen *V*. Ved andet stempelslag sammenpreses luften til ca. 35 atm., hvorved den opvarmes til ca. 600° C. Ved hjælp af en pumpe presses råolien sammen med luft ind gennem en forstøver *F*. Den fint fordelte blanding af olie og luft forbrænder, så snart den kommer i berøring med den stærkt ophedede luft inde i cylinderen. Indsprøjtningen vedligeholdes under en

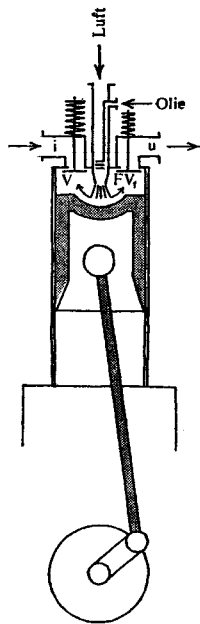


Fig. 86

del af stemplets bevægelse, hvorfor trykket under en del af stempelslaget holdes konstant; derpå afbrydes indsprøjtningen, og forbrændingsprodukterne udvider sig under resten af stempelslaget. Når stemplet er i sin yderstilling, åbnes udstømningsventilen  $V_1$ , og forbrændingsprodukterne udstødes gennem røret *U* ved fjerde stempelslag.

Dieselmotoren har mange fordele fremfor dampmaskinen. Man er fri for kedelanlægget, den er altid klar til start, og på grund af den høje begyndelsestemperatur og den forholdsvis lave temperatur, udstømningsluften kan bringes ned til, har dieselmotoren større nyttevirkning end nogen anden maskine.

## Forskellige energiformer

Når et legeme kan udføre et arbejde, siger man, at det indeholder energi. Rindende vand (en flod, en å, et vandfald) kan drive vandmøller, en kanonkugle kan gennembryde en mur, luften kan drive vindmøller; i disse eksempler er vandet, kuglen og luften i bevægelse og udfører arbejde; man siger, at de har *bevægelsesenergi*. – Opvarmes luften i en flaske, der er lukket med en prop, kan den varme lufts tryk overvinde gnidningsmodstanden mellem prop og flaskehals, så at proppen springer af; når en dampmaskine driver et tærskværk, er det den hede damp i maskinen, der udfører arbejdet. Varme er altså en form for energi; den kaldes *varmeenergi*. – Den elektriske strøm kan dreje en motor; strømmen har *elektrisk energi*. – Antændes knaldluft, der er indesluttet i en flaske, ryger proppen af, eller flasken sprænges; knaldluft har *kemisk energi*. – I et lommeur drives urværket af en spændt fjeder, i et stueur er det loddet, der udfører arbejdet; fjederen og loddet har *potentiel energi*. Om loddet – og om alle andre ting, der er hævet til vejrs – bruger man også det udtryk, at de har *beliggenhedsenergi*.

En energiform kan omsættes til en anden eller til flere andre. Når f. eks. en sten falder, har den bevægelsesenergi, indtil

den standses af jorden; bevægelsesenergien er nu forsvundet, men samtidig er stenen og jorden blevet lidt varmere; bevægelsesenergien er altså omdannet til varmeenergi. – I glødelampen omdannes elektrisk energi til varme. – I en kakkelovn omdannes kullets kemiske energi til varme. – I et galvanisk element, hvis poler er forbundne med en metaltråd, opløses zinken af svovlsyren, når strømmen går, selv om zinken er amalgameret; kemisk energi omsættes her væsentlig til elektrisk energi (lidt af den også til varme i elementet); i ledningen omsættes den elektriske energi til varme.

Mennesker og dyr kan udføre arbejde, frembringe energi; herved mister de selv energi, som erstattes gennem fødemidlerne.

Mangfoldige forsøg har godtgjort, at det altid går således; de enkelte energiformer kan vel forandre størrelse, men deres sum bliver stadig den samme. Denne sætning, som kaldes *energisætningen*, kan udtrykkes således: *Summen af alle energimængder i hele verden er uforanderlig.*

## LYDEN

Hænger vi et lille stykke kork op i en sytråd, anslår en stemmegaffel og holder dens ene gren hen til korkstykket, ser vi, at det stødes bort. Stemmegaffelens grene svinger frem og tilbage og sætter luften i bevægelse; når bevægelsen træffer trommehinden, kommer denne i svingninger, og vi hører en tone. Stemmegaffelens grene svinger frem og tilbage mellem de to yderstillinger *abc* og *xyz*; de stillestående punkter *A* og *B* kaldes knudepunkter. Skaftet *S* kommer derved til at bevæge sig op og ned; sættes det mod bordpladen, kommer denne i svingninger; der sættes mere luft i bevægelse end før, og tonen lyder stærkere. En almindelig stemmegaffels grene svinger 440 gange frem og tilbage i et sekund (kammertonen).

En firkantet plade er på midten fastgjort til et skaft; strør vi tørt fint sand på pladen og stryger randen med en violinbue, høres der en tone, og sandet kommer i bevægelse. Sandet slynges bort fra de svingende dele af pladen og samler sig i de stillestående dele, der kaldes *knudelinier*. Fig. 88 viser, hvordan sandet ordner sig, når man berører de med *a* mærkede punkter og stryger med violinbuen ved *b*. De figurer, som sandet danner, kaldes *klangfigurer*.

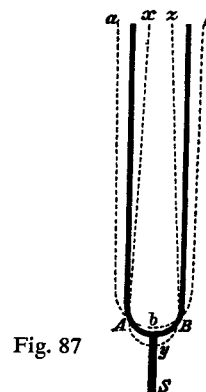


Fig. 87

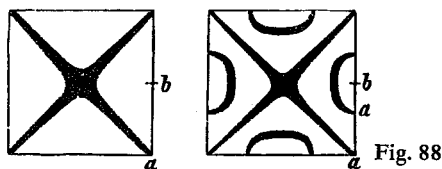


Fig. 88

Fylder man et vinglas (krystalglas) omtrent til randen med vand, fugter fingeren og fører den med et let tryk rundt langs glassets rand, fremkommer der snart en tone, og man ser vandet kruse sig. Glasset er kommet i svingninger, som sætter vandet i bevægelse. Vandets bevægelse bliver stærkest, når man stryger et punkt af randen med en violinbue, der er gnedet godt ind med harpiks.

*En lyd opstår i reglen ved, at faste legemer kommer i svingninger, er svingningerne regelmæssige, fremkommer en tone.*

Fra det svingende legeme forplanter lyden sig oftest til øret gennem luften, men den kan også gå gennem andre stoffer. Fiskene kan høre i vandet. Et slag på vandrøret kan høres gennem hele huset. Lægger man øret til jorden, kan man høre et tog langt borte. Lyden kan ikke gå gennem det tomme rum; et ringeapparat, der er anbragt inde i luftpumpens klokke, ringes svagere, når luften pumpes ud.

Vi kan få en forestilling om, hvorledes lyden forplanter sig gennem luften, ved at tænke os stemmegaffelens ene gren  $G$  svingende frem og tilbage. Svinger  $G$  til højre, bliver luften ved  $a$  presset sammen; der opstår en *fortætning* ved  $a$ . I det luften i denne fortætning udvider sig, presser den den luft, der er lidt længere til højre (ved  $b$ ), sammen; der opstår en for-

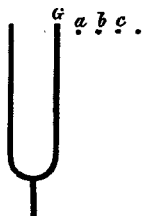


Fig. 89

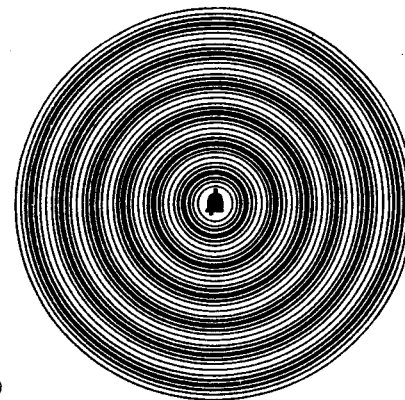


Fig. 90

tætning ved  $b$ , mens fortætningen ved  $a$  taber sig. Kort efter har fortætningen ved  $b$  på samme måde flyttet sig til  $c$  o. s. v.

Når  $G$  svinger til venstre, suges luften ved  $a$  med til venstre; der opstår en *fortynding* ved  $a$ . Nu strømmer luften fra  $b$  hen til  $a$ , fortyndingen ved  $a$  taber sig, mens der opstår en fortynding ved  $b$ . Kort efter er fortyndingen på samme måde nået til  $c$  o. s. v. *Fra det svingende legeme udgår der altså en række fortætninger og fortyndinger.*

I ovenstående beskrivelse har vi antaget, at der kun sker fortætninger og fortyndinger langs en ret linie. I virkeligheden udbreder fortætningerne og fortyndingerne sig i alle retninger, som det antydes i fig. 90.

En sådan bevægelse kaldes en *bølgebevægelse*; det ejendommelige ved denne er, at de enkelte luftdele svinger omkring en ligevægtstilling, samtidig med at selve bevægelsen breder sig udefter.

Ved en *bølgebevægelse* ( $b$ ) forstås den vej, lyden går, samtidig med at lydgiveren udfører en svingning. *Svingningstallet* ( $n$ ) er det antal svingninger, lydgiveren udfører i ét sekund. Kaldes lydens hastighed  $v$ , har man derfor  $v = nb$ .

Når en fortætning træffer trommehinden, buer denne sig lidt ind; når en fortynding træffer den, svinger den udad. Svinger stemmegaffelens grene 440 gange frem og tilbage i et sekund,

udgår der i løbet af et sekund 440 fortætninger og fortyndinger fra stemmegaffelen, og trommehinden svinger i samme tid 440 gange frem og tilbage. Det har vist sig, at øret kun får en lydforneelse, hvis legemet svinger mindst 16 og højst ca. 40,000 gange frem og tilbage i et sekund.

*Lydens hastighed.* Lydens hastighed er den vejlængde, som en fortætning eller fortynding skrider frem i et sekund; den er meget lille i sammenligning med lysets. Når et lokomotiv er langt borte, ser vi dampen strømme ud af dampfløjten, før vi hører den pibe. Står vi et par hundrede skridt fra en mand, der rammer en pæl i jorden, ser vi køllen træffe pælen, før vi hører slaget. Man har fundet lydens hastighed ved at affyre en kanon og langt borte iagttage, hvor mange sekunder der forløb fra det øjeblik, man så glimt, til man hørte knaldet; afstanden mellem kanonen og iagttagelsesstedet var opmålt. *I luften er lydens hastighed ved  $0^\circ$  332 m i 1 sekund; den vokser godt  $\frac{1}{2}$  m for hver grad, temperaturen stiger.*

*Ekkoet* fremkommer ved, at lyden kastes tilbage fra en mur, en klippe eller lignende. Hvor langt må man stå fra muren, hvis man hører ekkoet gentage en stavelse et sekund efter, at den er udtalt?

*Strenginstrumenter.* Hvis legemets dele alle bruger samme tid til en svingning og stadig svinger lige hurtigt, kaldes lyden en *tone*. Når flere toner frembringes samtidig, lyder de kun godt, hvis forholdene mellem deres svingningstal er simple tal, f. eks.  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{4}{3}$  o. l. Enhver anden lyd end det, vi kalder toner, fremkommer ved, at de forskellige dele af legemet ikke svinger lige hurtigt, og er altså en blanding af en række forskellige toner med svingningstal, hvis forhold ikke er simple tal.

Vi spænder en klaverstreng ud fra en klemme *A* over en trisse *T* (fig. 91) og strammer strengen ved hjælp af loddet *P*. Ved at flytte klodsen *B* kan vi ændre strengens længde. Vi anslår strengen *AB* og mærker os, hvorledes tonehøjden ændres ved at forandre spændingen eller længden.

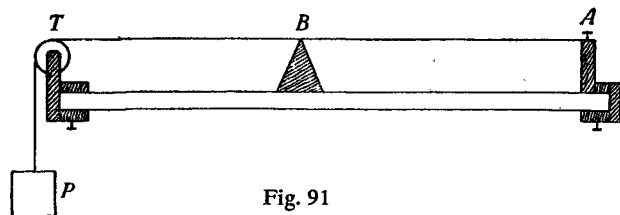


Fig. 91

*Jo kortere strengen er, jo højere er tonen.*

Vi ændrer strengens spænding ved at ombytte *P* med et andet lod.

*Jo stærkere spænding jo højere tone.*

Vi ombytter strengen med en tykkere klaverstreng uden at forandre spændingen eller længden.

*Jo tykkere streng jo dybere tone.*

Vi ombytter stålstrengen med en streng af mindre vægtfylde (tarmstreng) uden at ændre spændingen eller længden.

*Jo mindre vægtfylde jo højere tone.*

I orgelpiben er det en svingende luftøjle, der frembringer tonen.

# MAGNETISME

I flere lande findes der i jorden et jernholdigt stof, hvorefter enkelte stykker – de såkaldte naturlige magneter – har den egen- skab at kunne tiltrække jern, stål og nikkel; de var kendt alle- rede i oldtiden og fik navn efter byen Magnesia i Lilleasien, hvor de først blev fundet. Nu bruges magneter af stål, som er bedre end de naturlige.

Dyppes en magnet i jernfilspåner, hænger de ved magneten, dog kun i ringe mængde på midten af den. De steder, hvor der hænger flest ved, kaldes magnetens *poler*; der er i reglen to poler, men der kan være flere. En magnet har enten form som en stang eller en hestesko; når den ikke benyttes, lægges der over polerne et stykke blødt jern, *ankeret*, som bevirker, at magnetismen ikke så let taber sig.

Ophænges en magnetnål, d. v. s. en tynd magnet, på en spids, således at den kan dreje sig i et vandret plan, kaldes den en *kompasnål*; den indstiller sig af sig selv omtrent i ret- ningen nord-syd. Den ende, der vender mod nord, kaldes nordpolen, den anden sydpolen; et lodret plan gennem nålens midtlinie kaldes *stedets magnetiske meridianplan*. – Hvor må kompasnåle tyngdepunkt ligge i forhold til det punkt, hvor spidsen rører nålen?

Vi bestemmer to magnetnåles nord- og sydpoler ved at an- bringe dem på en spids; den ene lader vi blive siddende på spidsen, den anden tager vi i hånden og nærmer dens poler til den førstes poler. Vi ser da, at *ensartede poler frastøder hin- anden, uensartede tiltrækker hinanden*. To poler påvirker hin- anden med en kraft, der er omvendt proportional med afstan- dens kvadrat. Fjernes to poler fra hinanden, således at deres afstand f. eks. bliver 7 gange så stor, som den var fra først af, bliver kraften 49 gange mindre.

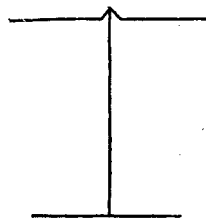


Fig. 92

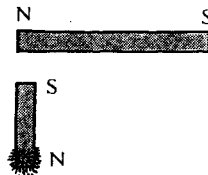


Fig. 93

Dyppes et stykke jern ned i filspåner, hænger der i reglen ingen ved, men nærmes en magnet til jernstykket (fig. 93), bliver det stærkt magnetisk og kan tiltrække filspånerne; fjer- nes magneten, mister jernet næsten hele sin magnetisme. Er det en nordpol, der fra oven nærmes til jernstykket, kan vi vise med kompasnålen, at det får nordpol forneden; foroven får det en sydpol, som dog ikke er let at påvise på grund af magnetens nærhed. – Gøres samme forsøg med et stykke stål, en synål eller en pen, bliver stålet kun meget lidt magnetisk, men beholder sin magnetisme, når magneten fjernes.

Hvorfor hænger spånerne ved en magnetpol, der stikkes ned i dem, hvor får de nordpol og sydpol?

En stång, f. eks. en strikkepind, magnetiseres stærkt ved at stryges med en magnet. Læg strikkepinden på bordet, sæt en nordpol på dens ene ende, stryg den langs hen ad strikkepinden og løft den af, når den er kommen til den anden ende af strikke- pinden; på denne måde stryges strikkepinden flere gange, stadig samme vej. Den får da sydpol i den ende, hvor nordpolen løftes af, nordpol i den anden ende.

Vil vi lave en magnet med 3 poler, stryges først den ene halv- del af en strikkepind og bagefter den anden, f. eks. med en

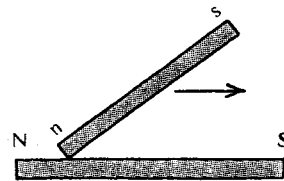


Fig. 94

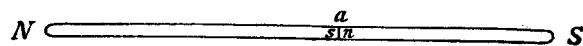


Fig. 95

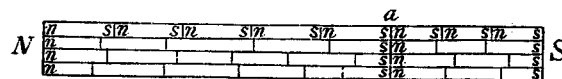


Fig. 96

nordpol; stryg fra midten af strikkepinden ud mod enderne. Med jernfilspåner og med kompasnålen kan vi nu vise, at den har sydpol i enderne og nordpol på midten.

*Magneters indre bygning.* Dypper vi en magnetiseret strikkepind ned i filspåner, hænger disse fast ved enderne af strikkepinden, men ikke på midten; *der synes kun at være magnetisme i enderne.* Brækkes strikkepinden over ved *a* (fig. 95), kan vi imidlertid med kompasnålen vise, at de to stykker er to magneter hver med sin nordpol og sydpol; *før strikkepinden blev brækket over, ophævede polerne n og s hinanden.* Brækker vi en af stumperne over, får vi atter to magneter hver med sin nordpol og sydpol, og så fremdeles.

Man antager derfor, at stål og jern består af en mængde småmagneter, som i magnetisk stål og jern er ordnede således, at de alle vender nordpolerne til den ene side, sydpolerne modsat vej. Fig. 96 viser, hvorledes småmagneterne må tænkes ordnede, hvis stålet eller jernet har poler i endefladerne. I et tværsnit *a* ophæver de små magneters nord- og sydpoler hinandens virkning udadtil, mens der ved stangens ender, *N* og *S*, findes to rækker poler, der ikke ophæves af andre poler.

I umagnetisk stål og jern ligger de små magneter i uorden; når en stang magnetiseres, drejes altså småmagneterne; når disse ligger som på fig. 96, siges stangen at være *mættet* med magnetisme og kan ikke magnetiseres stærkere. Da jern er lettere at magnetisere end stål, må småmagneterne være lettere at dreje i jernet; til gengæld kommer de her let i uorden, d.v.s. jern mister let sin magnetisme.

Tegn småmagneterne i en hesteskomagnet med anker; hvor får ankeret nordpol og sydpol, og hvorfor taber magneten ikke sin magnetisme, når den har anker på?

## Jordmagnetismen

*Hældningsnålen* (inklinationsnålen) er en magnetnål, der kan dreje sig om en vandret akse *a b* gennem tyngdepunktet og bæres af en messingbøjle, som hænger i en snor. Nålen indstiller sig af sig selv i det magnetiske meridianplan og står hos os skråt med nordpolen nedefter; nålens midterlinie danner med det vandrette plan en vinkel på ca.  $70^\circ$ , som kaldes *hældningen*. På halvøen Boothia-Felix i det nordlige Nordamerika stiller hældningsnålen sig lodret med nordpolen nedad; omtrent på det diametralt modsatte sted af jorden, syd for Australien, stiller den sig ligeledes lodret, men med sydpolen nedad. I en linie rundt om jorden omtrent midt mellem disse to steder står den vandret; denne linie kaldes *den magnetiske Ækvator*. Alle

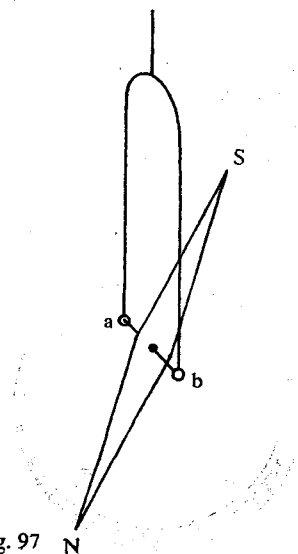


Fig. 97

andre steder står hældningsnålen skråt; nord for den magnetiske Ækvator vender nordpolen nedad, syd for den vender sydpolen nedad, og hældningen bliver desto større, jo mere man fjerner sig fra den magnetiske Ækvator mod nord eller syd.

Jorden forholder sig altså i hovedtrækkene, som om den var en stor magnet med sydpol i Bothia-Felix og nordpol syd for Australien. Som følge heraf har lodret stående jerngenstande hos os en sydpol foroven, hvad vi kan vise ved at nærme kompasnålen sydpol til den øverste ende af et forsøgsstativ eller en kakkellov; hvorfor kan det ikke påvises med kompasnålen nordpol?

Når hældningsnålen er i ro, angiver dens stilling retningen af de jordmagnetiske kræfter på stedet.

*Kompasnålen* nordpol peger hos os ikke lige mod nord, men lidt til vest. Vinklen mellem nålens midterlinie og retningen nord-syd er ca.  $2\frac{1}{2}^\circ$ ; man siger, at vi har  $2\frac{1}{2}^\circ$  vestlig *misvisning* (deklinations). Misvisningen er 0 i en linie, der går gennem de magnetiske poler, mod vest går den gennem Nord- og Sydamerika, mod øst gennem Rusland (omtrent gennem Leningrad); denne linie deler jorden i to dele, hvoraf den ene har vestlig, den anden østlig misvisning. — I tidernes løb forandrer misvisning og hældning sig på samme sted. For omtrent 300 år siden var misvisningen her i landet 0, blev så vestlig og voksede, til den i begyndelsen af forrige århundrede blev  $18\frac{1}{2}^\circ$ ; siden den tid aftager den stadig. I løbet af døgnet foregår der også små forandringer i misvisning og hældning, idet de snart

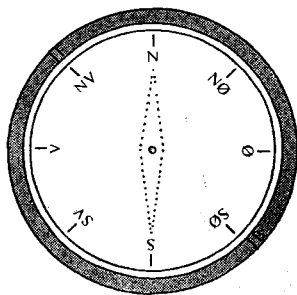


Fig. 98

vokser, snart aftager; disse forandringer kan blive ret betydelige, når der optræder nordlys.

I egnene mellem Nordpolen og Boothia-Felix peger kompasnålen nordpol mod syd; hvorfor? Hvorfor har misvisningen ingen bestemt værdi ved de geografiske poler, hvorfor har den ingen bestemt værdi ved de magnetiske poler?

Sømændene bruger kompasnålen til at se, hvad retning de sejler i. På skibskompassets nål er der fastgjort en rund skive, hvorpå verdenshjørnerne er afsat. Skiven ligger oven på nålen og drejer sig sammen med denne. *N* og *S* står lige over nålens poler. Linierne *F* og *B* er to stykker af linien fra skibets forstavn til bagstavnen, som er malet på kompassets rand; står skiven således, som tegningen viser, styrer skibet mod nord-vest.

Nutildags er de fleste skibe helt af jern. Hvis de under bygningen har stået med forstavnen mod nord, har de fået nordpol her og sydpol i bagstavnen. Når kompasset bringes om bord, viser det derfor helt forkert. For at ophæve skibets magnetisme, anbringer man flere magneter i nærheden af kompasset, i reglen i dets fodstykke, og flytter på dem, indtil kompasset viser rigtigt.



# ELEKTRICITET

Gnider man en lakstang med en tør ulden klud, kan den tiltrække lette ting som hår og små stykker papir; man siger, at den er blevet elektrisk. Alle stoffer kan blive elektriske ved gnidning. Allerede i oldtiden vidste man, at rav kan blive elektrisk; ordet elektricitet kommer af det græske navn på rav (elektron).

Vi gnider en ebonitstrimmel med en ulden klud og efter at have overbevist os om, at den er elektrisk, ved at nærme den til små papirstykker, anbringer vi den på lignende måde som en kompasnål (fig. 99). Derefter gnider man en ebonitstang og nærmer den til strimlen, vi ser da, at de to legemer frastøder hinanden. Derefter prøver vi med glas gnedet med uldkluden; når glasset er blevet elektrisk, vil det tiltrække ebonitstrimlen.

Prøv på samme måde med rav og svovl.

*To elektriske legemer, der frastøder hinanden, siges at have samme slags elektricitet, to, der tiltrækker hinanden, har modsat.*

Den elektricitet, ebonit får ved gnidning med en ulden klud, kalder man *negativ*, den glas får ved gnidning med uld *positiv*.

Prøv at nærme den uldne klud til ebonitstrimlen, efter at glasstangen er gnedet med den.

Kluden og strimlen frastøder hinanden. Det viser sig altid,

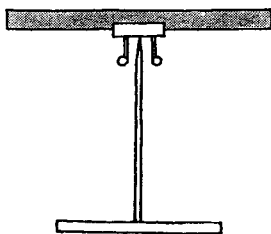


Fig. 99

at af to legemer, der bliver elektriske ved at gnides mod hinanden, bliver det ene positivt og det andet negativt.

Prøv at gnide en metalstang og nærm den til små papirstykker, nærm den derefter til ebonitstrimlen. Vi ser, at den tiltrækker strimlen, hvorledes dette kan forklares, vil fremgå af det følgende.

*To elektricitetsmængder påvirker hinanden med en kraft, der er omvendt proportional med afstandens kvadrat. (Samme regel, som gælder for magnetpoler).*

## Elektrisk fordeling. Gode og dårlige ledere

Tidligere antog man, at positiv og negativ elektricitet var to stoffer, som i uelektriske legemer er blandede sammen og op hæver hinandens virkninger; denne teori var opgivet i en lang årrække, men de senere års opdagelser har bevirket, at man nutildags har lignende anskuelser om elektricitetens væsen (se under elektronteorien). Nærmer man altså en gnedet ebonitstang til et uelektrisk legeme, vil den negative elektricitet frastødes, hvorfor den ende af legemet, der er nærmest ebonitstangen får overskud af positiv elektricitet. Ved forsøg kan vi prøve, om dette finder sted.

Stik en metalstang *s* gennem hullet i en gummiprop og klem proppen fast i forsøgsstativet (fig. 100). I den ene ende af stangen hænger et par hyldemarvskugler i bløde bomuldstråde; stangens anden ende rører ved elektroskopet *E*, således som figuren viser (et elektroskop er en metalstang, som foroven ender i en metalknop og forneden bærer to tynde guldblade eller aluminiumblade, det sidder i en flaske med en ebonitprop).

Gnid nu en ebonitstang (*S* på figuren) med en varm, ulden klud og nærm den til hyldemarvskuglerne; de slår over mod ebonitstangen og må altså være positiv elektriske.

Elektroskopets aluminiumblade slår også ud; vi skal nu finde, hvilken slags elektricitet de har. Mens ebonitstangen *S* stadig holdes, som figuren viser, skyder vi elektroskopet bort

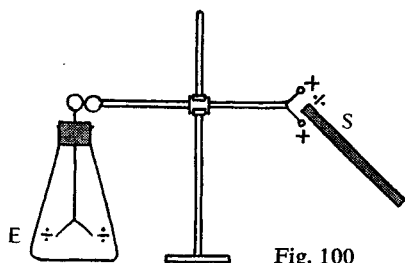


Fig. 100

fra den vandrette metalstang; aluminiumbladene bliver ved at slå ud. Nærmer vi nu fra oven en gnedne glasstang til elektro-skopets knop (ikke for nær), falder aluminiumbladene sammen, mens en gnedne ebonitstang får dem til at slå stærkere ud; elektro-skopet må altså være negativ elektrisk. Hvordan ville det være gået med aluminiumbladenes udslag, hvis de havde været positiv elektriske?

*Nærmes et elektrisk legeme til en metalstang, opstår der elektricitet i den. Den ende, der er nærmest legemet, får elektricitet af modsat art, den anden elektricitet af samme art som legemet. Man siger, at metalstangen er bleven elektrisk ved fordeling.*

Vi stiller igen apparaterne sammen som på fig. 100 og nærmer den gnedne ebonitstang til hyldemærkuglerne. Berører vi nu et sted af metalstangen *s* med fingeren, falder aluminiumbladene sammen; den negative elektricitet er gået gennem fingeren ned i jorden, mens den positive bliver på sin plads. Den elektricitet, der går bort, kaldes *fri*; den, der bliver, kaldes *bunden*.

Erstattes metalstangen *s* med en stang af glas, lak eller ebonit, slår elektro-skopets aluminiumblade ikke ud, når vi gør forsøget. Stængerne må være lange, rene og *tørre*. I disse stoffer kan elektriciteten dårlig bevæge sig; de kaldes *dårlige ledere*, mens stoffer, der kan blive elektriske ved fordeling, kaldes *gode ledere*. *Alle metaller, kul, vand, det menneskelige legeme, fugtigt papir og alle fugtige ting er gode ledere. Lak, glas, por-*

*celæn, rav, gummi, ebonit, tørt papir, silke og luft er dårlige ledere.*

Enhver ting er overtrukket med en tynd hinde af vand, som skriver sig fra vanddampene i luften. Derfor er det så vigtigt, at papir, klude og glas opvarmes, når de skal bruges til elektriske forsøg.

Gode ledere stilles på glasfodder, hvis elektriciteten ikke må gå bort fra dem; men kalder det at *isolere* dem; de må ikke have skarpe kanter eller spidser, da elektriciteten ellers går ud i luften. Foruden glas benyttes ofte gummi, ebonit og porcelæn som isolationsmateriale. Hvorfor er metalstangen *s*, fig. 100, stukket gennem en gummiprop? Hvorfor kan man ikke påvise, at en metalstang bliver elektrisk ved gnidning, når man holder den i hånden?

Hvorfor tiltrækker en metalstang ebonitstrimlen? Fig. 99.

## Elektrisk spænding

*En leders elektriske tilstand er bestemt ved dens spænding, og spændingen måles ved udslaget på et elektrometer.*

Et elektrometer er i hovedsagen et elektro-skop. I stedet for det ene aluminiumblad har man en lodret messingstang gennem proppen. Det andet aluminiumblad kan dreje sig på en vandret akse. Når apparatet ikke er ladet, rører bladet ved stangen; lades det, gør bladet et udslag, der måles på en gradbue. Elektrometret er anbragt i en metalkasse; udslaget iagttages gennem en rude af glas. Man kan med god tilnærmelse sætte spændingen ligefrem proportional med udslaget.

Under forsøgene skal elektrometret være fjernet så langt fra lederen, at dennes elektriske ladning ikke kan påvirke dette gennem luften, og kassen skal være i ledende forbindelse med jorden.

Til undersøgelse af spændingen vil vi benytte to hule metal-cylindre A og B, der kan skydes ind i hinanden (fig. 101).

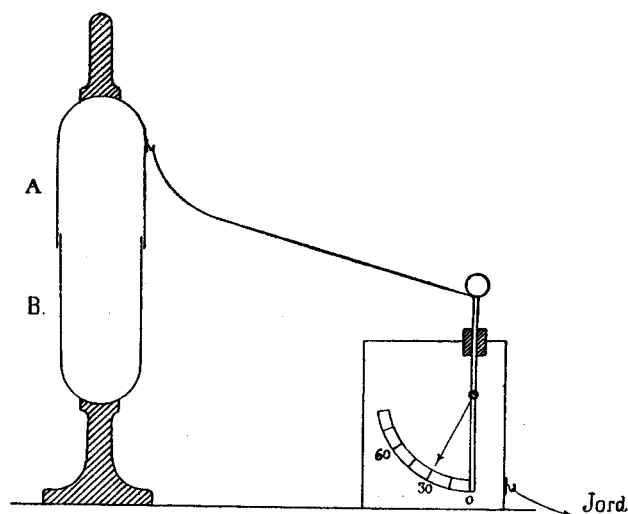


Fig. 101

B står på en isoleret fod, og A er forsynet med et isolerende håndtag.

Forbindes A med elektrometret og oplades, gør aluminiumbladet et udslag. A fjernes fra B og udlades ved berøring med en finger. Sættes A og B atter sammen, gør elektrometret mindre udslag. Skydes A ned over B, bliver den samlede overflade mindre, og elektrometret gør større udslag.

Disse to forsøg viser, at *spændingen aftager med elektricitetsmængden og vokser, når overfladen bliver mindre.*

Elektrometret forbindes ledende med en metalstang med ebonithåndtag. Cylinderen lades med elektricitet og berøres med metalstangen. *Spændingen viser sig at være ens overalt på lederen.* Dette er altid tilfældet, når elektriciteten er i hvile. Et positivt ladet legeme siges at have højere spænding end et negativt. Jordens spænding er nul.

*Forholdet mellem den elektricitetsmængde, der tilføres en leder, og den spænding, lederen derved får, kaldes lederens kapacitet.*

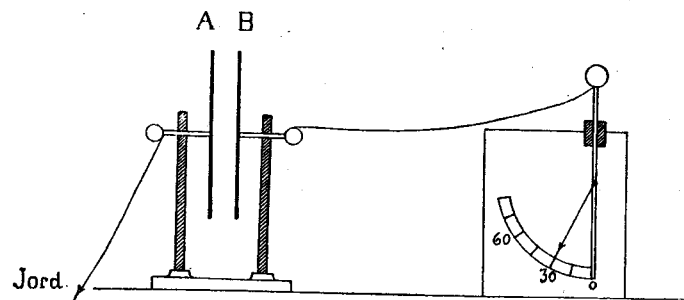


Fig. 102

Af det foregående forsøg ser man, at en leders kapacitet vokser med overfladen.

Kaldes kapaciteten C, spændingen V og elektricitetsmængden Q har man

$$\frac{Q}{V} = C$$

En isoleret metalskive B forbindes med elektrometret (fig. 102) og oplades. Nærmer man en anden metalplade A, der er afledet til jorden, til B, bliver spændingen mindre på B. Da elektricitetsmængden er uforandret, må B's kapacitet være vokset. Årsagen hertil er at der opstår fordeling i A, som atter virker tilbage på B.

Sættes pladerne tæt sammen, aftager spændingen, altså vokser kapaciteten, når afstanden aftager. Mellem A og B skal der være et isolerende lag, i dette tilfælde er det luft; men benytter også glas, glimmer, fernetis o. lign.

Et apparat som det beskrevne kaldes en pladekondensator. Pladen B kan optage stor elektricitetsmængde, uden at der opstår høj spænding. Fjernes A, aftager kapaciteten, og spændingen stiger. Kondensatorer finder stor anvendelse ved radio-telefoni og -telegrafi.

## Den elektriske strøm

1. Fig. 103 forestiller to kondensatorplader, mellem dem hænger i en silketråd en lille hylde-marvskugle overtrukket med staniol. Hvis de to plader A og B oplades med samme slags elektricitet og noget nær sammen spænding, vil kuglen hænge rolig mellem pladerne. Helt anderledes vil det gå, hvis den ene plade (B) afledes til jorden, hvorved den får spændingen nul. Kuglen vil da, efter at have berørt A, svinge frem og tilbage mellem pladerne, indtil A også får spændingen nul. Der er sket følgende: Ved kuglens berøring med B afgiver kuglen sin ladning, hvorefter den tiltrækkes af A, og således fortsættes, indtil A er afladet.

Der er altså ført elektricitet fra A til B, og man siger, at *der er gået en elektrisk strøm fra A til B*.

2. Kondensatorpladerne sættes i forbindelse med en elektrisermaskine og med et elektrometer (fig. 104). Mellem stik-kontaktens to poler er der en vis spændingsforskel. Hylde-marvskuglen vil nu efter berøring med den ene kondensator-plade svinge frem og tilbage mellem pladerne; men spændingen forandres ikke, fordi der stadig tilføres elektricitet fra elektrisermaskinen. – Afstanden mellem pladerne (fig. 104) skal være lille.

*Betingelsen for, at der kan gå en elektrisk strøm mellem to ledere, er, at der er en vis spændingsforskel mellem dem, og at der er noget, der kan transportere elektriciteten fra det ene legeme til det andet. Skal strømmen holdes i gang, må der stadig tilføres elektricitet fra en elektricitetskilde.*

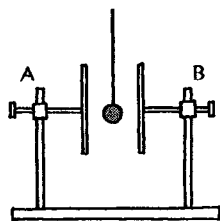


Fig. 103

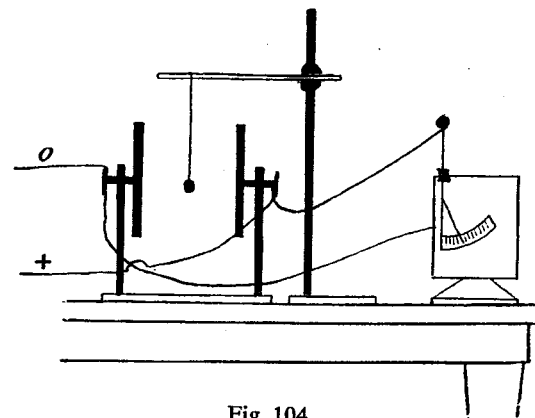


Fig. 104

En sådan elektricitetskilde har vi i det *galvaniske element*, opfundet af italieneren Volta 1794. Et galvanisk element består af to plader af forskellige metaller (eller en kulplade og en metalplade) stående i en ledende væske. Elektriciteten opstår på de steder, hvor væsken rører pladerne.

*Kromsyre-elementet* (fig. 105). I glasset står der en kulplade K og en zinkplade Z, som ikke rører hinanden. Væsken er fortyndet svovlsyre, hvori der er opløst et rødt stof, som kaldes tvekromsurt kali. På hver plade er der foroven fastgjort en klemmeskrue af messing; kulpladens klemmeskrue kaldes ele-

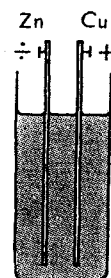


Fig. 105

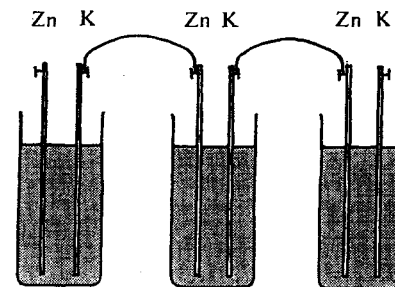


Fig. 106

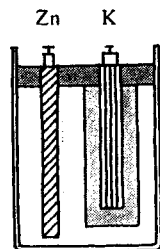


Fig. 107

mentets *positive pol*, zinkpladens den *negative pol*. Sætter vi flere elementer ved siden af hinanden og forbinder polerne med metaltråde, således som fig. 106 viser, har vi et galvanisk batteri; klemmeskruerne på de yderste plader kaldes batteriets poler.

Forbindes kul- og zinkpladen med en leder (metaltråd), vil der gå en elektrisk strøm fra den ene plade til den anden, og man siger, at strømmen går fra den positive pol gennem ledningen til den negative.

*Tørelementet* består af en kulstang K og en zinkcylinder, der omslutter kulstangen, men på figuren er tegnet som en stang Zn. Om kulstangen er der pulveriseret brunsten B, som holdes sammen af et stykke tøj og er gennemtrukket af en opløsning af salmiak i vand. Zinkcylinder og kulstang med brunsten står i en salmiakopløsning, der er gjort stiv ved tilsætning af forskellige stoffer (tidligere brugte man savsmuld).

Spændingen på polerne er så lille, at den ikke kan påvises ved et almindeligt elektrometer.

## Elektromagnetisme

I året 1820 påviste den danske fysiker H. C. Ørsted, at der fra en elektrisk strøm udgår magnetiske kræfter vinkelret på strøm-  
mens retning. Hans opdagelse fik grundlæggende betydning for de følgende opdagelser angående vekselvirkningen mellem elektricitet og magnetisme.

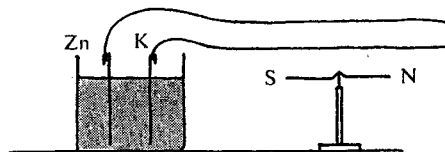


Fig. 108

*Ørsteds forsøg.* Forbind polerne på et batteri med en metaltråd og hold tråden over en kompasnål, således som figuren viser (fig. 108); vi ser, at nålen slår ud. Strømmen, der går gennem ledningen, har den egenskab, at den kan bevæge en magnet. Hold ledningen således, at strømmen går hen over kompasnålen i modsat retning; nålen slår nu ud til modsat side.

Forsøget viser, at der gælder følgende regel: *Hold højre hånd tæt ved strømmen med fingerspidserne i strømmens retning og vend håndfladen mod magneten; nordpolen slår da ud til tommelfingersiden.*

Undersøg hvilken indflydelse det får på magnetens udslag, hvis ledningens afstand fra magneten ændres.

Hvorledes vil de to ledninger på figuren påvirke magneten? Virker de lige stærkt på magneten? Hvilken indflydelse vil det få på udslaget, hvis magneten anbringes mellem de to ledninger?

Hvorledes forholder magneten sig, hvis strømmen går vinkelret på magnetens retning?

Når en strøm påvirker en magnetpol, vil en pol også påvirke en strøm, ifølge sætningen om aktion og reaktion. Dette kan påvises ved følgende forsøg: I et stativ er ophængt en tynd kobbertråd, der forneden ender i et søm, der dypper ned i en skål med kviksølv. Ledningen går ind mellem de to grene af en hestekomagnet.

Ledes en strøm ind ved A og ud ved B, vil ledningen bevæge sig til venstre (fig. 109). Man får følgende regel: *Lægges højre hånd således, at strømmen går ind ved håndroden og ud ved fingerspidserne, og håndfladen er vendt mod nordpolen, vil ledningen bevæge sig i retning mod lillefingeren.*

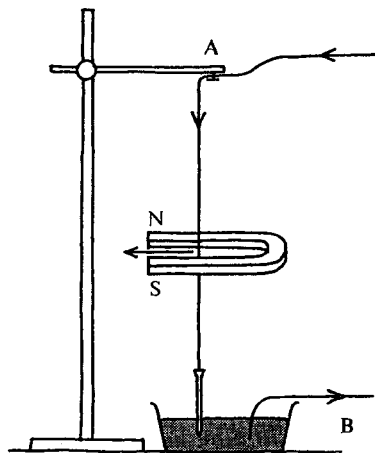


Fig. 109

**Elektromagneter.** En elektromagnet er en stang af blødt jern, hvorom der er viklet isoleret kobbertråd. Fig. 110 viser, hvordan en hesteskoformet elektromagnet ser ud; læg mærke til, hvordan den isolerede kobbertråd går over fra elektromagnetens ene gren til den anden oppe ved *a*.

Send en elektrisk strøm gennem kobbertråden og dyp elektromagnetens ender ned i jernfilspåner; vi ser, at den er blevet stærkt magnetisk. Afbrydes strømmen, mister den næsten hele sin magnetisme. Vi prøver med kompasnålen, hvilke poler den har, når strømmen går, og ser, at man kan bestemme dens poler ved hjælp af følgende regel: *Tag omkring elektromagneten med højre hånd, således at fingerspidserne peger i strømmens retning; elektromagneten får nordpol i den ende, som tommelfingeren vender hen imod, sydpol i den anden ende.*

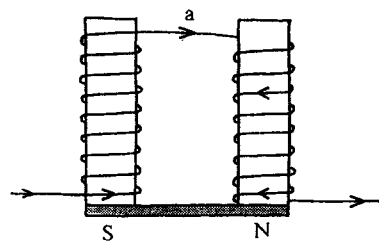


Fig. 110

Hvorfor skal elektromagnetens kobbertråd være isoleret? Hvilke poler vil elektromagneten få, hvis kobbertråden var viklet således om den højre gren, at den ved *a* gik for om elektromagneten i stedet for bag om?

Elektromagnetens styrke vokser med vindingernes antal og med strømstyrken, indtil jernet er „mættet med magnetisme“.

Rul en kobbertråd om en blyant og træk blyanten ud af rullen; vi har nu en spiralførm kobbertråd. Send en strøm gennem den og vis med kompasnålen, at den forholder sig som en svag magnet; dens poler findes ved hjælp af samme regel, som vi brugte ved elektromagneten.

Stik en stang af blødt jern ind i rullen og vis, at elektromagneten bliver meget stærkere.

## Strømmens kemiske virkninger

**Vandets sønderdeling.** Gennem bunden på karret *A* går der to platintråde, som foroven bærer to små platinplader og forneden ender i to klemmeskruer *N* og *P*. I karret hældes vand, hvortil der sættes lidt svovlsyre. Klokkerne *B* og *I* fyldes med vand og anbringes over platinpladerne med munden under vandet i karret, således som figuren viser. Hvorfor løber vandet ikke ud af klokkerne? *P* forbindes med den positive, *N* med den negative pol på et batteri; strømmen løber altså gennem vandet fra den ene platinplade til den anden.

Pladen, hvor strømmen går ind i vandet, kaldes *anoden*, og hvor den går ud, *katoden*.

Ved platinpladerne danner der sig luftblærer, som stiger til vejrs og samler sig øverst i klokkerne; *B* fyldes *dobbelt så hurtigt som I*. Når vandet er drevet ud af klokken *B*, tager vi den af krogen, holder den med munden nedad og sætter en brændende tændstik til munden; vi ser, at luften i *B* brænder med svagt lysende flamme. Når klokken *I* er fuld, tager vi den af, holder den med munden opad og lader en træpind, der

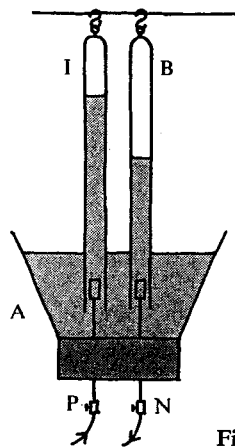


Fig. 111

gløder i spidsen, falde ned i den; træpinden bryder i brand. Der dannes ilt ved anoden og brint ved katoden.

Pladerne er af platin for ikke at angribes af ilten. Vi måtte først holde den ene klokke med munden nedad, den anden med munden opad, fordi brint er lettere end luften, ilt tungere.

Vi fylder igen den ene af klokkerne med vand og holder den først over den ene platinplade, så over den anden, således at to tredjedele af klokken fyldes med brint, resten med ilt; blandingen af ilt og brint kaldes *knaldluft*. Antændes denne, hører man et knald; det er ilten og brinten, der forener sig og danner vand.

**Galvanisering.** Vi opløser noget kobbervitriol i vand; stikker vi en knivspids ned i væsken, kan vi se, at der er kobber i den. Sendes der en strøm igennem den på lignende måde, som vi før gjorde gennem vandet, udskilles der kobber på katoden.

Der udskilles stoffer af alle ledende væsker (undtagen kviksølv), når der sendes en strøm gennem dem. Indeholder væsken et metal, udskiller metallet sig altid på katoden. Dette benytter man f. eks. til at forsøve kaffekander o. lign.

I et kar hælder man en sølvopløsning; som anode anvender man en sølvplade og som katode den ting, der skal forsølves. Når strømmen går gennem opløsningen, udfældes der sølv på katoden, og sølvpladen opløses efterhånden i opløsningen, så denne stadig er lige sølvholdig.

## Måling af strømstyrke

Jo mere brint der udvikles i hvert minut i vandadskillelsesapparatet, jo stærkere siger man, at strømmen er.

Man siger, at *strømstyrken er 1 ampère*, når der i et minut udskilles  $7\frac{1}{2}$  cm<sup>3</sup> brint (kun nøjagtigt, når temperaturen er 20° C. og brintens tryk 76 cm); dannes der 15 cm<sup>3</sup> brint i 1 minut, er strømstyrken 2 amp. o. s. v. Vi kan altså beregne strømstyrken, når vi iagttager, hvor længe brintglasset er om at fyldes med brint, og måler dets rumfang med et måleglas.

Der dannes lige meget brint pr. minut, hvad enten vandadskillelsesapparatet indskydes ved batteriets positive eller negative pol, eller det anbringes midt i den ydre ledning; *strømstyrken er den samme overalt i ledningen*. Et vandadskillelsesapparat, der særlig er beregnet på måling af strømstyrke, kaldes et *voltameter*.

Det er ubekvemt at måle strømstyrker med voltametret, særlig fordi det tager lang tid. Man har derfor konstrueret forskellige apparater, som straks viser, hvor stærk strømmen er; de kaldes med et fælles navn *galvanometre*.

De bedste galvanometre er konstrueret efter Deprez d' Arsonvals princip. *N* og *S* (fig. 112) er polerne på en kraftig stål-magnet, *C* er en faststående jerncylinder, *ab* er en rulle tynd kobbertråd, der er viklet om en aluminiumramme; på figuren er der for oversigtens skyld kun tegnet halvanden vinding, og aluminiumrammen er udeladt. Rullens stive trånder hviler i taplejerne *a* og *b*, så at rullen kan dreje sig om *ab* som akse; viseren *V* er fastgjort på enden af *ab*.

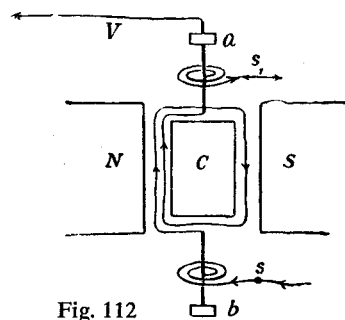


Fig. 112

$s$  og  $s_1$  er to spiralfjedere, der står vinkelret på papirets plan; enderne  $s$  og  $s_1$  er fastgjort på apparatets grundbræt, de andre på akse  $ab$ . Spiralfjedrene holder rullen i en sådan stilling, at viseren peger på skalaens nulpunkt, når der ingen strøm går gennem apparatet. Den strøm, der skal måles, går ind i rullen gennem fjederen  $s$  og bort gennem  $s_1$ , således som pilene viser; ifølge reglen side 112 går rullens venstre side ind i papiret, dens højre side ud fra papiret, og jo stærkere strømmen er, desto mere spændes fjederen, desto større bliver viserens udslag.

Fig. 113 viser apparatets konstruktion, når jerncylinderen ses fra enden. Trådrullens to sider bevæger sig i de to overalt lige smalle mellemrum mellem stålagnetens poler og jerncylinderen; apparatet er indrettet således, at trådrullens sider ikke kommer ud af dette mellemrum. Derved opnås, at strømstyrken er proportional med viserens udslag, så at skalaens inddelinger er lige store.

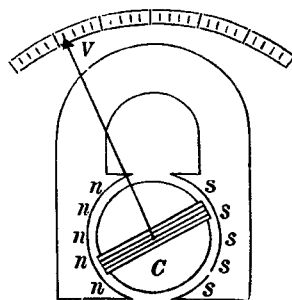


Fig. 113

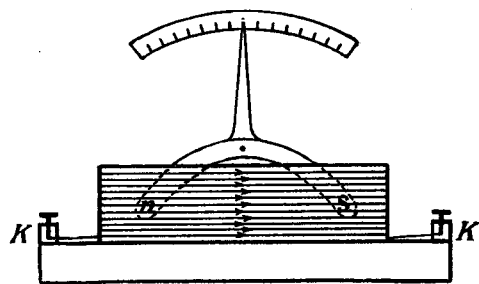


Fig. 114

Galvanoskoper bruges til at påvise svage strømme, men egner sig ikke til måling af strømstyrker. Galvanoskopet fig. 114 består af en bøjet stålagnet  $ns$ , som er anbragt i en trådrulle, hvis ender er lodret til klemmeskruerne  $K$ . Stålagneten kan dreje sig om en vandret akse, der går gennem dens midtpunkt; på magneten sidder der en viser, der peger på en inddelt skala. Går der en strøm gennem rullen i pilenes retning, går  $n$  ifølge højrehåndsgenreglen opad; viseren flytter sig altså. Magneten er bøjet, da dens tyngdepunkt skal ligge under akse.

Galvanoskoperne giver synligt udslag for strømme på omkring  $\frac{1}{5000}$  ampère; den store følsomhed skyldes de mange vindinger.

## Måling af modstand

Fra elementet  $E$  (fig. 115) går der en strøm gennem metaltråden  $M$  og galvanometret  $G$ . Erstatte vi efterhånden  $M$  med metaltråde, der har forskellig længde og tværsnit eller er af forskellige stoffer, viser galvanometret, at strømstyrken forandrer sig; man siger, at trådene har forskellig *modstand*. At to ledninger har samme modstand, vil sige, at galvanometret gør samme udslag, hvad enten den ene eller den anden ledning anbringes på  $M$ 's plads. Man siger, at en ledning, der frembringer mindre udslag end en anden, har større modstand end den anden. Forsøget gøres med fire metaltråde.

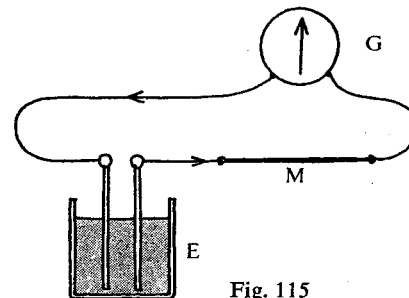


Fig. 115



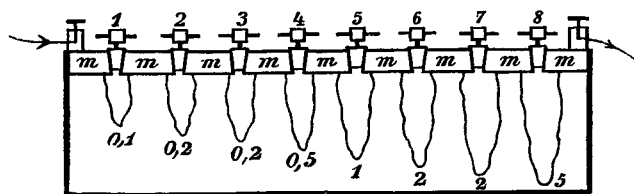


Fig. 116

1. en nikkelintråd 1 m lang, 0,5 mm tyk
2. en nikkelintråd 1 m — 0,25 mm —
3. en jerntråd 1 m — 0,25 mm —
4. en jerntråd  $\frac{1}{2}$  m — 0,25 mm —

1 og 2 viser tykkelsens indflydelse på strømmen, 2 og 3 stoffets, 3 og 4 længdens indflydelse.

Lange, tynde metaltråde har størst modstand, nikkelin har større modstand end jern. Modstanden i en leder afhænger altså af tre ting: længden, tværsnittet og stoffet.

Modstanden forandrer sig også med temperaturen. Vi kan vise det med en jerntråd (ca. 1 m lang, diam.  $\frac{1}{4}$  mm), som vikles op til en spiral og anbringes på *M*'s plads (fig. 115); galvanometrets udslag aflæses, jernspiralen opvarmes med en spritlampe, og udslaget aflæses igen; det bliver mindre, altså modstanden større.

Modstande måles i ohm. *En ohm er modstanden i en 0° varm kviksølvspøje, der er 106,3 cm lang, og hvis tværsnit er 1 mm<sup>2</sup>; modstanden i en kviksølvspøje med samme tværsnit og temperatur, men dobbelt så lang, er 2 ohm o. s. v. At modstanden i en metaltråd f. eks. er 1 ohm, vil sige, at galvanometret (fig. 113) gør samme udslag, hvad enten man på *M*'s plads anbringer metaltråden eller den først nævnte kviksølvspøje.*

Modstandskassen er en trækasse (fig. 116), på hvis låg der sidder en række messingstykker *m*, som kan forbindes med hinanden med messingpropper (1–8). Hvert messingstykke er forbundet med det følgende ved metaltråde, hvis modstande kan

være som anført på figuren (0,1 ohm, 0,2 ohm o. s. v.). Er alle propperne sat i, er modstanden mellem kassens to klemmeskruer så lille, at den kan sættes lig 0; tages alle propperne ud, er modstanden 11 ohm. Med den anførte modstandskasse kan alle modstande fra 0 til 11 ohm fremstilles med een decimal; skal modstanden f. eks. være 7,3 ohm, udtages propperne 1, 2, 7 og 8.

**Modstandsmåling.** Den metaltråd, hvis modstand vi vil måle, anbringes på *M*'s plads (fig. 115), og galvanometrets udslag aflæses. Metaltråden tages bort, en modstandskasse anbringes på *M*'s plads, og vi tager propper ud af modstandskassen, indtil galvanometret (så vidt muligt) gør samme udslag som før. Er det propperne 2, 3, 4 og 6, vi har taget ud, har vi indskudt 2,9 ohm; den søgte modstand må altså også være 2,9 ohm.

Måles modstandene i de fire metaltråde (forsøget fig. 115), ser man, at *modstanden er omvendt proportional med tværsnitarealet* (1 og 2) og *ligefrem proportional med længden* (3 og 4). (Denne lov er dog ikke let at påvise, fordi trådene ikke nøjagtigt har de af fabrikanten opgivne tykkelser).

Er trådens længde *l* m og tværsnitareal *t* mm<sup>2</sup>, har man

$$m = k \cdot \frac{l}{t},$$

*m* = *k* for *l* = 1 m og *t* = 1 mm<sup>2</sup>. *k* kaldes stoffets specifikke modstand.

## Måling af spændingsforskel og elektromotorisk kraft

Dersom der gennem ledningen *AB* går en elektrisk strøm fra *A* mod *B*, vil der som tidligere omtalt være en spændingsforskel i punkterne *A* og *B*.

Det viser sig, at spændingsforskellen er ligefrem proportional med modstanden i ledningen og med strømstyrken.

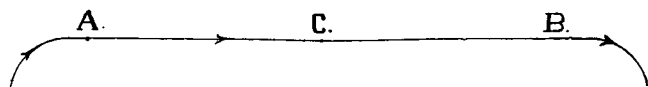


Fig. 117

Kaldes strømstyrken  $s$ , modstanden  $m$  og spændingsforskellen  $v$ , har man

$$v = sm$$

Spændingsforskellen mellem to punkter af en leder er lig produktet af strømstyrken og modstanden i lederstykket. Denne lov, der kaldes Ohms lov, er fremsat af den tyske fysiker G. Ohm.

Hvis der i en ledning er indskudt to eller flere parallelle ledninger, vil strømmen gennemløbe dem alle, og strømstyrken i

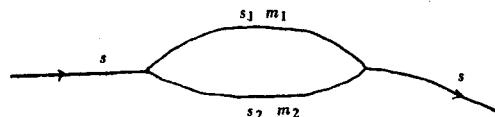


Fig. 118

de enkelte ledninger står i omvendt forhold til modstanden. Lad strømstyrken (fig. 118) i de to ledninger være  $s_1$  og  $s_2$  og modstanden  $m_1$  og  $m_2$  samt spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$  være  $v$ , man har da

$$s = s_1 + s_2$$

$$\text{og } v = s_1 \cdot m_1 = s_2 \cdot m_2$$

$$\text{eller } \frac{s_1}{s_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Er strømstyrken 1 amp. og modstanden mellem to punkter 1 ohm, siger man, at spændingsforskellen er 1 volt.

Hvis man kender modstanden mellem to punkter  $A$  og  $B$  i en ledning, er man i stand til ved hjælp af Ohms lov at måle spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$ . Man indskyder et eller andet sted i ledningen et ampèremeter med ringe indre modstand, derved vil den strøm, der går i ledningen, ikke ændres

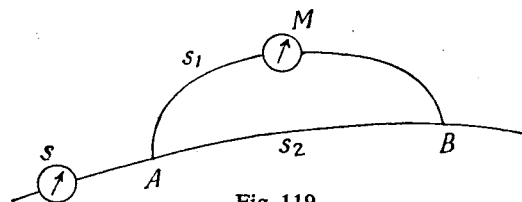


Fig. 119

mærkbart, og man har da  $v = s \cdot m$ ; da man kender  $s$  og  $m$ , kan  $v$  beregnes. Fig. 119.

Til måling af spændingsforskellen mellem to punkter  $A$  og  $B$  på en ledning benytter man imidlertid et *voltmeter*, dette er indrettet som et ampèremeter, dog med den forskel, at det har meget stor indre modstand. Hvis  $AB$  er en strømførende ledning, og man vil måle spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$ , indskydes voltmeteret i en stikledning (shunt) mellem  $A$  og  $B$ . Strømmen  $s$  vil da ved  $A$  dele sig i 2 dele, hvoraf den ene del  $s_1$  vil gå op igennem voltmeteret og den anden del  $s_2$  gå videre gennem  $AB$ . Er modstanden i voltmeteret  $M$ , har man  $v = s_1 \cdot M$ . Da voltmeters modstand er konstant, behøver man blot at multiplicere den konstante modstand med den strømstyrke, der går gennem voltmeteret. Multiplikationen er udført på instrumentet, så tallene angiver ohm. Da strømmen gennem  $AB$  så nær som muligt skal være den samme, hvad enten voltmeteret er indskudt eller ej, må strømmen gennem voltmeteret være så lille som muligt, hvilket opnås ved, at der er stor modstand i voltmeteret.

*Elektromotorisk kraft.* Strømmen fra et element  $E$  sendes gennem en modstandskasse  $M$ , som sammen med tilledningstrådene  $a$  og  $b$  danner den såkaldte ydre ledning; elementets poler sættes desuden i forbindelse med voltmeteret  $V$ . Vi kan nu ved at tage en prop ud af modstandskassen indskyde f. eks. 0,2 ohm i den ydre ledning og aflæse polernes spændingsforskel på voltmeteret. Vi indskyder derpå større modstand og aflæser igen polernes spændingsforskel o. s. v. Det viser sig, at

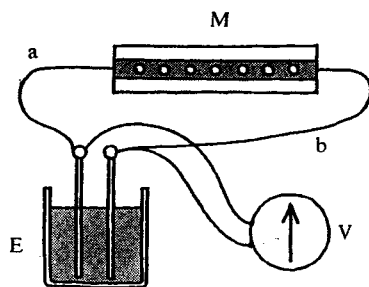


Fig. 120

jo større modstand der er i den ydre ledning, jo større er polernes spændingsforskel. Tager vi til sidst modstandskassen og forbindelsestrådene *a* og *b* bort, gør voltmeteret størst udslag.

Ved et elements elektromotoriske kraft forstår vi spændingsforskellen mellem polerne, når disse ikke er forbundet med hinanden med en ydre ledning. Man kan derfor få en praktisk talt rigtig værdi for et elements elektromotoriske kraft ved at måle spændingsforskellen mellem polerne med et voltmeter, der har så stor modstand, at strømmen gennem det er meget ringe.

Måler vi flere elements elektromotoriske kræfter, og sammensætter vi derefter elementerne til et batteri ved at forbinde kulstangen i den ene med zinkstangen i det næste o. s. v., kan vi ved at måle batteriets elektromotoriske kraft vise, at batteriets elektromotoriske kraft er lig summen af elementernes elektromotoriske kræfter.

**Eksempel 1.** Et stykke af en ledning har modstanden 0,1 ohm; strømstyrken er 5 amp. Hvor stor er spændingsforskellen mellem stykkets endepunkter?

$$5 = \frac{e}{0,1}, \text{ hvoraf } e = 0,5 \text{ volt.}$$

**Eksempel 2.** Glødetråden i en glødelampe kræver en strøm på  $\frac{1}{4}$  amp. for at blive glødende; spændingsforskellen mellem glødetrådens endepunkter er 220 volt. Hvor stor er modstanden i glødetråden?

$$\frac{1}{4} = \frac{220}{m}, \text{ hvoraf } m = 880 \text{ ohm.}$$

## Galvaniske elementer II

**Polarisation.** I vandadskillelsesapparatet (fig. 111) borttages glassene *B* og *I*, der hældes fortyndet svovlsyre i karret *A*, og apparatets klemmeskruer sættes i forbindelse med et galvanometer (voltmeter eller galvanoskop); dettes viser rører sig ikke, da to ens plader i en ledende vædske ikke kan virke som galvanisk element.

Galvanometret fjernes, og strømmen fra et batteri sendes gennem vædsken; som sædvanlig udvikles der ilt og brint. Derpå fjernes batteriet, og vandadskillelsesapparatets klemmeskruer forbindes atter med galvanometret, hvis viser nu gør et udslag, som snart hører op; apparatet har altså i kort tid virket som et galvanisk element. Grunden er følgende: da strømmen gennem apparatet blev afbrudt, blev der lidt brint siddende på den ene platinplade, lidt ilt på den anden; pladerne er ikke længere ens. Forbindes apparatets klemmeskruer med en ydre ledning, opstår der derfor en såkaldt polarisationsstrøm, som inde i apparatet går i modsat retning af batteristrømmen. Ligesom denne adskiller polarisationsstrømmen vædsken i ilt og brint, men denne gang dannes der ilt, hvor der før blev dannet brint, og omvendt. Ved de to platinplader forener ilten og brinten sig til vand, og når den ilt og brint, der sidder på platinpladerne, er opbrugt, hører polarisationsstrømmen op.

I stedet for platin kan man benytte to kulstænger i fortyndet svovlsyre.

**Kemiske processer i elementer.** Det første element blev opfundet af italieneren Volta i slutningen af det attende århundrede; det bestod af en kobberstang og en zinkstang i fortyndet svovlsyre. Forbindes polerne, går strømmen i elementet fra zink gennem vædske til kobber og adskiller den fortyndede svovlsyre i ilt og brint; mellem ilten, zinken og svovlsyren foregår der kemiske processer, som bevirker, at zinken lidt efter lidt opløses i vædsken, mens brinten sætter sig på kobberet. Brinten er skyld i, at elementets elektromotoriske kraft hurtigt

svækkes, hvad vi kan overbevise os om ved f. eks. at måle den elektromotoriske kraft med et voltmeter.

For at få gode elementer må man sørge for, at brinten ikke sætter sig på den positive polplade. I kromsyre-elementet forhindrer man det ved som vædske at benytte fortyndet svovlsyre, hvori der er opløst tvekromsurt kali; dette stof indeholder nemlig meget ilt, som forbinder sig med den af strømmen udskilte brint til vand, og herved er brinten gjort uskadelig. I tørrelementet er det brunstenen, der er det iltholdige stof, som forhindrer salmiakkens brint i at sætte sig på kulpladen.

Jo større pladerne er i et element, jo nærmere de står ved hinanden, og jo højere vædsken står i glasset, desto mindre er elementets modstand; i et kromsyre- eller tørrelement af mellemstørrelse er modstanden ca.  $\frac{1}{10}$  ohm, i akkumulatoren er den i reglen meget mindre, fordi pladerne er meget store.

Et elements elektromotoriske kraft beror *kun* på, hvad pladerne er af, og hvilket vædske elementet indeholder; for et nyt tørrelement er den 1,5 volt, for et kromsyre-element 2 volt.

Den stærkeste strøm, et element kan give, beregnes således: Lad elementet være et tørrelement på 1,5 volt og 0,1 ohms modstand; tænkes polerne forbundne med en kort, tyk kobbertråd, hvis modstand kan sættes lig 0, får man ifølge Ohms lov

$$S = \frac{1,5}{0,1} = 15 \text{ ampère.}$$

Lod man elementet give en så stærk strøm, blev det ødelagt i løbet af ganske kort tid.

**Akkumulatoren.** I et glas med fortyndet svovlsyre anbringes to blyplader; strømmen fra et batteri sendes nogen tid gennem væsken fra den ene blyplade til den anden. Væsken adskilles som sædvanlig i ilt og brint; brinten bobler op ved den blyplade, hvor strømmen går bort fra akkumulatoren, mens ilten går i forbindelse med den anden blyplade, som overtrækkes med et lag af blyoverilte. Pladerne er nu ikke længere ens, og

man siger, at akkumulatoren er ladet. Fjerner vi batteriet og sætter blypladernes klemmeskruer i forbindelse med voltmeteret, kan vi måle akkumulatorens elektromotoriske kraft; den er ca. 2 volt, når akkumulatoren er fuldt ladet.

Forbindes akkumulatorens poler med en ydre ledning, går strømmen inde i akkumulatoren i *modsat retning af ladningsstrømmen*. Vædsken adskilles atter i ilt og brint, men nu dannes brinten ved blyoveriltepladen og forbinder sig med pladens ilt til vand, mens den anden plade iltes, så at akkumulatoren efter nogen tids forløb må lades igen, for at der kan dannes nyt blyoverilte.

## Elektromagneters anvendelse

**Telegraf.** På modtagerstationen ser vi skriveapparatet. Det består af en elektromagnet *E*; oven over den er der et anker *A*. Det sidder på enden af en stang, der kan dreje sig om en tap. På stangens anden ende sidder der en spids *s*. Lige over spidsen er der en lang papirstrimmel, som af et urværk føres forbi spidsen. Fjederen *S* holder stangen vandret.

På afsenderstationen er der et batteri og en nøgle. Batteriets ene pol er i forbindelse med en metalplade, der er gravet ned i fugtig jord. Fra nøglen går der en ledning af jerntråd hen til

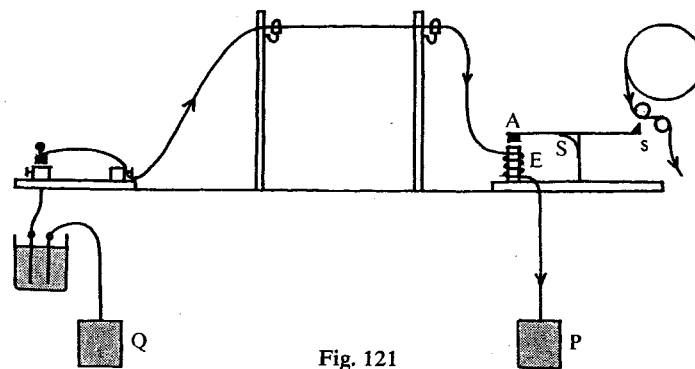


Fig. 121

modtagerstationen, hvor den er sat i forbindelse med den ene ende af elektromagnetens kobbertråd. Kobbertrådens anden ende er sat i forbindelse med en metalplade, der også er gravet ned i fugtig jord.

Når telegrafisten på afsenderstationen skal telegrafere, trykker han på nøglens knap. Fra batteriets ene pol strømmer der elektricitet (f. eks. positiv) gennem nøglen ud i den ledning, der bæres af telegrafpælene. Når den kommer til modtagerstationen, går den gennem elektromagnetens kobbertråd ned til jordpladen *P* og fra denne ned i jorden. Fra batteriets anden pol strømmer elektriciteten (den negative) ned til jordpladen *Q* og fra denne ned i jorden. Vi ser, at et batteri ikke alene kan give strøm, når polerne forbindes, men også når de begge afledes til jorden.

Elektromagneten bliver nu magnetisk og trækker ankeret *A* ned. Spidsen *s* går op og ridser i papiret. Slipper telegrafisten straks nøglen, afbrydes strømmen også straks. Elektromagneten bliver umagnetisk, og fjederen trækker spidsen bort fra papiret; den har kun sat en prik. Holder han nøglen nede lidt længere, ridser spidsen en streg på papiret. Det telegrafiske alfabet består af prikker og streger.

Ledningen, der forbinder de to stationer, er gjort fast på porcelænsklokker, der sidder på telegrafpælene, ellers ville en del af strømmen gå gennem pælene ned i jorden.

*Telefonen.* Skal man telefonere fra et sted til et andet, må der på afsenderstationen være en mikrofon, på modtagerstationen en telefon.

*Mikrofonens* hylster er af træ. *MM* er en tynd metalplade,

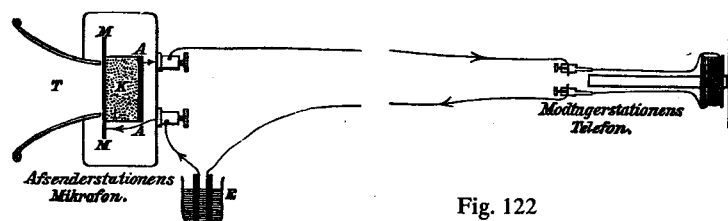


Fig. 122

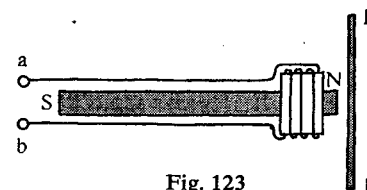


Fig. 123

hvis rand er klempt fast i hylsteret. *AA* er en kulplade. Mellemrummet mellem pladerne er fyldt med kulpulver.

*Telefonen* består af et rør af træ eller ebonit. Indeni ligger en stål magnet (*NS*) (fig. 123), som ender i en elektromagnet; ledningens ender går hen til et par klemmeskruer (*a* og *b*). Lige foran magneten sidder der en tynd jernplade (*PP*), hvis rand er klempt fast i hylsteret. På grund af magnetens tiltrækning er midten af jernpladen bøjet lidt ind mod magneten.

Strømmen går fra elementet *E* (fig. 122) hen til pladen *MM*, gennem kulpulveret og pladen *AA* hen til mikrofonens øverste klemmeskrue. Herfra går den gennem en kobbertråd hen til modtagerens telefon, omkring dennes vindinger og gennem en anden kobbertråd tilbage til elementet.

Når afsenderen taler ind i tragten *T*, sætter han luften i bevægelse, og pladen *MM* kommer til at svinge frem og tilbage. Når pladen svinger ind, presses kulpulveret lidt sammen og gør mindre modstand mod strømmen end før. Når den svinger ud, rører kulkornene ikke hinanden så godt som før, og modstanden vokser. Efter som strømmen møder større eller mindre modstand, forandres dens styrke, polen *N* bliver svagere eller stærkere, og telefonens tynde jernplade kommer til at svinge frem og tilbage.

Hver gang *MM* gør en svingning, må telefonens plade også gøre en svingning, og luften ved den må bevæge sig nøjagtigt på samme måde som luften foran mikrofonens plade. Den, der holder øret til telefonen, hører derfor, hvad der er blevet sagt i mikrofonen.

For at der kan telefoneres modsat vej, må stationen til højre have en mikrofon, stationen til venstre en telefon.

## Grundforsøg over induktionsstrømme

Anbringes en jernstang  $AB$  mellem to magnetpoler  $N$  og  $S$  (fig. 124), opstår der i jernstangen polerne  $nn$  og  $ss$ , og de korte linier mellem  $nn$  og  $ss$  angiver småmagneternes retninger; jernstangen er her magnetiseret på tværs. Anbragte man nu polerne  $N$  og  $S$  ud for jernstangens ender  $A$  og  $B$ , ville småmagnetene dreje sig i retningen  $AB$ ; man siger at *magnetiseringsretningen* er blevet forandret. Når magnetiseringsretningen forandrer sig, forandrer også polerne plads i jernstykket.

*I.*  $AB$  (fig. 125) er en lille jernstang, om hvis midte der er viklet en lille rulle kobbertråd; kobbertrådens ender fastgøres i klemmeskruerne på et galvanoskop  $G$ . Jernstangen lægges hurtigt på polerne af en hesteskomagnet eller bedre en elektromagnet  $E$ ; galvanoskopet gør nu et udslag som tegn på, at der er opstået en strøm i rullen. Strømmen kaldes en *induktionsstrøm*; den ophører, så snart jernstangen er anbragt på polerne. – Føres jernstangen bort fra magneten, opstår der i kobbertråden en induktionsstrøm, der går i modsat retning af den første.

Når jernstangen lægges på polerne, opstår *polerne*  $n$  og  $s$  i den, og galvanoskopet viser, at induktionsstrømmen går i en sådan retning, at den stræber at *tilintetgøre disse poler*; induktionsstrømmen går altså i den retning, som pilene på fig. 125 viser.

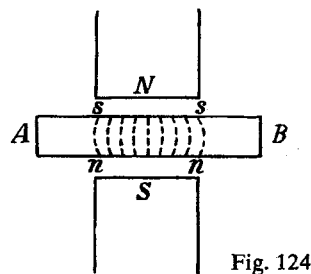


Fig. 124

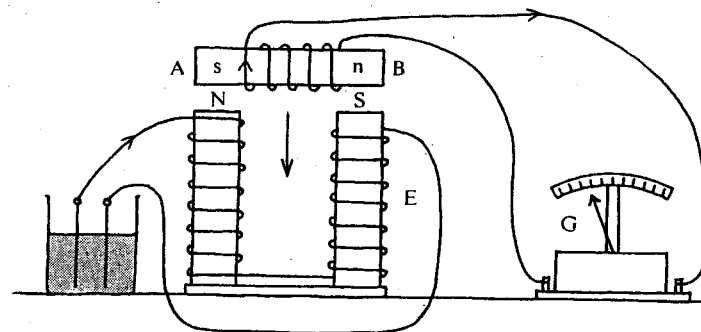


Fig. 125

Når jernstangen fjernes fra magneten, *forsvinder polerne*  $n$  og  $s$  og induktionsstrømmen, der nu går i modsat retning, stræber at *forhindre disse poler i at forsvinde*.

*II.* Forsøg *I* gentages med den forandring, at jernstangen  $AB$  føres op og ned således, at den er vinkelret på forbindelseslinjen mellem magneternes poler  $N$  og  $S$ . På fig. 126 forestiller  $N$  og  $S$  magnetens poler set fra oven.  $AB$  magnetiseres her på tværs, og galvanoskopet viser, at der *ikke* fremkommer nogen induktionsstrøm.

*III.* Forsøget gentages på den måde, at jernstangen lægges ned på magnetens poler  $N$  og  $S$ , hvorved den selv får polerne  $n$  og  $s$  (fig. 127). Når galvanoskopet er kommet i ro, *drejes* jernstangen om i stillingen  $A_1B_1$ . Før drejningen var jernstangen magnetiseret på langs; efter drejningen er den magnetiseret på tværs, og polerne  $n$  og  $s$  er forsvundet. Galvanoskopet vi-

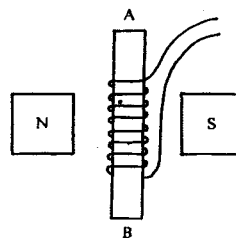


Fig. 126

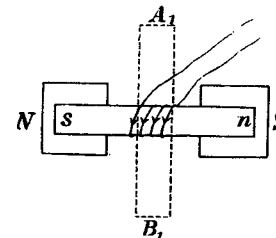


Fig. 127

ser, at der i rullen opstår en induktionsstrøm, der stræber at forhindre, at  $n$  og  $s$  forsvinder.

Drejes jernstangen tilbage til sin oprindelige stilling, opstår polerne  $n$  og  $s$  igen, og der fremkommer en induktionsstrøm, der stræber at tilintetgøre  $n$  og  $s$ .

Resultaterne af de tre forsøg kan udtrykkes således: Når en rulle metaltråd omslutter en jernkerne, opstår der i rullen en induktionsstrøm,

1. hvis jernet magnetiseres, eller
2. hvis jernet taber sin magnetisme, eller
3. hvis magnetiseringsretningen forandrer sig.

Der opstår dog ingen induktionsstrøm i tilfældene 1. og 2., hvis magnetiseringsretningen går parallelt med vindingerne (forsøg II).

Induktionsstrømmen går i en sådan retning, at den stræber at tilintetgøre opstående magnetisme og holde på forsvindende magnetisme. — Den inducerede elektromotoriske kraft bliver desto større, jo stærkere magnetiseringen er, jo hurtigere forandringen i magnetismen foregår, og jo flere vindinger der er.

Induktionsstrømme er påvist af Michael Faraday 1831.

Induktionsapparatet består af en elektromagnet  $E$  (fig. 128) med få, tykke vindinger;  $A$  er et jernanker, der sidder på fjederen  $F$ .  $M$  er et messingstykke med en skrue, hvis spids berører fjederen. Strømmen fra et batteri, hovedstrømmen, går gennem  $M$  over på fjederen  $F$  og gennem elektromagnetens kobbertråd tilbage til batteriet. Elektromagneten bliver mag-

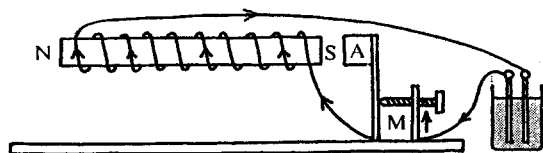


Fig. 128

netisk og tiltrækker ankeret, som trækkes bort fra skruen, hvorved strømmen afbrydes. Elektromagneten bliver nu umagnetisk, fjederen springer tilbage og berører skruen, hvorved strømmen igen slutes o. s. v. Jernstangens poler  $N$  og  $S$  vil altså skiftevis opstå og forsvinde.

Uden om elektromagneten er der anbragt en rulle af meget lang, tynd kobbertråd, induktionslederen, hvis ender er fastgjort til de to klemmeskruer oven på rullen (fig. 129). Vi vil antage, at der i klemmeskruerne er fastklemt to messinghåndtag, som en mand holder i hænderne; manden er altså den ydre ledning.

Hver gang hovedstrømmen slutes, opstår polerne  $N$  og  $S$ , og i induktionslederens vindinger induceres der en strøm, hvis retning bestemmes derved, at den stræber at tilintetgøre disse poler; når hovedstrømmen afbrydes, forsvinder  $N$  og  $S$ , og der induceres en induktionsstrøm, som stræber at forhindre polerne i at forsvinde.

Hver gang hovedstrømmen slutes eller afbrydes, opstår der altså elektricitet i hver af induktionslederens vindinger, idet positiv elektricitet drives til den ene side, negativ modsat vej. Hver vinding svarer til ét element, og da induktionslederen indeholder mange tusinde vindinger, svarer den til et batteri på flere tusinde elementer. Induktionsstrømmene har derfor en meget stor elektromotorisk kraft; den kan være mange tusinde volt. Da induktionslederen og manden, der holder i håndtagene, har meget stor modstand, bliver strømmen alligevel temmelig svag.

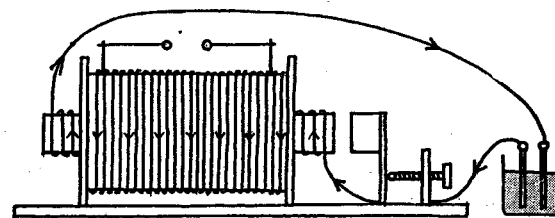


Fig. 129

Batteriet i hovedledningen består af få elementer. Hovedledningens elektromotoriske kraft er derfor kun nogle få volt; men da dens modstand er lille, er hovedstrømmen temmelig stærk. *Induktionsapparatet er altså en transformator, der omdanner stærk strøm med en lille elektromotorisk kraft til en svag strøm med stor elektromotorisk kraft.*

I det praktiske liv anvendes små induktionsapparater til elektrisering, f. eks. mod gigt; de større induktionsapparater, hvor spændingsforskellen mellem induktionslederens klemmeskrue er så stor, at der kan springe lange gnister over mellem metaltråde, der er fastgjort til klemmeskrueene, anvendes til frembringelse af røntgenstråler.

At induktionsstrømmen er en højspændt vekselstrøm, kan påvises ved hjælp af en glimlampe. Sættes glimlampen direkte ind på ensrettet bystrøm, vil den ene af lampens elektroder lyse; skiftes strømretning, lyser den anden elektrode. Måles lampens strømforbrug, viser dette sig at være ca. 0,015 amp. Prøver man derefter at koble lampen ind i drivstrømmen til induktionsapparatet (den primære ledning), lyser lampen ikke; spændingen er for lille. Indskydes lampen derefter i induktionslederen (den sekundære ledning), lyser begge elektroder, følgende er strømmen en vekselstrøm.

*En vekselstrøm kan gå gennem en kondensator.* Indskydes i den sekundære ledning en kondensator i række med glimlampen, vil lampen lyse. I det øjeblik den ene pol på induktionsapparatet bliver positiv, vil den tilsvarende kondensatorplade lades med positiv elektricitet; derved fremkaldes fordeling i den anden kondensatorplade, således at der bindes negativ elektricitet ind mod det isolerende lag, medens den positive bevæger sig hen mod induktionsapparatets negative pol, og på denne måde løber der altså positiv elektricitet gennem hele ledningen. Når polerne skifter fortegn, skifter strømmen retning.

Sættes en lille hammer på ankeret *A* (fig. 128), således at den kan slå på en klokke, har vi et ringeapparat.

## Dynamomaskinen

(Grammes maskine)

*Grammes ring.* Fig. 130 forestiller en jernring, der er magnetiseret af de to poler *N* og *S* og kan dreje sig om akse *A*; ringen har sydpol foroven ( $s_1 s_1$ ) og nordpol forneden ( $n_1 n_1$ ). De små streger i ringen angiver småmagneternes retning; de vender nordpolerne nedefter, sydpolerne opefter. Tænker vi os ringen drejet rundt i pilens retning, og betragter vi et kort stykke *abcd* af den, ser vi, at *abcd* i stillingerne 1 og 3 har sydpol foroven, nordpol forneden, og at magnetiseringsretningen forandrer sig, efterhånden som *abcd* passerer stillingerne 2, 3 og 4 og når tilbage til stilling 1. Læg nøje mærke til magnetiseringsretningerne i stillingerne 1, 2, 3 og 4.

Dynamomaskinen (fig. 131) bruges til at frembringe stærke induktionsstrømme. *N* og *S* er polerne på en hesteskoformet elektromagnet (*N* er nordpol, *S* sydpol). Mellem dem er der en jernring, der kan drejes om en akse. (Grammes ring). Om-

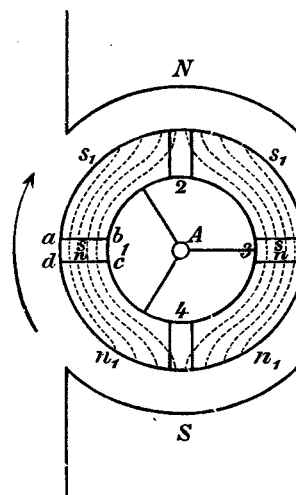


Fig. 130

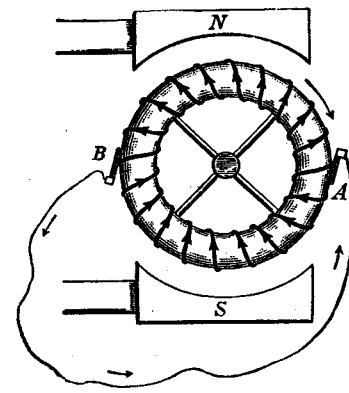


Fig. 131



kring jernringen er der viklet en i sig selv tilbageløbende kobbertråd; den danner altså en spiral, hvis ender er loddet sammen. Kobbertrådens vindinger er blanke på ydersiden, men de er isoleret fra hinanden indbyrdes og fra jernringen; der er i virkeligheden flere vindinger end på tegningen, og de ligger tæt op til hinanden.

*A* og *B* er to kobberfjedre, som trykker mod kobbertrådens blanke yderside; de er fastgjorte på opstandere og bliver altså på deres plads, når ringen drejes rundt. Den ledning, som strømmen skal gennemløbe, går fra den ene kobberfjeder til den anden.

Vi skal nu se, hvordan vi kan finde strømmens retning i jernringens kobbertråd, når ringen drejes rundt i den retning, som den store pil viser. Først ser vi på ringens øveste halvdel (fig. 132). *I*, *II*, *III* forestiller 3 forskellige stillinger af et stykke af jernringen. Polerne *N* og *S* magnetiserer jernringen således, at det stykke, som vi betragter får sydpol *s* nærmest *N* og nordpol *n* nærmest *S* i stillingerne *I* og *III*, mens magnetiseringsretningen i stilling *II* er helt anderledes (se fig. 130).

Mens jernstykket bevæger sig fra *I* til *II*, forandres magnetiseringsretningen, og polerne *n* og *s* i jernstykkets endeflader taber sig.

Derved opstår der i kobbertråden en induktionsstrøm, som stræber at bevare polerne *n* og *s* og altså må gå i den retning, som pilene i stilling *I* viser.

Mens jernstykket bevæger sig fra *II* til *III*, forandres atter magnetiseringsretningen i jernstykket, i hvis endeflader polerne *n* og *s* opstår. Induktionsstrømmen søger at tilintetgøre disse poler og må altså gå i den retning, som pilene i stilling *III* viser.

Vi ser nu på ringens nederste halvdel.

På samme måde som før ser vi, at polerne *n* og *s* taber sig under bevægelsen fra *I* til 2. Induktionsstrømmen, som stræber at bevare disse poler, må gå i den retning, som pilene i stilling *I* viser.

Under bevægelsen fra 2 til 3 opstår polerne *n* og *s*; induk-

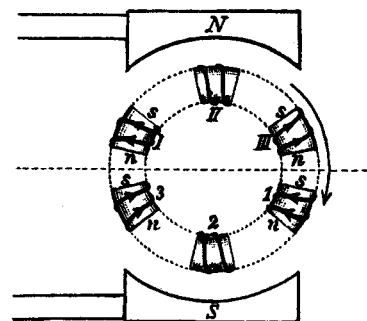


Fig. 132

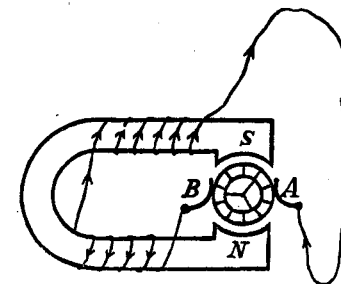


Fig. 133

tionsstrømmen, som søger at tilintetgøre disse poler, må gå i den retning, som pilene i stilling 3 viser.

Sammenligner vi nu fig. 132 med fig. 131, ser vi, at strømretningen i ringens kobbertråd må være således som fig. 131 viser. Når dynamoens jernring drejes rundt, opstår der induktionsstrømme i de to dele af kobbertråden, som er viklet om ringens øverste og nederste halvdel. Begge steder løber strømmen hen mod fjederen *B* og bort fra fjederen *A*.

Dette kan vi også udtrykke således: Fra de to dele af kobbertråden, som er viklet om ringens øverste og nederste halvdel, strømmer der positiv elektricitet hen til fjederen *B*, negativ til fjederen *A*.

*B* er dynamoens positive pol, *A* dens negative pol. Fra polerne strømmer elektriciteten ud i den ydre ledning; pilene langs ledningen (fig. 131) viser den positive strøms retning.

Dynamoens jernring drejes i reglen rundt af en dampmaskine. Elektromagneten magnetiseres af den strøm, som dynamoen selv frembringer; fig. 133 viser én af de måder, på hvilke dette kan ske. Strømmen går fra fjederen *B* gennem elektromagnetens vindinger og gennem den ydre ledning til fjederen *A*.

Når dynamoen standses, forsvinder ikke al magnetisme i polerne *N* og *S*. Når den igen sættes i gang, begynder den derfor med at give svag strøm, som forstærker polerne *N* og *S*,

og jernringen magnetiseres stærkere; herved vokser også strømmen, så atter magnetismen o. s. v., indtil jernet er mættet med magnetisme.

## Vekselstrømmaskiner

Mens Grammes maskine giver ensartet strøm, d. v. s. strøm, som i den ydre ledning stadig går i samme retning, benyttes ofte maskiner, hvor strømmen stadig skifter retning; de kaldes *vekselstrømmaskiner*. Som vi senere ved omtalen af elektrisk kraftoverføring får at se, er det undertiden nødvendigt at benytte dynamoer, der giver meget høj spænding (f. eks. 10000 volt), og dertil egner Grammes maskine sig ikke af følgende grund: idet jernringen drejes rundt, glider dens kobbevindinger stadig forbi kobberfjedrene, og hver gang en vinding ophører at berøre en fjeder, ser man en gnist springe over mellem vindingen og fjederen; var dynamoen nu konstrueret til høje spændinger (d. v. s. stor dynamo med mange vindinger), ville gnisterne blive så store, at de hurtigt ville ødelægge fjedre, vindinger og isolation; vi får at se, at dette undgås ved vekselstrømmaskinen. I denne skifter strømmen hyppigt retning, f. eks. 100 gange pr. sekund, så at vekselstrømmene godt kan anvendes til belysning, da lamperne ikke kommer til at flimre, når strømretningen skifter så tit; vekselstrømmen kan også anvendes til motorer, når disse er særligt konstruerede til dette brug.

A, fig. 134, er en jernstang (en jernkerne), som er omviklet med isoleret kobbertråd, hvis ender forbindes med et galvanoskop; I, II og III er tre forskellige stillinger af en stål magnet  $n s$ , der føres forbi jernkernen. Mens  $n s$  føres fra stilling I til stilling II, opstår der i jernkernen en sydpol forneden, hvorved der i dens vindinger induceres en strøm, der stræber at tilintetgøre sydpolen og altså går i den retning, som pilene på kobbertråden viser. Mens  $n s$  føres fra stilling II til stilling III, forsvinder jernkernens sydpol, og der induceres i dens vindinger

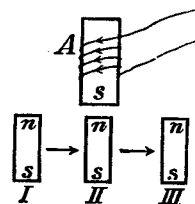


Fig. 134

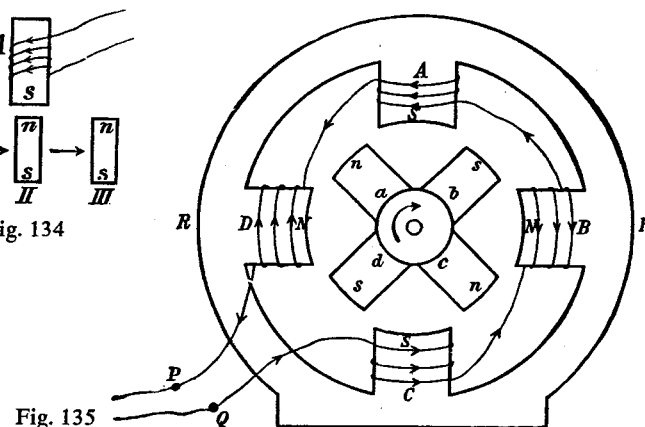


Fig. 135

en strøm, der søger at holde på sydpolen og altså går i modsat retning af pilene. Når en magnetpol føres forbi en jernkerne, der er beviklet med isoleret kobbertråd, opstår der i kobbertråden to induktionsstrømme, der går i modsatte retninger; der opstår altså vekselstrømme.

Fig. 135 viser, hvordan vekselstrømmaskinen kan indrettes. R R er en faststående jernring, som bærer 4 jernkerner A, B, C og D, der er beviklede med isoleret kobbertråd. Om A og B er tråden viklet i modsat retning; når altså den tråd, der går fra A til B forlader A på forsiden, begynder den med at gå bag om B, således som figuren viser; det samme gælder for B og C o. s. v.; a, b, c og d er fire stål magneter, der sidder på en akse; a har nordpol yderst, b sydpol, c nordpol og d sydpol. Drejes aksens 90° i den store pils retning, kommer a hen på b's plads, dens nordpol føres altså forbi jernkernen A; b kommer hen på c's plads, dens sydpol føres altså forbi jernkernen B o. s. v. Når stål magneterne drejes rundt, opstår der altså vekselstrømme i de fire jernkerners beviklinger; fra maskinens poler P og Q føres vekselstrømmene ud i den ydre ledning.

Vi mangler endnu at vise, at induktionsstrømmene i de fire jernkerners beviklinger i et bestemt øjeblik alle går i samme retning; gik de i modsatte retninger, ville de ophæve hinanden.

Vi tænker os, at stålmagneterne står i samme stilling som på fig. 135, og at de drejes  $45^\circ$  i den store pils retning; *a* kommer altså lige ud for *A*, *b* lige ud for *B* o. s. v. I *A* opstår sydpolen *S*, og strømmen i *A*'s bevikling må altså gå i den retning, som pilene viser. Samtidig opstår i *B*, *C* og *D* polerne *N*, *S* og *N*, og strømmene i beviklingerne må altså gå i de retninger, som pilene viser. I det betragtede øjeblik sender alle beviklingerne positiv elektricitet til polen *P*, negativ elektricitet til polen *Q*. Drejes magneterne atter  $45^\circ$ , går induktionsstrømmene modsat vej; nu er *P* den negative pol, *Q* den positive. Under en drejning på  $90^\circ$  skifter strømmen retning én gang; under en hel omdrejning skifter den 4 gange retning.

Som man ser, skal vekselstrømme ikke – således som strømmen ved Grammes maskine – føres ud i den ydre ledning gennem kobberfjedre; den før omtalte skadelige gnistdannelse er altså undgået ved vekselstrømmaskiner. Disse kan ikke alene konstrueres til stærke strømme med lille spænding (få, tykke vindinger om jernkernerne), men også til svage strømme med høj spænding (mange, tynde vindinger om jernkernerne). På fig. 135 er der kun tegnet 4 jernkerner; på de store maskiner er der mange, og magneterne er ikke, således som vi foreløbig har tænkt os, stålmagneter, men elektromagneter, der gennemløbes af ensrettet strøm, der kan komme fra en lille Grammes maskine, som har fælles akse med vekselstrømmaskinen.

*Vekselstrømmens transformation.* I induktionsapparatet er det batteristrømmen, der transformeres til højspændt vekselstrøm; det er altså en *ensrettet strøm*, der transformeres. Er det strømmen fra en vekselstrømmaskine, der skal transformeres, bliver transformatoren noget simplere. Fig. 136 forestiller en transformator til vekselstrømme. Den består af to jernkerner *A* og *B* forbundet med to tværstykker af jern. Omkring *B* er viklet en tyk ledning med få vindinger (hovedlederen), omkring *A* er viklet en tynd ledning med mange vindinger (induktionslederen).

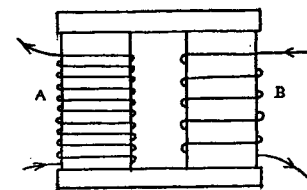


Fig. 136

Sendes en vekselstrøm gennem hovedlederen, vil der i jernkernen *B* opstå magnetisme, der stadig skifter retning; men derved induceres magnetisme i jernkernen *A*, der ligeledes skifter retning, hvorefter følger, at der i induktionslederen induceres en vekselstrøm.

(Tegningen viser strøm- og magnetiseringsretningen i et givet øjeblik).

*Hvis nu induktionslederen har flere vindinger end hovedlederen, transformeres hovedstrømmen til en vekselstrøm med højere spænding og mindre strømstyrke (ligesom i induktionsapparatet); har induktionslederen færre vindinger end hovedlederen, transformeres hovedstrømmen til en vekselstrøm med mindre elektromotorisk kraft og større strømstyrke. Havde hoved- og induktionsleder lige mange vindinger, ville hovedstrømmen og den transformerede strøm i en godt konstrueret vekselstrøm-transformator have meget nær samme elektromotoriske kraft og strømstyrke.*

Som vi senere får at se, benyttes vekselstrømmaskiner i forbindelse med vekselstrømtransformatorer ved elektriske anlæg, hvor forbrugerne bor langt fra elektricitetsværket.

## Den trefasede vekselstrøm

Ved vekselstrømanlæg benyttes oftest *trefaset* vekselstrøm (maskinen fig. 135 kaldes enfaset); anlæg af den art findes nu mange steder her i landet. På fig. 137 forestiller *A*, *B* og *C* tre fuldstændig ens enfasede maskiner, som i virkeligheden kombineres til een maskine derved, at de roterende magneter (*ro-*

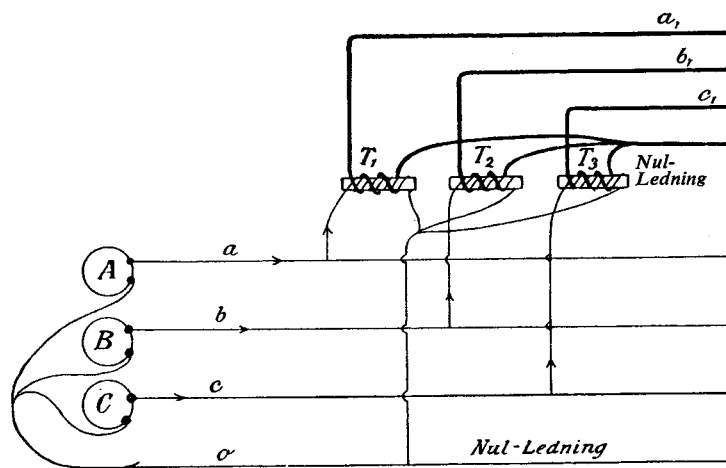


Fig. 137

tor) er fælles, og at de beviklede jernkerner sidder på samme jernring. De fra *A*, *B* og *C* udgående 6 ledninger ses på fig. 137, tre af dem forenes til een ledning (*o*). Lad os tænke os, at *A*'s, *B*'s og *C*'s rotor har samme stilling, inden de sættes i bevægelse, og at *B*'s rotor først sættes i gang, når *A*'s rotor har drejet sig  $120^\circ$ , og at *C*'s rotor sættes i gang, når *B*'s rotor har drejet sig  $120^\circ$ . I *a*, *b* og *c*, faseledningerne, er strømforholdene altså ikke ens samtidig; man siger, at *a* og *b* har en faseforskel på  $120^\circ$ , ligeledes *b* og *c*; *o* gennemløbes åbenbart af tre vekselstrømme med faseforskellen  $120^\circ$ , og om disse kan det bevises, at de ophæver hinanden; *o* kaldes derfor nul-ledningen. Spændingsforskellen mellem *a* og *b*, mellem *b* og *c* samt mellem *a* og *c* kan f. eks. være 6000 eller 10000 volt.

Billedet (fig. 138) viser en trefaset vekselstrømmaskine bestående af 3 fuldstændig ensbyggede enfasede maskiner, der er indrettet således, som det fremgår af fig. 135. Maskinerne har fælles rotor, og da denne er en elektromagnet, må den have strøm fra et batteri på f. eks. 3 volt.

Foran på billedet ses 6 klemmeskrue, der to og to står i forbindelse med hver sin maskine (*P* og *Q* i fig. 135). En

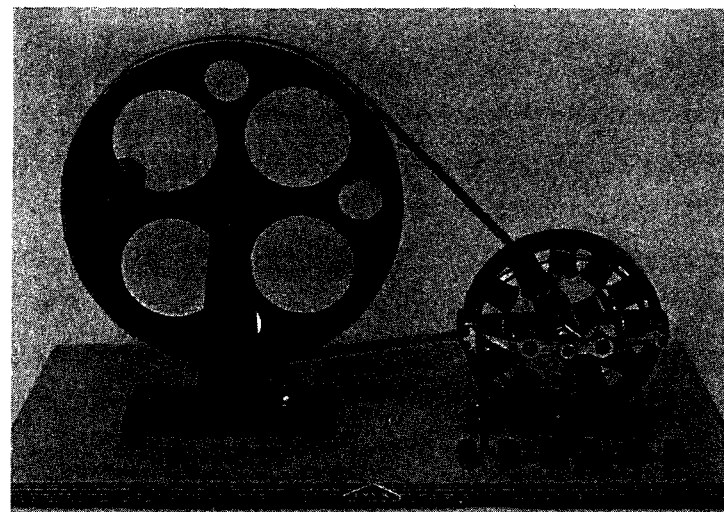


Fig. 138

klemmeskrue i rækkefølge fra hver maskine forbindes med en faseledning, og de tre andre klemmeskrue forbindes til et nulpunkt (se diagrammet fig. 137). I hver faseledning indskydes en glødelampe (4 volt, 0,5 amp.), og faseledningerne forbindes til et nulpunkt. De to nulpunkter forbindes med en ledning, hvori der er indskudt et galvanometer (et jævnstrømgalvanometer kan bruges).

1. Apparaterne er nu stillet sammen til forsøg, og vi drejer på håndsvinget, indtil lamperne lyser. Der går ingen strøm gennem nulleledningen. Vi fjerner nulleledningen og drejer på svinget. Lamperne lyser lige så godt som før. Nulleledningen kan undværes.
2. Vi ændrer rotors magnetstyrke ved kun at bruge et element. Ved samme omdrejningshastighed lyser lamperne svagere. Vi forøger rotors hastighed, lamperne lyser kraftigere. Strømstyrken gennem lamperne og dermed den spænding, maskinen kan yde, vokser med rotors magnetstyrke og rotors hastighed.

3. I den ene faseledning indskyder vi en transformator i række med glødelampen ( $T_1$  i fig. 137). Den primære ledning er den med de få vindinger. Den sekundære ledning forbindes med en glimlampe (220 volt, ca. 0,01 amp.). Vi drejer på håndsvinget, og glimlampen lyser kraftigt. At det er en vekselstrøm vi har, kan vi se af, at begge elektroder lyser.

Gennem transformatoren har vi forandret spændingsforskellen og strømstyrken fra ca. 4 volt og 0,5 amp. til ca. 220 volt og 0,01 amp. Forsøget falder ikke sammen med det, der sker i praksis, hvor man som oftest transformerer høj spænding til lav spænding (jfr. teksten side 123 nederst); vi må ved forsøget gå den omvendte vej, fordi vor maskine kun kan yde ringe spænding.

Ved en gruppe huse, hvor elektriciteten skal benyttes, må den højspændte strøm transformeres til større styrke (lavere spænding). I transformatorhuset er der tre transformatorer som fig. 136; på fig. 137 kaldes de  $T_1$ ,  $T_2$  og  $T_3$ . Transformatorernes hovedledninger står, som fig. 137 viser, i forbindelse med een af faseledningerne samt med nulledningen. Fra transformatorernes induktionsledninger, hvor den stærke, lavspændte strøm dannes, udgår atter tre faseledninger  $a_1$ ,  $b_1$  og  $c_1$ , mens de andre tre trådender fører hen til en nul-ledning ligesom ovenfor;  $a_1$ ,  $b_1$  og  $c_1$  får faseforskellen  $120^\circ$  ligesom  $a$ ,  $b$  og  $c$ . Lamperne indskydes altid mellem nul-ledningen og een af faseledningerne; spændingsforskellen mellem en faseledning og nul-ledning er i reglen 220 volt (mellem to faseledninger er den 380 volt).

*Det foregående viser, at der på de master, der bærer ledningerne, må være 4 tråde; af disse er nul-ledningen den tyndeste, fordi den kun fører svag eller slet ingen strøm, og er i reglen anbragt øverst. Til hvert hus hører der to stikledninger, een fra nul-ledningen og een fra den ene af de tre faseledninger. Er der i huset installeret en vekselstrømmotor, er der indført 3 faseledninger.*

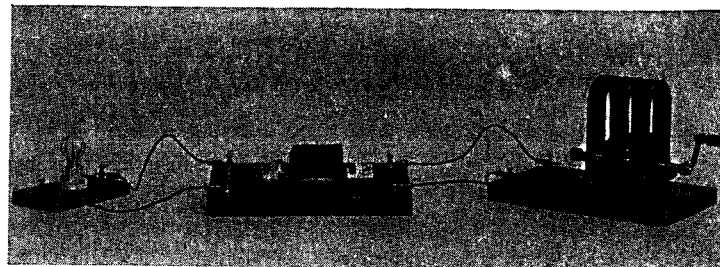


Fig. 139

Til et andet forsøg over vekselstrømme kan benyttes en lille enfaset vekselstrømdynamo, som ses på billedet (fig. 139). Vi indskyder en glimlampe (220 volt, ca. 0,01 amp.) og drejer på håndsvinget; vi kan da få lampen til at lyse, hvoraf vi slutter, at dynamoen fremringer høj spænding. Da begge elektroder lyser, må det være en vekselstrøm, vi har frembragt. Ombytter vi glimlampen med en lille glødelampe (3 volt, ca. 0,5 amp. ved normal lysstyrke), lyser lampen ikke. Strømmen er for svag. Videre ser vi på billedet en transformator. Dynamoen forbindes med spolen med de mange vindinger (den primære spole) og glødelampen med spolen med få vindinger (den sekundære spole). Vi kan nu få lampen til at lyse, fordi transformatoren har sat strømstyrken op. Sættes glimlampen ind i stedet for glødelampen, lyser den ikke, fordi spændingen er for lav. Transformatoren har sat spændingen ned.

Vi forbinder dynamoen og transformatoren med to konstantanledninger, hver godt 1 m lange og diameter 0,5 mm. Vi drejer på håndsvinget, og lampen lyser. Indsætter vi derimod konstantanledningerne mellem transformatoren og glødelampen, kan vi ikke få den til at lyse. I første tilfælde har vi i kredsløbet transformatorens store modstand, hvorfor denne ikke ændres synderlig ved at konstantanledningen indskydes. I den sekundære spole er modstanden derimod ringe, så de to konstantantråde betyder en væsentlig forøgelse af modstanden, hvorfor strømmen svækkes så meget, at lampen ikke kan lyse.

## Elektrisk belysning

Når en ledning gennemløbes af en strøm, opvarmes ledningen. Opvarmningen vokser med modstanden, med strømstyrkens kvadrat og med tiden.

I *glødelampen* er der en metaltråd (glødetråden) f. eks. osram med stor modstand. Dens ender er gjort fast til to platintråde, som går gennem væggen på den glasbeholder, der omslutter glødetråden; den ene platintråd fører til messingstykket *m*, den anden til skruegangen *S*, der ligeledes er af messing. *S* og *m* er adskilt fra hinanden ved et isolerende stof, f. eks. gips (schatteret på figuren). I lampefoden *L* er skruegangen og pladen *n* af messing og isolerede fra hinanden. Skrues lampen i lampefoden, rører *m* og *n* hinanden; pilene angiver, hvilken vej strømmen føres gennem lampen.

Glasbeholderen kan være pumpet lufttom, dels for at glødetråden ikke skal brænde, dels for at varmen ikke skal ledes gennem luften ud til glasset, hvorved glødetråden ville afkøles og lyse mindre stærkt.

Ved den høje temperatur forstøves glødetråden, hvorved

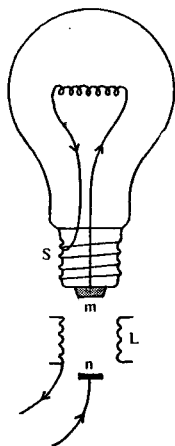


Fig. 140

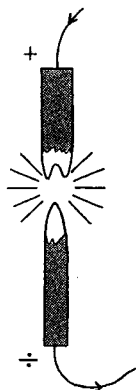


Fig. 141

dennes levetid forkortes, og lampens lysstyrke nedsættes, fordi de forstøvede metaldele sætter sig fast på den indvendige glasvæg og sværter denne.

Forstøvningen kan imidlertid omtrent undgås, hvis man fylder lampen med luftarten argon. Ganske vist ledes noget varme bort fra tråden; men det spiller ringe rolle, da argons varmeledningsevne er lille, og den varmemængde, der ledes bort, er yderst ringe i forhold til den udstrålede ved den høje temperatur.

Glødetråden skal være af metal med højt smeltepunkt, og da den i en almindelig glødelampe er ret lang og tynd, må den bæres af et stativ eller rulles op i en spiral.

I *buelampen* (fig. 141) er der to kulstænger, hvis ender fra først af berører hinanden. En strøm, der sendes gennem kulstængerne, vedbliver at gå, selv om de fjernes lidt fra hinanden, dog kun hvis spændingsforskellen mellem stængerne er over 40 volt; i så fald fyldes nemlig mellemrummet med en blanding af luft og hede kuldampe, der leder elektriciteten. Kulstængernes ender gløder og lyser stærkt, mens blandingen af luft og kuldampe, den såkaldte *lysbue*, lyser svagt. Er kulstængernes spændingsforskel mere end 40 volt, kan lysbuen blive længere, men lampen lyser ikke stærkere og brænder tilmed uroligt; i praksis nøjes man derfor med en spændingsforskel på ca. 45 volt og en lysbue på nogle få millimeter.

Efterhånden som lampen brænder, fortæres kulstængerne, og når mellemrummet er blevet for stort, går lampen ud. Den må derfor indrettes således, at kulstængerne automatisk indstilles således, at de har en passende afstand fra hinanden.

Den elektriske strøms varmekirning anvendes foruden til lys tillige til kogning, til opvarmning af værelser og strygejern; da ledningen består af tykke ledningstråde, er modstanden lille og strømstyrken stor, hvorfor denne anvendelse af den elektriske strøm er dyr i drift, hvor elektricitetspriserne er høje. (Se eks. 1 og 2 side 153).

## Lampernes anbringelse i ledningen

Fra ledningsnettet på gaden fører en tilførende og en fraførende ledning ind i huset, og lad os antage, at spændingsforskellen mellem de to ledninger er 220 volt, og at der er 6 lamper inde i huset, der hver kræver en strøm på 0,1 amp. (fig. 142); der går da 0,6 amp. gennem ledningerne. Ved *a* går 0,1 amp. gennem den første lampe, medens 0,5 amp. går videre, ved *b* går 0,1 amp. gennem den anden lampe, medens 0,4 amp. går videre og så fremdeles som angivet på figuren.

Gennem den fraførende ledning går strømmen tilbage til gadenettet; ved *c* træder 0,1 amp. fra den sidste lampe ind i ledningen, så at strømmen på strækningen *cd* er 0,1 amp., ved *d* forener denne sig med strømmen fra den næstsidste lampe, så at strømmen på strækningen *df* er 0,2 amp. o. s. v. I den tilbageførende ledning er strømstyrken i de forskellige stykker altså lig strømstyrkerne i de tilsvarende stykker af den tilførende ledning.

Hvorfor vil strømmen i punkt *a* dele sig således, at 0,1 amp. går gennem den første lampe og 0,5 i retning *ab*?

Hvorfor vil der kun gå 0,1 amp. gennem nettet, når man slukker 5 lamper?

Medens metaltrådslampen anbringes i ledningen, således som det er forklaret ovenfor, er forholdet lidt anderledes med bue-

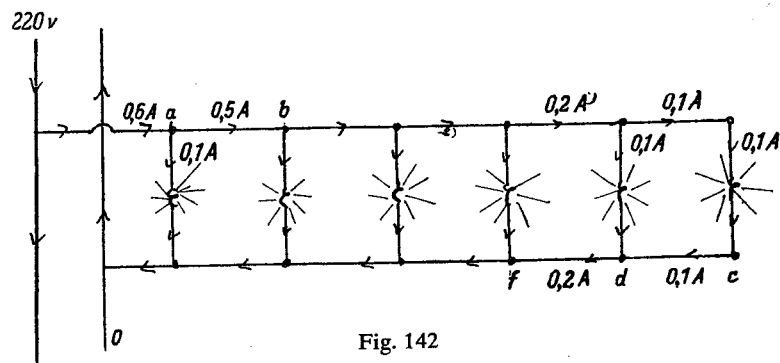


Fig. 142

lampen. I denne må spændingsforskellen mellem kulstængerne som omtalt ikke være mere end ca. 45 volt, eller – som man også kan sige – spændingsfaldet gennem lampen skal være ca. 45 volt; blev buelampen anbragt som de andre lamper, ville spændingsfaldet gennem den være 220 volt, altså for stort. Man anbringer derfor 4 buelamper i række mellem ledningerne samt en modstand af nysølv, den såkaldte *formodstand*. Gennem formodstanden falder spændingen fra 220 volt til 180 volt, og derefter er der et spændingsfald gennem hver af lamperne på 45 volt.

Hvis anlægget var på 180 volt, behøvede der ikke at være nogen formodstand; dette ville dog ikke være heldigt, da lamperne brænder roligere med formodstand. Desuden er modstanden i lamperne meget lille, når de tænder, fordi kulspidserne i dette øjeblik rører hinanden, og uden formodstand ville strømstyrken blive så stor, at den kunne ødelægge lamperne.

Selvfølge kan een eller flere af lamperne erstattes af en passende modstand; men elektricitetsforbruget bliver det samme.

Kommer den positive og den negative ledning på en eller anden måde til at røre hinanden, eller forbindes de med hinanden med en lille modstand, bliver strømmen så stærk, at ledningen kan smelte; man siger, at der er sket en *kortslutning*. For at undgå dette indskyder man forskellige steder i ledningerne en *smeltesikring* (fig. 143), som består af en lille porce-

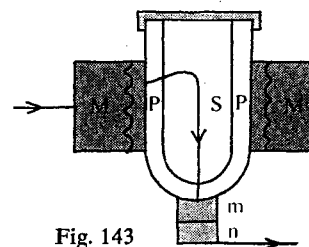


Fig. 143

lænsbeholder *PP*, der udvendig har en skru. gang af messing, som er skruet fast i møtrikken *MM*. Strømmen går ind gennem møtrikken, gennem sølvtråden *S* til messingstykket *m*, derfra over til messingstykket *n* og videre. Bliver strømmen for stærk, smelter sølvtråden, og ledningen er afbrudt.

## Elektromotorer

*Elektromotoren* er en maskine, der frembringer drivkraft ved hjælp af en elektrisk strøm; den er indrettet nøjagtigt som dynamomaskinen (fig. 131); samme maskine kan altså virke både som motor og dynamo. Lad os antage, at der træder en strøm (drivstrømmen) ind ved fjederen *A* (fig. 144); strømmen deler sig her i to dele, hvoraf den ene løber gennem kobbertråden om jernringens øverste halvdel, den anden om den nederste halvdel. Ved fjederen *B* forener de to dele sig igen og forlader jernringens bevikling. Betragter vi nu ringens øverste og nederste halvdel som to halvcirkelformede elektromagneter, ser vi ved hjælp af „reglen med højre hånd“, at de begge får nordpol ved *n* og sydpol ved *s*. Det ses let, at elektromagnetens poler *N* og *S* frastøder og tiltrækker *n* og *s* således, at jernringen løber rundt. Skal motoren f. eks. drive en sporvogn, er der på jernringens aksel anbragt tandhjul, som griber ind i tandhjul, der er fastgjort på vognhjulenes aksel.

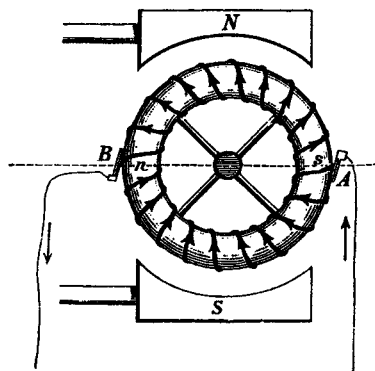


Fig. 144

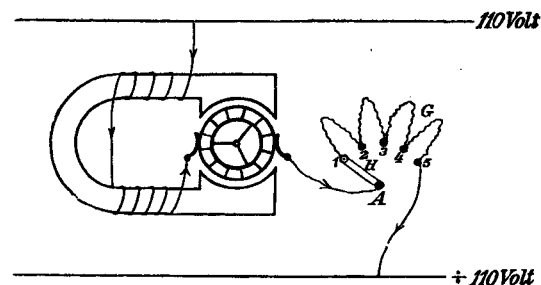


Fig. 145

Da drivstrømmen får motorens jernring til at løbe rundt, virker motoren samtidig som dynamo og frembringer en strøm, modstrømmen, der går i modsat retning af drivstrømmen og svækker denne; går jernringen langsomt rundt, er modstrømmen svag; går den hurtigt, er modstrømmen stærk. Dette forhold er en heldig egenskab ved motoren; skal en sporvogn f. eks. køre op ad en bakke, bevæger den og motoren sig langsommere, modstrømmen bliver svagere, drivkraften altså større; omvendt, når sporvognen kører ned ad bakke. — Påvis, at modstrømmen går i modsat retning af drivstrømmen.

Elektromotoren anbringes i ledningen på samme måde som elektriske lamper. Fig. 145 viser, hvorledes drivstrømmen går fra anlæggets positive ledning gennem elektromagnetens og jernringens kobbertråd, gennem en modstand *G*, der kaldes „gangsætningsmodstanden“, og videre til den negative ledning. Gangsætningsmodstanden består af nogle messingknopper (1, 2, 3, 4, 5), der er forbundne med hinanden med metaltråde, således som fig. 145 viser; *H* er et håndtag af messing, der kan drejes om akslen *A*. Står håndtaget som på figuren, går strømmen gennem hele gangsætningsmodstanden, drejes håndtaget efterhånden hen på knopperne 2, 3 og 4 gennemløber strømmen en mindre del af modstanden, og drejes det hen på knop 5, er hele gangsætningsmodstanden udskudt.

Gangsætningsmodstanden er kun indskudt, når motoren sættes i gang. I dette øjeblik er der ingen modstrøm, fordi jern-



ringen står stille, og hvis modstanden  $G$  ikke var indskudt, ville strømmen blive så stærk, at motoren blev ødelagt; er motorens modstand f. eks. 0,5 ohm og anlægget på 220 volt, ville strømmen ifølge Ohms lov blive  $\frac{220}{0,5}$  amp., d. v. s. 440 amp. Kom-

mer motoren først i gang, frembringer den en kraftig modstrøm og kan tåle hele anlæggets spænding; modstanden skal altså kun benyttes, når motoren sættes i gang, og dette sker ved at dreje håndtaget langsomt fra knop 1 hen på knop 5.

Kan den ovenfor beskrevne motor drives af en vekselstrøm?

## Elektrisk energi

Elektrisk energi er genstand for køb og salg i det daglige liv, idet elektricitetsværket (sælgeren) frembringer elektrisk energi ved hjælp af dynamo og dampmaskine, mens forbrugeren (køberen) benytter den elektriske energi til belysning eller drivkraft. Vi skal nu se, hvad det er, der bestemmer salgsprisen for elektrisk energi.

*Det elektriske energiforbrug i et stykke af en ledning er 1 watt-time, når stykket i 1 time gennemløbes af en strøm på 1 amp., og spændingsforskellen mellem stykkets endepunkter er 1 volt. 1 hektowatt-time = 100 watt-timer; 1 kilowatt-time = 1000 watt-timer.*

Gennemløbes et lederstykke i 3 timer af en strøm på 5 amp., og er spændingsforskellen mellem lederstykkets endepunkter 100 volt, er energiforbruget i lederstykket  $3 \cdot 5 \cdot 100$  watt-timer.

Er strømstyrken i et lederstykke, f. eks. tråden i en glødelampe,  $S$  ampère, spændingsforskellen mellem trådens endepunkter  $e$  volt, forbruges i  $t$  timer energien

$$E = S \cdot e \cdot t \text{ watt-timer.}$$

*Forbrugeren af elektricitet betaler for antallet af watt-timer (volt-ampère-timer), som han har brugt.*

*Forbrugeren skal altså betale for spændingsforskel, strømstyrke og tid. Man kunne tro, at forbrugeren kun skulle betale for den strømstyrke, han bruger (og for tiden). At dette ikke ville være rimeligt, ses dog let af et eksempel. To glødelamper indeholder lige tykke metaltråde, hvorefter den ene,  $A$ , er tre gange så lang som den anden,  $B$ . De lyser begge ved samme strømstyrke, fordi metaltrådene er lige tykke; men da  $A$  er tre gange så lang som  $B$ , udsender den tre gange så meget lys som  $B$ , men kræver samtidig tre gange så stor spændingsforskel mellem sine endepunkter. Lampe  $A$  lyser altså tre gange så stærkt som lampe  $B$ , men den koster også tre gange så meget at bruge, fordi den kræver tre gange så stor spændingsforskel.*

Eksempel 1. Hvor meget koster en glødelampe i timen, når anlægget er på 220 volt, og strømstyrken i lampen er 0,1 amp.? 1 kilowatt-time koster 50 øre.

$$220 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot \frac{50}{1000} \text{ øre} = 1,1 \text{ øre.}$$

Hvor stor er modstanden i lampen?

$$\text{Af formlen } s = \frac{e}{m} \text{ får vi } 0,1 = \frac{220}{m}; m = 2200 \text{ ohm.}$$

To lamper som ovenfor indskydes parallelt i ledningsnettet. Hvor stor er lampernes samlede modstand?

Eksempel 2. Hvor meget koster det at anvende et elektrisk strygejern en time, når energiforbruget er 300 watt, og prisen på 1 kilowatt-time er 50 øre?

$$300 \cdot 1 \cdot \frac{50}{1000} \text{ øre} = 15 \text{ øre.}$$

En watt er den i et lederstykke i 1 sekund forbrugte energi, når strømstyrken er 1 amp., og spændingsforskellen mellem lederstykkets endepunkter er 1 volt. Er strømstyrken  $S$  amp. og spændingsforskellen  $e$  volt, er energiforbruget  $S \cdot e$  watt. En metaltrådslampe i et anlæg på 220 volt kræver en strømstyrke, der beror på lampens lysstyrke; er strømstyrken f. eks.  $\frac{1}{10}$

amp., siger man, at lampen er på  $220 \cdot \frac{1}{10}$  watt (22 watt). Er lampen på 22 normallys, kræver den altså 1 watt pr. normallys, og dette er det almindelige for metaltrådslamper. Man må passe på ikke at forveksle watt-timer og watt; den nævnte lampe på 22 watt kan jo forbruge lige så mange eller få watt-timer, det skal være; det kommer an på, hvor længe den brænder.

Halv wattlampen er kun på  $\frac{1}{2}$  watt pr. normallys og er derfor billig at bruge. Pæren er ikke lufttom, men indeholder en luftart, f. eks. argon. Lysstyrken angives oftest i dekalumen. Spændingsforskellen, energiforbruget og lysstyrken er ofte angivet på lampen. F. eks. 220 volt, 80 watt, 100 dekalumen.

## Elektrisk kraftoverføring

Når energi, der frembringes på eet sted, på en eller anden måde overføres til et andet sted, siger man, at der er sket en *kraftoverføring*. Et eksempel på en sådan overføring har vi i den elektriske sporvogn; på elektricitetsværket frembringes der elektrisk energi, der gennem ledningstrådene føres til sporvognens elektromotor, som kommer i bevægelse og drejer vognens hjul rundt. Der har her efterhånden fundet en række energiomdannelser sted. På elektricitetsværket omdannes – ved forbrænding af kul i dampkedelens fyrsted – kullet kemiske energi til varme, der ved hjælp af dampmaskinen omdannes til bevægelse. Bevægelsesenergien omdannes ved hjælp af dynamoen til elektrisk energi, som ved hjælp af sporvognens motor atter omsættes til bevægelsesenergi.

Den energi, der i et sekund går gennem ledningsnettet, kan sendes enten med høj spænding og lille strømstyrke ( $E, s$ ) eller med lav spænding og stærk strøm ( $e, S$ ), og man har  $Es = es$ .

Når der går en strøm gennem en ledning, opvarmes denne, hvorved en del af den elektriske energi omdannes til varme; *den i et sekund udviklede varmemængde er ligefrem propor-*

*tional med kvadratet på strømstyrken og med modstanden i ledningen (Joules lov).*

Da den i ledningen udviklede varme er spildt energi, gælder det om at gøre varmeudviklingen så lille som muligt; dette kan gøres enten ved at gøre ledningsmodstanden lille (tykke kobberledninger) eller gøre strømstyrken lille; men tykke kobberledninger er kostbare og som følge deraf bliver anlægskapitalen så stor, at kraftoverføringen ikke vil kunne betale sig på lange afstande. Man vælger derfor at sende energien i form af en svag strøm med høj spænding.

Mærk altså:

1. For at ledningerne ikke skal blive for svære, benyttes svage strømmen (med høj spænding).
2. Disse strømmen kan kun frembringes ved vekselstrømmaskiner, fordi en Grammes maskine med høj spænding ville give for store gnister ved fjedrene (side 138).
3. Når den højspændte, svage strøm kommer til forbrugstedet, må den transformeres til stærk strøm (med ringe spænding), fordi lamper og motorer kræver stor strømstyrke.

*Eksempel.* Et elektricitetsværk forsyner en fjernere liggende by med strøm. Fra omtalen af buelampen ved vi, at byens transformatorstation skal nedsætte spændingen til f. eks. 220 volt. Lad os antage, at byen har brug for 5000 ampère. Wattforbruget er altså  $5000 \cdot 220$  watt = 1100000 watt (= 1100 kilowatt). Dette forbrug kan overføres til byen på mange forskellige måder, blot skal  $S \cdot e$  være 1100000 watt; f. eks. kan elektricitetsværket levere 100 ampère med spændingen 11000 volt. Ledningerne mellem værket og byen fører således en strøm, der er 50 gange mindre end den strøm, byen bruger, og da varmeudviklingen i ledningen er ligefrem proportional med strømstyrkens kvadrat, bliver den 2500 gange mindre for samme ledninger. Varmeudviklingen (energitabet) kan altså formindskes og ledningerne gøres tynde, hvorved anlægskapitalen formindskes; de tyndere ledninger bevirker dog, at energitabet ikke bliver 2500 gange mindre.

## Elektriske strømme gennem luft

### Elektronteorien

Når der springer gnister over mellem to legemer, må spændingsforskellen mellem dem være temmelig stor; er spændingsforskellen f. eks. 500 volt, er gnisten kun synlig i mikroskop. På det sted, hvor gnisten viser sig, går der en elektrisk strøm gennem luften; det, der lyser, er dels metaldampe – hvis legemerne er af metal – dels luften.

En elektrisk strøm gennem fortyndet luft viser sig ikke som en gnist, men hele luftmassen lyser. Man ser det i et gejslersk

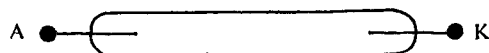


Fig. 146

rør (fig. 146), hvor noget af luften er pumpet ud, så at trykket f. eks. er  $\frac{1}{500}$  atmosfære. I rørets ender er der indsmeltet platintråde, som ender i øskener, der sættes i forbindelse med induktionsapparatets poler. Er der almindelig luft i røret, bliver den rødlig på det sted, hvor strømmen træder ind (ved anoden), blålig i den anden ende (ved katoden). Skønt induktionsapparatet giver vekselstrømme, er strømmen gennem røret dog ensrettet; det ligger i, at den induktionsstrøm, der opstår, når hovedstrømmen afbrydes, har størst elektromotorisk kraft, og kun den er i stand til at sende strøm gennem røret.

I stærkt fortyndet luft skifter udladningen karakter; man plejer at vise det med et rør som fig. 147. På enden af katoden K sidder der en plade af aluminium, på enden af anoden A et kors. Når strømmen går, lyser luften i røret næsten ikke; der-

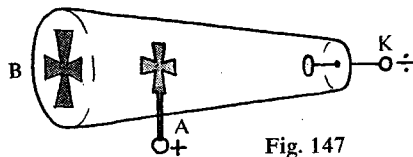


Fig. 147

imod lyser glasset stærkt med grønlig farve særlig ved B. Ved B ser man en skarp skygge af korset. Heraf slutter man, at der fra aluminiumpladen udgår stråler; de kaldes *katodestråler*. Nærmer man en magnet til røret, flytter korsets skygge sig; katodestråler påvirkes af magnetisme, hvad almindeligt lys ikke gør. Katodestrålerne udgår vinkelret fra katoden, de består af små negativ elektriske partikler, der kaldes *negative elektroner* og er identiske med selve den negative elektricitet. En elektron vejer næsten  $10^{23}$  gange mindre end et gramlod og ca. 2000 gange mindre end brintatomet, der er det letteste af alle grundstoffernes atomer. Et positiv eller negativ elektrisk legeme, anbragt nær ved katodestrålerne, vil henholdsvis tiltrække eller frastøde dem, hvad der viser sig ved, at korsets skygge flytter sig.

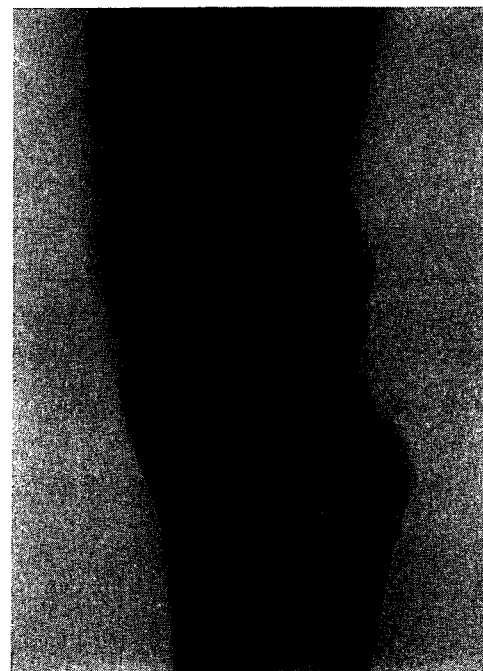


Fig. 148

I modsat retning – hen mod katodepladen – bevæger der sig i røret positiv elektriske småpartikler, positive ioner; er katodepladen gennemhullet, går de positive ioner gennem hullerne ind i rummet bag katodepladen, hvor man på lignende måde som ovenfor kan vise, at de virkelig er positiv elektriske; de positive ioner er ikke identiske med den positive elektricitet, men luftmolekyler, der har mistet elektroner.

Fra det lysende glas (særlig fra den ende, der lyser stærkest) udgår der i luften en anden slags stråler, der kaldes *røntgenstråler*. Når de træffer en papskærm, der er oversmurt med gul bariumplatincyaniür, lyser skærmen med grøn farve. Holder man hånden mellem skærmen og røret, dannes der på skærmen et *skygebillede* af håndens knogler; strålerne går nemlig meget lettere gennem kød end gennem ben. Røntgenstråler går let gennem papir, træ og kød, men i ringe mængde gennem ben og glas; de kan kun gå gennem meget tynde metalplader. Røntgenstråler påvirker en fotografisk plade på lignende måde som lysstråler, så at man kan lave røntgenfotografier. Fig. 148.

Til praktiske anvendelser benyttes særlig konstruerede røntgenrør, et sådant (nu forældet) er vist på fig. 149. Katoden har form som et hulspejl; derved koncentrerer katodestrålerne, disse rammer en metalplade, der er anbragt på anoden. Fra denne metalplade udgår røntgenstrålerne.

Røntgenstrålerne bevæger sig i rette linier ligesom katodestrålerne; men de påvirkes ikke af magneter eller elektrisk ladede legemer. Strålerne er af en ganske anden art end katode-

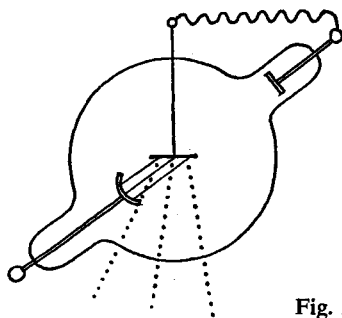


Fig. 149

strålerne, disse består af materielle smådele, elektroner, hinde af elektromagnetiske bølger med lille bølgelængde, (ca.  $10^8$  på 1 mm). De hårde stråler har den mindste bølgelængde.

Røntgenstrålerne har fået stor anvendelse, f. eks. anvender lægerne dem til undersøgelse af benbrud, indvendige svulster o. l.; de meget hårde stråler kan anvendes til påvisning af støbefejl i støbegods, dårlig udført svejsning o. s. v.

*Elektronteorien.* Ethvert atom består af en *positiv elektrisk kerne*, hvorom der kredser negative elektroner; et atoms vægt skyldes næsten udelukkende de positive kerner vægt, da elektronerne er så lette. I et neutralt atom ophæves kernens positive elektricitet af de negative elektroner. Mister atomet en eller flere elektroner, bliver der overskud af positiv elektricitet, og atomet er blevet til en *positiv ion*. Om det neutrale brintatom ved man, at det består af en positiv kerne, omkredset af 1 negativ elektron; bliver denne løsrevet fra atomet, får vi altså en positiv ion, der kun består af brintatoms kerne. Heliumatomet består af en positiv kerne, der indeholder dobbelt så meget positiv elektricitet som brintkernen og omkredsdes af to elektroner; fjernes disse, får vi heliumionen, som altså er identisk med heliumkernen.

Alle andre neutrale grundstofatomer indeholder mere end to elektroner; fjernes de alle eller nogle af dem, er atomet spaltet i negative elektroner og en positiv rest. Man siger, at atomet er *ioniseret*. Man kan ionisere luftarter på forskellig måde:

Den atmosfæriske luft er i almindelighed en isolator; men under visse omstændigheder kan den spaltes i positive og negative ioner. Den ene af de to kondensatorplader (fig. 150) sættes i forbindelse med et elektrometers aluminiumblad og den anden med elektrometerhusets metaldele. Oplades den ene kondensatorplade, vil elektrometret gøre et udslag; men tændes et lille lys mellem de to plader, ophører udslaget; der er da gået en elektrisk strøm mellem pladerne. Luften i mellemrummet er blevet ioniseret af flammen, og det er luftionerne, der i dette tilfælde er elektricitetsbærere.

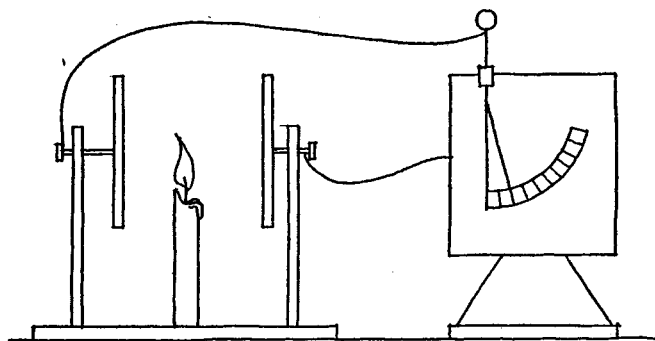


Fig. 150

Røntgenstråler vil ved at gå gennem atmosfærisk luft spalte en mængde ilt- og kvælstofatomer i positive iltioner, positive kvælstofioner og elektroner. Man kan vise dette ved at sende røntgenstråler hen mod et ladet elektroskop; er dette f. eks. positivt elektrisk, går den ioniserede lufts elektroner ind i elektroskopets metalstang og ophæver den positive elektricitet, så at bladene falder sammen.

Vi vil nu nævne, hvad der foregår, når der går en elektrisk strøm gennem en ledning, f. eks. en kobbertråd. De positive kobberkerner flytter sig ikke på grund af strømmen; strømkildens elektromotoriske kraft driver derimod negative elektroner fra den negative pol til den positive. *En elektrisk strøm i en ledning er altså en bevægelse af negative elektroner i modsat retning af den, som vi plejer at kalde strømmens retning.* — Nærmer man en gneden ebonitstang til elektroskopet og sætter fingeren på elektroskopstangen, stødes negative elektroner ned i jorden gennem fingeren; fjerner man nu først fingeren, derpå ebonitstangen, har elektroskopet underskud af negative elektroner og er positivt elektrisk. Ved sammen forsøg, men med en gneden glasstang, trækkes negative elektroner op i knoppen, og negative elektroner fra jorden strømmer ind i elektroskopstangen og dækker underskuddet i stangens nederste ende; fjernes finger og glasstang, er elektroskopet negativt elektrisk. At et legeme er positivt elektrisk betyder altså, at der er under-

skud af negative elektroner; at det er negativt elektrisk betyder, at der er overskud af negative elektroner.

*Audionrøret* (elektronrøret). Man kan frembringe negative elektroner på anden måde end ved røret med korset. Får man således en metaltråd til at gløde ved hjælp af en elektrisk strøm, bryder der negative elektroner ud gennem trådens overflade. Dette kan vises ved følgende forsøg: Til polerne på et batteri på ca. 4 volt (f. eks. to akkumulatorer) fastgøres to kobbertråde, hvis fri ender renses og forbindes med en platintråd ( $\frac{1}{4}$  mm tyk) ved at vikles dennes ender om kobbertrådene; det ca. 2 cm lange stykke af platintråden, der er mellem kobbertrådens ender, gløder. Nærmer den glødende platintråd til et ladet elektroskops knop, falder bladene sammen, fordi der fra platintråden går negative elektroner ud i luften og ioniserer denne, hvorved elektroskopet udlades.

I audionrøret benytter man de fra en glødende tråd udgående elektroner til at transportere elektriciteten.

Audionrøret består af en stærkt udpumpet glasbeholder, som indeholder en glødetråd *K* (katoden), som bringes i glød af batteriet *A*. Desuden er der en anode *P* og et gitter *G* (af metal). Sørger man nu for, at anoden bliver positivt elektrisk, tiltrækker den de ved *K* dannede elektroner, således at der går en elektronstrøm fra *K* gennem gitterets åbninger til *P*. Ved en

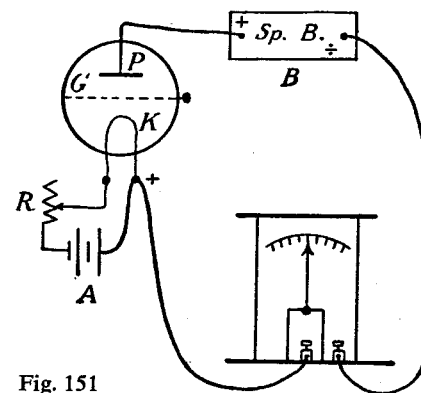


Fig. 151

ændring af 1) *glødetrådens temperatur*, 2) *anodespændingen* eller 3) *gitterspændingen* er man i stand til at ændre anodestrømmen.

Forøges glødetrådens temperatur, udgår der flere elektroner fra denne, og strømmen vokser. Det er dog inden for ret snævre grænser, en sådan forøgelse kan finde sted, da tråden er udsat for at brænde over.

Forøges anodespændingen, trækkes flere elektroner over, og strømmen bliver stærkere i kredsløbet; når alle elektroner, der udgår fra glødetråden, er trukket over, har strømmen nået sin højeste værdi. *Gitteret* har i almindelighed form som en spiral omkring glødetråden. Gitteret har til opgave at spærre for eller fremme elektronernes bevægelse fra katoden til anoden. Gitteret kan gives positiv eller negativ spænding fra en batteri (ikke vist på fig. 151). Er gitteret negativt, vil det frastøde de elektroner, der kommer fra glødetråden, hvorved anodestrømmen svækkes eller måske bliver nul. Ganske vist tiltrækker anoden stadig de negative elektroner; men da gitteret er nærmere ved glødetråden end anoden, vil en ringe negativ spænding på gitteret virke langt stærkere på elektronerne end anoden, der er langt stærkere positiv ladet, men i større afstand. Omvendt vil en ret svag positiv spænding på gitteret virke stærkt på elektronerne, så de farer over mod anoden; nogle indfanges naturligvis af gitteret; men det er kun en ringe brøkdel, fordi gitterets overflade er så lille. Gitterets betydning ligger altså deri, at man med ringe forandring i gitterspændingen kan frembringe store forandringer i anodestrømmen.

Af audionrørets virkemåde fremgår, at det kun tillader elektrisk strøm at gå igennem i een retning. Det kan derfor bruges til at omforme en vekselstrøm til ligestrøm.

## Elektriske udladninger i atmosfæren

På varme sommerdage bliver jorden og luftlaget ved jorden stærkt opvarmet, hvorfor der fremkommer stærke opadstigende luftstrømme. I de højere liggende luftlag er lufttrykket lavt og

temperaturen lav. Vanddampene i luftstrømmen vil fortættes, og der dannes den slags skyer, som kaldes klodeskyer. Hvis skyen er nået i en sådan højde, at temperaturen er omkring  $-10^{\circ}$ , dannes der iskrystaller. Idet vanddråber og iskrystaller begynder at falde, opstår der elektricitet ved gnidning mod luften, og der kan da ske udladninger (lyn) enten inde i skyen, mellem to skyer eller mellem skyen og jorden.

Det der sker ved lynnedslag er meget indviklet, lynet starter som regel midt inde i skyen. Både opad og nedad dannes en forgrenet kanal af luft (ledestrålen), der leder den elektriske strøm. Hvis een af grenene tilfældig kommer ned i retning af jordoverfladen, sker en elektrisk fordeling i jorden, og elektricitet fra jorden slår op mod ledestrålen. De fleste lyn slår i virkeligheden opad og ikke ned.



Fig. 152

Det egentlige lyn varer kun nogle få hundrede tusindele af et sekund og kan have en længde af 2–3 km, undertiden mere.

Den omgivende luft opvarmes til flere tusinde grader. Der foregår en slags eksplosion, hvorved luften med uhyre kraft slynges til siderne i et vældigt brag, vi kalder torden.

For at beskytte en bygning mod lynnedslag kan man slutte bygningen ind i et net af metaltråd med metalspidser foroven, og forneden er nettet sat i forbindelse med et vandførende lag i jorden; selvom maskerne i nettet er meget store, er boligen helt beskyttet. Ting der er helt eller delvis omgivet af metal er beskyttet mod elektriske kræfter.

## Elektriske svingninger

Figur 153 forestiller en elektrisk svingningskreds. Den består af en kondensator  $C$ , en trådrulle  $L$  og et gnistgab  $AB$ .

Oplades kondensatorpladen på en eller anden måde, således at den øverste plade bliver positiv og den nederste negativ, vil der, når tilstrækkelig høj spænding er nået, slå en gnist over mellem  $A$  og  $B$ . Der går da en elektrisk strøm i pilenes retning. Luften mellem  $A$  og  $B$  bliver ioniseret, og modstanden mellem  $A$  og  $B$  bliver da meget ringe. Idet elektriciteten strømmer gennem ledningen, udlades kondensatoren, men oplades atter af den strømmende elektricitet, således at den nederste plade bliver positiv og den øverste negativ. Denne ladning vil give anledning til en strøm i modsat retning. Elektronerne vil svinge frem og tilbage mange gange, idet kondensatorpladerne stadig skifter fortegn. Dette kan man iagttage ved, at en kasse, hvis sideflader består af spejle, sættes i roterende bevægelse foran

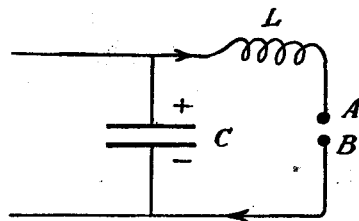


Fig. 153

gnistgabets  $AB$ ; man ser da, at den enkelte gnist opløses i en hel række gnister.

Elektronernes svingningstid er afhængig af kondensatorens størrelse og antallet af vindinger i trådrullen  $L$ .

Svingningerne ophører imidlertid efter kort tids forløb, da den elektriske energi omdannes til varmeenergi i svingningskredsen. Der må derfor stadig tilføres ny elektrisk energi, og dette kan ske ved, at svingningskredsen forbindes med en induktor.

Da den elektriske energi omdannes til varmeenergi, vil svingningerne blive svagere og svagere og til sidst dø hen, man siger, at svingningerne er dæmpede. Fra svingningskredsen udgår i rummet elektromagnetiske bølger med lysets hastighed. ( $3 \cdot 10^{10}$  cm/sek.).

For de bølger, der bruges til trådløs telegrafi og telefoni, varierer bølgelængden fra flere kilometer til ca. 40 cm. Tyskeren Heinrich Hertz påviste, at disse bølger følger de samme love som lysstrålerne; de kan f. eks. kastes tilbage og brydes. Træffer bølgerne en ledningstråd, sætter de elektronerne i denne i svingninger, hvorved der opstår meget svage vekselstrømme, der er en nøjagtig kopi af strømmene i afsenderens svingningskreds.

Da den modtagne elektriske energi er meget ringe, må man benytte meget følsomme modtagerapparater for at kunne modtage de fra afsenderen udsendte signaler.

Betingelsen for, at et modtagerapparat kan optage de fra afsenderen udsendte signaler, er, at det indeholder en svingningskreds, der kan afstemmes efter afsenderens svingningstal. Apparatet (fig. 154) har både afsender og modtager. Afsenderens svingningskreds består af to metalkugler (gniststedet), en trådrulle og en kondensator. Til modtagerens svingningskreds hører en trådrulle og en glimlampe; parallel med lampen er indskudt en drejekondensator. Afsenderens svingningskreds forbindes med en induktor. Sættes induktoren i gang, opstår der elektriske svingninger i kredsen; men lampen lyser ikke, der er altså ikke frembragt svingninger i modtagerkredsen.

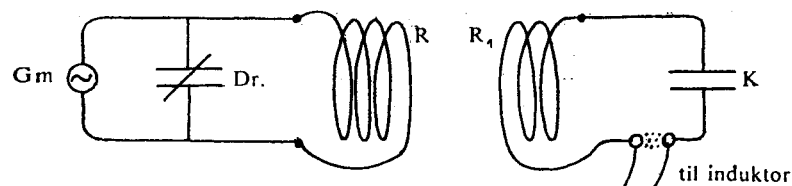


Fig. 154

Drejer vi nu langsomt på kondensatoren, finder vi en stilling, hvor lampen lyser, og de to svingningskredse har da samme svingningstal; de er afstemt til samme bølgelængde. *Svingningstallet er altså afhængig af svingningskredsens kapacitet.* Ombytter vi trådrullen med en anden, der har færre vindinger, må vi dreje kondensatoren således, at den får større kapacitet for at få lampen til at lyse. *En svingningskreds svingningstal og dermed også bølgelængden retter sig efter antallet af vindinger i trådrullen og kondensatorens kapacitet.*

De to svingningskredse siges at være lukkede; fra en lukket svingningskreds er virkningen ud i rummet meget ringe. Skal virkningen mærkes på store afstande, må svingningskredsene være åbne, dette opnås ved at indskyde antenner i kredsene. Antennen består som regel af en vandret metaltråd, der føres ned til svingningskredsen og derfra til jord. Hvis der til hver af de to trådruller  $R$  og  $R_1$  (fig. 154) kobles en antenne på ca.  $\frac{1}{2}$  m uden jordforbindelse, kan virkningen mærkes i en afstand på et par meter.

**Modtagerapparatet.** Som allerede nævnt gælder det om at opfange de elektromagnetiske bølger ved hjælp af en *modtager*. En sådan modtager består af en antenne og et audionrør. Antennen er koblet til gitteret, og til anodekredsen er koblet en telefon eller en højttaler (fig. 155). (Svingningskredsen er imidlertid langt mere indviklet, men det kan vi ikke komme ind på her).

Ved hjælp af en drejekondensator og en variabel trådrulle (spole) kan modtagerens svingningskreds afstemmes efter senderens. Når bølgetoget rammer modtagerens antenne, sættes

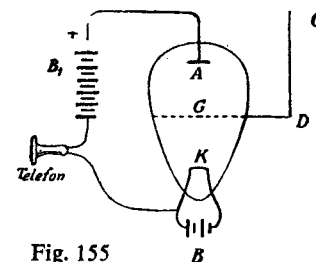


Fig. 155

elektronerne i denne i svingninger, hvorved gitterets spænding varierer og dermed også anodestrømmen. Da audionrøret kun tillader, at der går strøm i een retning, vil strømmen i anodekredsen være ensrettet.

De elektromagnetiske bølger har imidlertid et meget højt svingningstal, hvorfor variationerne i anodestrømmen vil foregå så hurtigt, at telefonmembranen ikke vil kunne følge med. Ved særlige anordninger må svingningstallet derfor sættes ned. Telefonmembranen vil da svinge i takt med mikrofonmembranen, men med et svingningstal så lavt, at svingningerne kan opfattes af øret.

De bølger, der frembringes ved hjælp af en gnistinduktor, kan ikke bruges i telefoni, fordi der er lange døde mellemrum. Ved hjælp af audionrør er man imidlertid i stand til at frembringe en uafbrudt række af ens svingninger (kontinuerte bølger). I afsenderstationens svingningskreds indsættes en mikrofon; taler man så i mikrofonen, forandres modstanden i denne, og derved forandres både svingningstallet og styrken i de udsendte bølger i overensstemmelse med mikrofonmembranens svingninger. Tilsvarende ændringer vil da opstå i modtagerapparatets svingningskreds, hvorfor telefonen vil gengive, hvad der tales i mikrofonen.



# LYSLÆRE

## Skyggedannelse

Falder der sollys ind gennem et vindue eller et nøglehul, belyses støvpartiklerne i luften, og vi ser, at *lyset bevæger sig efter rette linier*.

Når et i sig selv mørkt legeme er synligt for os, kan det ligge i, at lysstrålerne fra et selvlysende legeme, f. eks. solen eller en lampe, træffer det mørke legeme og kastes tilbage fra det. Men det i sig selv mørke legeme kan så igen kaste lys på andre mørke legemer og gøre dem synlige. Således forholder det sig f. eks. med månen, der tilbagekaster solens lys og derfor kommer til at forholde sig, som om den var selvlysende. I en stue, hvor der ikke falder sollys direkte ind, belyses tingene af solstrålerne, der kastes ind i stuen fra en mur, fra træer eller fra luften uden for stuen, idet luftdelene ligeledes tilbagekaster sollys; de forskellige ting i stuen belyser desuden hverandre gensidig.

Når solstrålerne rammer en ting, f. eks. en stolpe, standses strålerne af stolpen og trænger ikke ind i rummet bag den; stolpen kaster en *skygge*. Ser vi nærmere på denne, viser det sig, at den er lysere i randen; den mørke del kaldes *slagskyggen* eller kerneskyggen, den lysere *halvskyggen*. På figuren forestiller *AB* et stykke af jordens overflade, *CD* er stolpen. Til solen *S*, der sidder langt borte til venstre, trækker vi tangenterne fra *C* og forlænger dem til de skærer jorden i *E* og *B*;  $\angle v = \angle BCE$ . Solens synsvinkel er  $\frac{1}{2}^\circ$ , hvor på jorden vi end opholder os. Rummet *CDE* er stolpens slagskygge, og i dette rum kan ingen solstråle trænge ind direkte fra solen, men nok fra genstande eller fra luften til højre for stolpen, hvorfor slagskyggen ikke er helt sort. Stolpens slagskygge ses på jorden fra *D* til *E*, mens *EB* bliver halvskygge. Betragter vi nemlig punk-

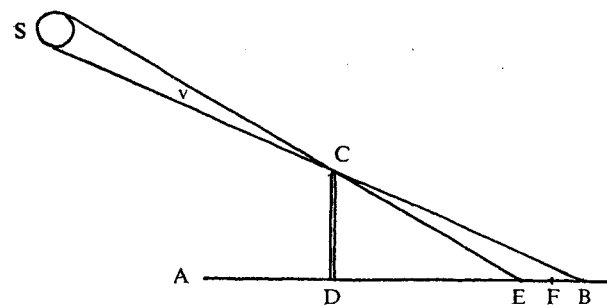


Fig. 156

tet *F* og trækker en ret linie fra *F* gennem *C* til solen, ser vi, at solens øverste del belyser *B*. På samme måde ser vi let, at alle punkter mellem *E* og *B* belyses af en del af solen, og jo længere punktet ligger hen mod *B*, jo større del af solen sender lys til punktet, så at *halvskyggen bliver lysere og lysere ud mod randen*.

Var stolpen *CD* lavere, ser vi ved at tegne de samme linier som før, at halvskyggen *EB* bliver smallere, skyggen altså skarpere. *Jo nærmere en skygge giver er ved den flade, hvorpå dens skygge ses, jo smallere er halvskyggen, jo skarpere altså slagskyggen*.

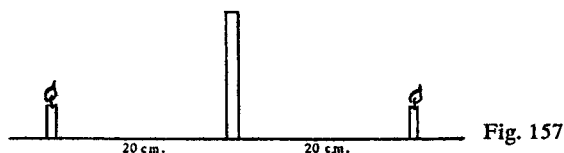
Det er ikke alene stolpens øverste del, der kaster halvskygge, ethvert punkt ned langs stolpens sider forholder sig på samme måde, så at hele slagskyggen er omgivet af en halvskygge og skarpest forneden.

Spiler vi fingrene ud og lader håndens skygge danne sig på en solbelyst væg eller på et stykke papir, der belyses af en lampe, ser vi på samme måde fingrenes slagskygge omgivet af en halvskygge, som svinder mere og mere ind, når vi nærmer hånden til væggen eller papiret.

På fig. 156 kan vi se, at skyggen af stolpen bliver desto kortere, jo højere solen er oppe på himlen; ved middagstid er skyggen altså kortest, mens den henad solnedgang bliver meget lang.

## Lysets tilbagekastning

Når lysstråler træffer en glasplade, går de fleste gennem den, nogle kastes tilbage. Stiller vi et tændt stearinlys foran en glasplade og holder øjet på samme side af pladen, ser vi to (eller flere) spejlbilleder af lyset. Det forreste er det tydeligste og



fremkommer ved lysets tilbagekastning fra glaspladens forreste flade, det næste fremkommer ved lysets tilbagekastning fra den bageste flade (de øvrige ved gentagen tilbagekastning mellem de to flader). Stil glaspladen lodret på en målestok, således at den forreste flade f. eks. står på mærket 20 cm, sæt et tændt lys, der kun er nogle få cm højt, lidt foran glaspladen, anbring et utændt lys midt i det forreste spejlbillede og mål afstanden fra glassets forreste flade til lysets midte og til billedets midte; forsøget viser, at *spejlbilledet dannes lige så langt bag den spejlende flade, som lyset står foran den*.

Fig. 158 viser gangen af de stråler, som udgår fra lyset  $L$  og efter tilbagekastningen fra den spejlende flade  $SS$  går ind i øjet, som om de kom fra billedet  $B$ .  $LB$  er vinkelret på  $SS$  og  $LE = EB$ . Da strålerne i virkeligheden ikke udgår fra  $B$ , kaldes billedet *indbildt*.

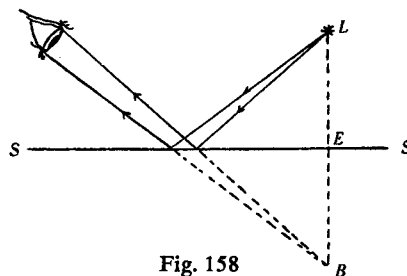


Fig. 158

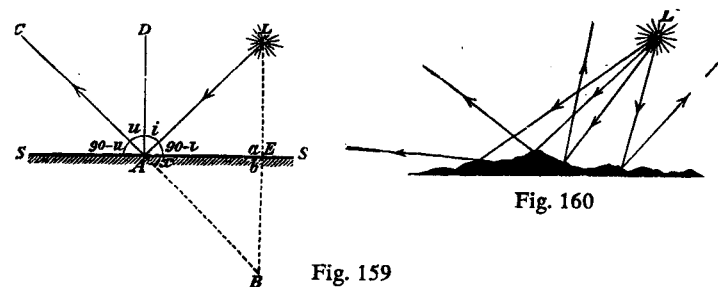


Fig. 159

Fig. 160

Et almindeligt spejl består af en glasplade, som på bagsiden er belagt med sølv. Da næsten alt lys kastes tilbage fra sølvet, bliver billedet meget tydeligt. Holder vi et tændt lys foran et spejl, ser vi to billeder, et tydeligt og et utydeligt.

Det utydelige skyldes tilbagekastning fra glassets forside. Hvilket af disse billeder ligger længst bag ved spejlet?

$LA$  er en af de stråler, som udgår fra lyset,  $AC$  den tilbagekastede stråle.  $B$  er billedet,  $SS$  den spejlende flade, som står vinkelret på spejlet; linien  $DA$  er tegnet vinkelret på  $SS$ , den kaldes *indfaldsloddet*,  $i$  kaldes *indfaldsvinkel*,  $u$  *udfaldsvinkel*. Drejes  $\triangle ALE$  om  $AE$ , dækker den  $\triangle ABE$ , da  $LE = EB$  og  $\angle a = \angle b = 90^\circ$ ; altså er  $\angle 90 - i = \angle x$ . Da desuden  $\angle 90 - u = \angle x$  (topvinkler), har vi  $90 - u = 90 - i$ , eller  $u = i$ . *Indfaldsvinkel og udfaldsvinkel er lige store; den indfaldende stråle, den tilbagekastede stråle og indfaldsloddet ligger i samme plan.*

Når man står lidt fra bredden af en dam, kan man se ting på den anden side af dammen spejle sig i vandoverfladen, men ikke ting på samme side; hvorfor?

Ting kan ikke spejle sig i en ru overflade. Fig. 160 viser, at de stråler, som udgår fra  $L$ , ikke kastes tilbage, som om de kom fra samme punkt.

Betingelsen for spejling er altså, at stråler, der kommer fra samme punkt, efter tilbagekastningen har en sådan retning, at de forlænget baglæns skærer hverandre i samme punkt.

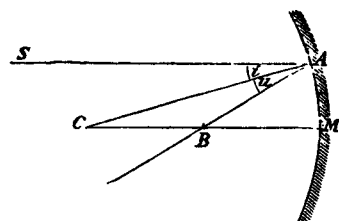


Fig. 161

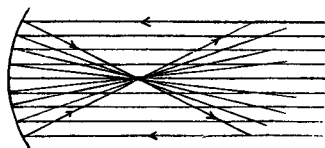


Fig. 162

Tegningen viser et *hulspejl*; det har form som en del af en kugleflade. Den linie, der går gennem spejlets midtpunkt *M* og kuglefladens centrum *C*, kaldes *aksen*. *SA* er en stråle, der falder ind parallel med akse. Radius *CA* er indfaldslod; strålen kastes tilbage i retningen *AB*, således at  $\angle i = \angle u$ . *CB* er lidt større end  $\frac{r}{2}$ . Alle stråler, der falder ind parallelle med hulspejlets akse går efter tilbagekastningen gennem et punkt af akse, der ligger omtrent midt mellem hulspejlet og centrum. *B* kaldes *brændpunktet*. *MB* *brændvidden*. Et plan gennem brændpunktet vinkelret på akse kaldes *brændplanet*. Vendes hulspejlet mod solen, er de stråler, som rammer spejlet, omtrent parallelle med akse. Fig. 162 viser strålernes gang før og efter tilbagekastningen. Holder vi et stykke papir i brændpunktet, ser vi en lysende plet på papiret; har vi i forvejen sværtet papiret med blæk, går der let ild i det.

Udgår der en stråle *BA* fra brændpunktet (fig. 161), bliver *u* indfaldsvinkel, *i* udfaldsvinkel. Anbringer man altså et lys i hulspejlets brændpunkt, kastes strålerne ud parallelle med akse. På denne måde anvendes hulspejle tit, f. eks. foran på lokomotiver og i fyrstårne.

Tegn de tilbagekastede strålernes retning, når lyset stilles inden for brændpunktet.

## Lysets brydning

Vi lægger en mønt på bunden af en skål og holder øjet således, at vi lige skimter randen af mønten. Hælder vi nu vand i skålen, bliver mønten synlig; både den og karrets bund synes at være nærmere ved vandets overflade, end de i virkeligheden er. Grunden er den, at *lysstråler skifter retning, når de går fra et stof over i et andet*. Tegningen viser strålernes gang fra et punkt af mønten til øjet. De går ind i øjet, som om de kom fra et højere liggende punkt; billedet er *indbildt*.

Stikker man et penneskift skråt ned i vand, ser det ud, som om penneskiftet var brækket lige ved vandoverfladen; hvorfor?

Strålen *CcD* (fig. 164) går fra luften (*A*) ned i vand eller glas (*B*); ved *c* skifter den retning. Den punkterede linie er indfaldslod,  $\angle i$  er indfaldsvinklen,  $\angle b$  kaldes *brydningsvinklen*. Når en stråle går fra luft til vand eller glas, er brydningsvinklen mindre end indfaldsvinklen; omvendt, hvis strålen går fra vand eller glas til luft. Kommer der en stråle (*Dc*) fra vandet eller glasset, går den ud i luften i retningen *cC*; nu er *b* indfaldsvinkel, *i* brydningsvinkel. En stråle, der træffer vinkelret på overfladen, brydes ikke.

Når en stråle går gennem en glasplade, der er begrænset af to parallelle flader (f. eks. *rudeglas*), brydes den, både når den går ind i glasset, og når den igen går ud i luften. Tegningen (fig. 165) viser gangen af en stråle, som kommer fra *A*; den går ind i øjet, som om den kom fra *A<sub>1</sub>*. *AB* er parallel med *A<sub>1</sub>C*. Ser man på skrå gennem en rude, ses genstande på den anden side af ruden forskudt lidt fra deres virkelige plads.

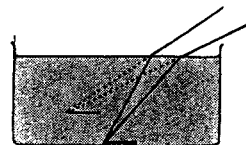


Fig. 163

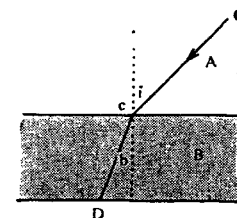


Fig. 164

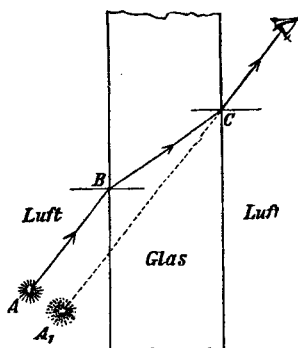


Fig. 165

Når vi tegner glaspladen tyndere og gør indfaldsvinklen ved  $B$  mindre, ser vi, at forskydningen bliver mindre; er indfaldsvinklen lille, er forskydningen umærkelig. Der gælder derfor følgende regel, som vi senere tit får brug for: *Når en stråle falder omtrent vinkelret ind på en tynd glasplade, der er begrænset af parallelle flader, går strålerne ubrudt gennem glaspladen.*

Fig. 166 viser en stråles gang gennem et glasprisme  $\angle i > \angle b$ ,  $\angle i_1 < \angle b_1$ . Skæringslinien mellem de to flader, gennem hvilke strålen træder ind i prismet og går ud af det, kaldes *prismets brydende kant*; af figuren ses, at strålen brydes bort fra den brydende kant.

På fig. 167 forestiller  $S$  et strålepunkt, som sender lys til et prisme. Strålerne fra  $S$  forandrer retning, når de træder ind i

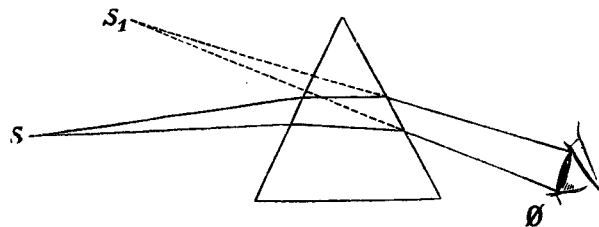


Fig. 167

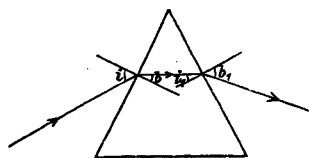


Fig. 166

prismet, og når de forandrer det. De stråler, der træder ind i øjet  $\emptyset$ , har retning, som om de udgik fra punktet  $S_1$ , hvor øjet altså ser et indbildt billede af  $S$ .

## Linser

En linse er en rund glasskive, hvis to sideflader er dele af kugleflader. Er linsen tykkest på midten, kaldes den en *samlelinse* (1 på tegningen); er den tyndest på midten, kaldes den en *spredelinse* (2). Den linie ( $AB$ ), som går gennem kuglefladernes centre, kaldes *aksen*.

Lader vi solstrålerne træffe en samlelinse, således at de er parallelle med linsens akse, brydes de både på det sted, hvor de træder ind i glasset, og hvor de træder ud. Efter brydningen krydser de hverandre i et punkt  $b$  på akse, således som fig. 169 viser. Holder vi her et stykke papir, ser vi en lys plet på papiret, og efter kort tids forløb går der ild i det. *Stråler, der er parallelle med samlelinsens akse, skærer alle efter brydningen akse i samme punkt, som kaldes brændpunktet. Dets afstand fra linsen kaldes brændvidden.* Linsen har to brændpunkter, eet på hver side; de to brændvidder er lige store.

Stråler, der kommer fra brændpunktet, er efter brydningen parallelle med akse.

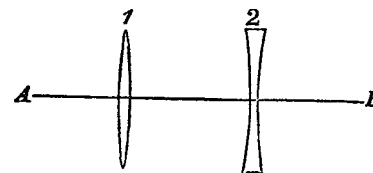


Fig. 168

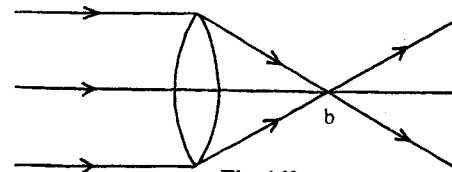


Fig. 169

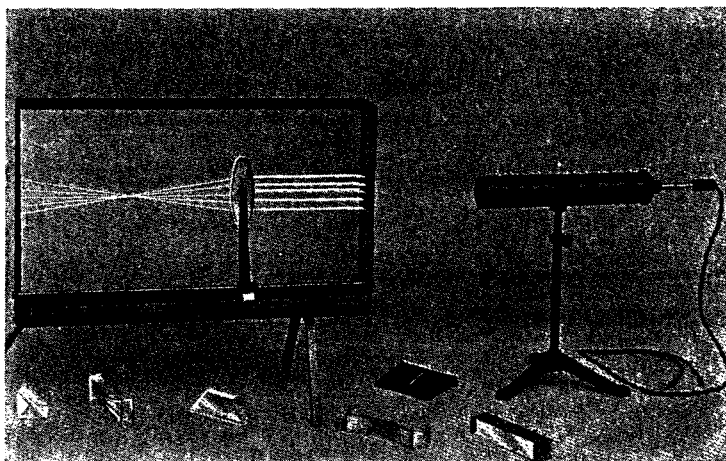


Fig. 170

*Jo stærkere linsen er krummet, desto mere brydes strålerne, desto mindre er altså brændvidden.*

Alle grundforsøgene over tilbagekastning og brydning udføres bedst med et optisk universalapparat som hosstående tegning (fig. 170).

## Billeddannelse ved linser

Stil et tændt stearinlys på den ene side af en samlelinse i en afstand, der er større end brændvidden, og før en skærm frem og tilbage på den anden side linsen. Vi ser, at der dannes et omvendt billede af flammen på skærmen, når den holdes i en bestemt afstand. Flytter vi lyset, dannes billedet et andet sted og har en anden størrelse.

Tegningen viser strålernes gang fra lysets øverste punkt  $L$  til det tilsvarende punkt  $L_1$  af billedet; alle de stråler fra  $L$ , der træffer linsen, krydser efter brydningen hverandre i  $L_1$ ;  $b$  og  $b_1$  er linsens brændpunkter. Punktet  $L_1$  kan konstrueres på følgende måde:

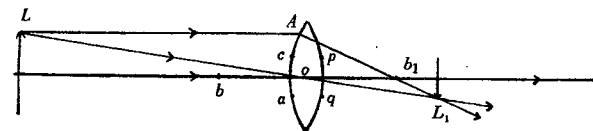


Fig. 171

I. Strålen  $LA$  trækkes parallel med akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet  $b_1$ . Strålen brydes egentlig på to steder; ved konstruktionen er vi nødt til at tænke os den brudt kun på eet sted, f. eks. ved linsens forreste flade. Den fejl, der herved fremkommer på tegningen, er meget lille.

II. Da de små flader  $a c$  og  $p q$  omtrent er plane, kan linsens midterste del  $a c p q$  betragtes som et stykke rudeglas (vi må tænke os  $a c$  og  $p q$  meget mindre end på tegningen). Når  $O$  er det punkt af akse, som ligger midt mellem linsefladerne, går strålen  $LO$  gennem linsen uden at brydes (se side 174).

Punktet  $L_1$  er skæringspunktet mellem forlængelsen af  $LO$  og  $Ab_1$ .

Fra hvert punkt af flammen udgår der stråler, som efter brydningen krydser hverandre i det tilsvarende punkt af billedet. Holder vi derfor øjet til højre for billedet, går der fra billedets forskellige punkter stråler ind i øjet, som om billedet var en virkelig genstand, der udsender stråler (dog kun til højre); vi kan se billedet svæve frit i luften. Holder vi en skærm der, hvor billedet er, kastes strålerne tilbage mod venstre; vi må nu holde øjet til venstre for skærmen for at se billedet. Da strålerne virkelig udgår fra billedet, kaldes det *virkeligt*.

Holder vi linsen op mod solen og finder brændpunktet ved hjælp af et stykke papir, kan vi måle brændvidden. Opfanger vi på papiret billeder af genstand uden for stuen og måler afstanden fra linsen til billedet, ser vi, at *billedet af fjerne genstande dannes i en afstand fra linsen, der er lig brændvidden*.

Foruden brændpunkterne får vi tit brug for de to punkter  $B$  og  $B_1$ , der ligger i linsens akse dobbelt så langt fra linsen som brændpunkterne.



Fig. 172

Vi bruger nu igen lyset som genstand og begynder med at stille det langt fra linsen. Ved at nærme lyset mere og mere ser vi, at der gælder følgende regler. Vi tænker os, at genstanden fra først af er langt til venstre (fig. 172).

I. Når genstanden nærmes til B, flytter billedet sig fra  $b_1$  hen mod  $B_1$  og vokser i størrelse, men er stadig mindre end genstanden.

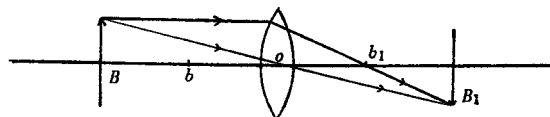


Fig. 173

II. Når genstanden kommer til B, dannes billedet ved  $B_1$  og er lige så stort som genstanden. (Genstand og billede ligger nu lige langt fra linsen).

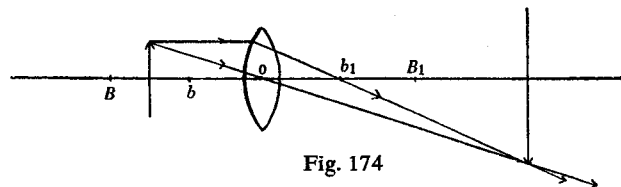


Fig. 174

III. Når genstanden flyttes fra B hen imod b, fjerner billedet sig hurtigt fra  $B_1$  til højre og vokser i størrelse; det er større end genstanden.

IV. Billedet er omvendt og virkeligt.

Når genstanden kommer til b, er billedet uendeligt langt borte og uendeligt stort, d. v. s. der dannes intet billede.

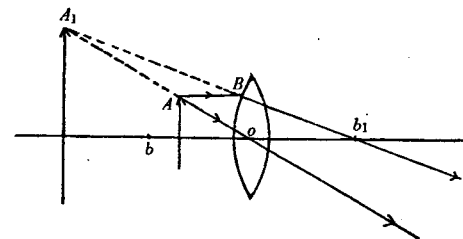


Fig. 175

At disse regler stemmer med konstruktionen, kan vi overbevise os om ved at tegne en genstand i forskellige afstande fra linsen og konstruere billedet:

Eksempel 1.

Genstandens afstand er dobbelt så stor som brændvidden.

Eksempel 2.

Genstanden ligger mellem B og b.

Når en samlelinse bruges som lup, skal genstanden ligge inden for brændpunktet. Tegningen viser gangen af de stråler, som udgår fra genstandens øverste punkt A. Fig. 175. Efter brydningen går de til højre, som om de kom fra punktet  $A_1$ . For at konstruere  $A_1$  tegner vi strålen AB parallel med linsens akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet  $b_1$ . Strålen AO går ubrudt gennem linsens midte. Forlænges AO og  $Bb_1$  til venstre, skærer de hinanden i  $A_1$ .

Ligger genstanden inden for brændpunktet, dannes der et indbildt, opret, forstørret billede. En stærkt krummet linse forstørrer mest.

På hvilken side af linsen skal man holde øjet for at se billedet?

Flytter vi lupen, forandres genstandens afstand fra denne og dermed også billedets beliggenhed. Når vi vil se billedet skarpt uden at anstrenge øjet, må afstanden fra øjet til billedet have en bestemt størrelse, som kaldes den tydelige synsvidde.

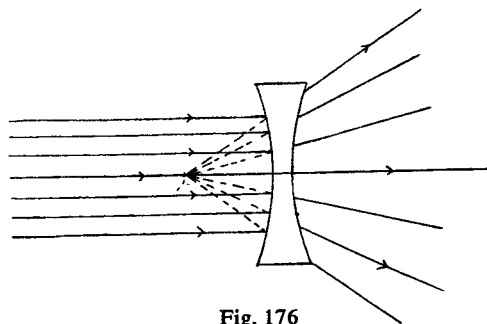


Fig. 176

**Spredelinse.** Ser vi på en ting gennem en spredelinse, er billedet altid formindsket, opret og indbildt; det kan altså ikke opfanges på en skærm. Tegningen viser gangen af stråler, som er parallelle med linsens akse. Efter brydningen spredes strålerne bort fra akse, som om de kom fra punktet *b*; *b* kaldes brændpunktet, det er indbildt. Kan der gå ild i stykke papir, som holdes i brændpunktet, hvis vi holder spredelinse op mod solen?

## Linsens anvendelse

**Fotografiapparatet og lysbilledapparatet.** Fotografiapparatet er en kasse, hvis ene væg er en matsleben glasplade. I den modsatte væg er der anbragt et rør med en samlelinse, som skydes frem og tilbage, indtil billedet af den ting, der skal fotograferes står skarpt på glaspladen. Denne erstattes nu med den fotografiske plade, som er overtrukket med bromsølv og påvirkes af lysstrålerne.

I et lysbilledapparat anbringes genstanden i en afstand fra linsen, der er lidt større end brændvidden. Der dannes da et omvendt, forstørret, virkeligt billede, som opfanges på en skærm. Genstanden er ofte en glasplade, hvorpå der er malet figurer; de må anbringes på hovedet, for at billedet kan blive opret, og belyses stærkt, for at billedet ikke skal blive for mørkt.

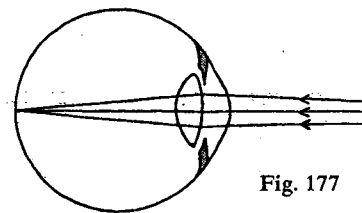


Fig. 177

**Øjet.** Øjet kan sammenlignes med et fotografiapparat.

Det lys, der træder ind i øjet, brydes både af hornhinden og af linsen, og når vi ser på en genstand, skal der dannes et billede af den på øjets baggrund. Vi vil tænke os, at vi først ser på en fjern genstand, og at billedet netop dannes på øjets baggrund. Ser vi nu på en nærmere genstand, dannes billedet af denne længere borte fra linsen, det vil sige bag øjet. Hvis linsen var uforanderlig, kunne øjet altså kun se fjerne genstande. Ved hjælp af de muskler, der bærer linsen er vi imidlertid i stand til at gøre den mere krum eller mere flad. Hvis vi i det omtalte tilfælde gør linsen mere krum, rykker dens brændpunkt nærmere hen til den. Billedet rykker med, og vi kan sørge for, at det netop dannes på øjets baggrund. Denne evne til at forøge øjelinsens krumning kaldes *akkomodations-evnen*.

Det er mindst trættende at se på ting, der er i en vis afstand fra øjet. Denne afstand kaldes som før nævnt *den tydelige synsvidde*; den er omtrent 25 cm for et normalt øje.

**Briller.** *A* og *B* er to samlelinser med fælles akse. *A* rammes af stråler, der er parallelle med akse; de ville krydse hverandre i *A*'s brændpunkt *b*, hvis *B* ikke var der. *B* samler strålerne mere, så at de krydser hverandre i *c*. *To samlelinser*,

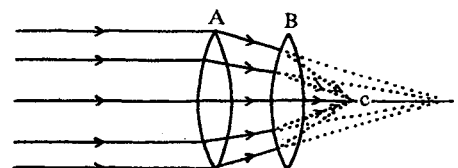


Fig. 178

der er nær ved hinanden, forholder sig som én samlelinse med kort brændvidde.

Erstatter vi  $B$  med svagt buet spredelinse spreder den strålerne lidt, så at de først krydser hverandre i et punkt, der ligger til højre for  $b$ . En samlelinse og en svagt buet spredelinse forholder sig som én samlelinse med en brændvidde, der er større end samlelinsens.

Nærsynede folks linse er for stærkt krummet, eller, hvad der er almindeligst, øjeaksen i vandret retning for lang; dens brændvidde er så kort, at billedet af fjerne genstande dannes foran øjets baggrund. For at få brændvidden længere må de bruge briller, hvis glas er spredelinses.

Langsynethed (gammelmandssyn) skyldes, at linsen med alderen har mistet noget af evnen til at akkomodere, hvorfor billedet af nære genstande dannes bag øjets baggrund. For at få brændvidden kortere, må der bruges briller, hvis glas er samlelinser.

Øvelse. Prøv formlerne  $\frac{1}{p} = \frac{1}{p_1} \pm \frac{1}{p_2}$ , hvor  $p_1$  og  $p_2$  er to samlelinsers brændvidder,  $-p_2$ , en spredelinses brændvidde. Sæt linserne tæt sammen under forsøget.

Den astronomiske kikkert. Når vi ser en genstand, f. eks. et træ, danner de to linier fra øjet til træets fod og top en vinkel, som kaldes genstandens synsvinkel; og jo nærmere man kommer til træet jo større synes man, at træet er. Kikkerten er et apparat, der tjener til at gøre synsvinklen større.

Den astronomiske kikkert består af to samlelinser,  $O$  og  $o$ , der er anbragt i enderne af et rør.  $O$  er en flad linse med stor brændvidde; den kaldes *objektivet*. Den danner et omvendt, formindsket, virkeligt billede ( $A_1 B_1$ ) af den fjerne genstand; det ligger i en afstand fra objektivet, der er lig dettes brændvidde.

Om billedet  $A_1 B_1$  ved vi, at det forholder sig som en virkelig genstand, der sender stråler til højre; det kan derfor forstørres ved hjælp af en lup ( $o$ ), der kaldes *okularet*.  $A_1 B_1$  må

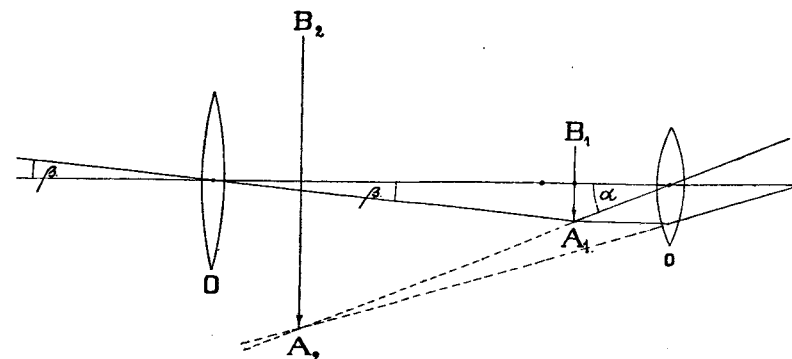


Fig. 179

ligge inden for okulalets brændpunkt. Efter brydningen i okulalet går strålerne til højre, som om de kom fra  $A_2 B_2$ . Afstanden fra øjet til  $A_2 B_2$  skal være lig den tydelige synsvidde; for at man kan opnå dette, er okulalet til at skyde frem og tilbage.

Hvorledes billedet konstrueres, fremgår af fig. 179.

Følg en vilkårlig stråle fra genstanden gennem  $A_1$  indtil den skærer okulalet, og find derefter dens retning efter brydningen.

Vinkel  $\beta$  er den fjerne genstands halve synsvinkel og  $\alpha$  den halve synsvinkel, hvorunder genstanden ses i kikkerten.

Da man i denne kikkert ser tingene omvendt, egner den sig kun til astronomisk brug. Den er opfundet af Kepler i året 1611.

## Newton's forsøg

I året 1704 offentliggjorde englænderen Newton følgende forsøg: I et mørkt værelse lod han et tyndt bundt stråler falde ind gennem et hul i væggen; de dannede en lille hvid plet på en med hvidt papir overtrukken skærm, som stod lige ud for hullet. Lod han strålerne træffe et glasprisme, brødes de opad; men i stedet for at se en hvid plet så han en aflang, farvet plet, som var rød forneden, violet foroven; farverne følger



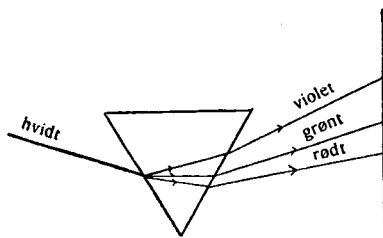


Fig. 180

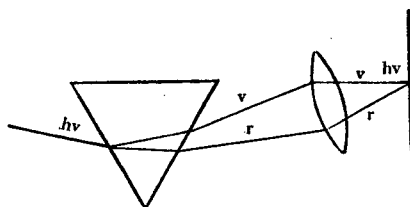


Fig. 181

efter hinanden i følgende orden: rødt, gult, grønt, blåt og violet. Den aflange plet kaldes et *solspektrum*.

Fig. 180 viser, hvorledes en hvid stråle spaltes af prismet.

Newtons forsøg viser, at *det hvide sollys indeholder stråler med forskellig farve og forskellig brydbarhed*; de kaldes røde stråler, gule stråler o. s. v. *De røde stråler brydes mindst, de violette mest*. De røde stråler brydes ikke alle lige meget og har ikke samme røde farve: *til en bestemt brydbarhed svarer en bestemt farve*. Det samme gælder for gult, grønt o. s. v.; *det hvide sollys indeholder altså uendelig mange farver*. Ved hjælp af en samlelinse mellem prismet og skærmen kan man atter samle strålerne til hvidt lys. Fig. 181 viser, hvorledes dette kan gøres.

## Farver

Vi kan efterligne Newtons forsøg ved at holde et glasprisme i et vindue, hvor der falder sollys ind. Ved at dreje prismet kan vi få spektret til at falde på loftet, på væggen eller på en

skærm, og blæser vi tobaksrøg ind mellem prismet og skærmen, bliver strålernes vej synlig. Holder vi et rødt glas foran prismet, forsvinder alle farverne undtagen den røde; rødt glas lader de røde stråler slippe igennem, men tilbageholder omtrent alle de andre. Holder vi et grønt glas foran prismet, bliver der kun grønt og noget rødt tilbage af spektret; glassets grønne farve er altså sammensat af grønt og noget rødt. *Et gennemsigtigt legemes farve beror på, hvilke stråler der kan gå gennem legemet*.

Når en uigennemsigtig ting, f. eks. en væg, er rød, tilbagekaster den de fleste røde stråler, men kun få af de andre. Er væggen brun, tilbagekaster den stråler af forskellig farve, som tilsammen danner væggens brune farve. En hvid ting tilbagekaster næsten alle lysstråler, en sort ting tilbagekaster næsten ingen. Grå genstande tilbagekaster omtrent lige meget af alle farver; tilbagekaster de lidt lys, er de mørkegrå, tilbagekaster de meget, er de lysegrå. *Uigennemsigtige legemer, der ikke er selvlysende, bliver synlige ved, at de tilbagekaster noget af det lys, der rammer dem. Legemets farve beror på, hvilke stråler det er i stand til at tilbagekaste*.

*En tings farve må desuden bero på beskaffenheden af det lys, der belyser tingen*. En tændt lampe udsender mange røde, gule og grønne stråler, særlig gule, men kun få blå og violette. Mørkeblåt tøj, som næsten kun kan tilbagekaste blå stråler, bliver sort ved lampelys, fordi dette næsten ingen blå stråler indeholder. Andre blå farver kan foruden blå tilbagekaste grønt i nogenlunde rigelig mængde; blå tøj kan derfor blive grønligt ved lampelys.

Når solen står op og går ned, er himlen rød, hvis der er mange vanddampe i luften; vanddampene lader sollysets røde stråler slippe igennem, men standser de fleste andre.

Af det sollys, der træffer jorden, kastes en del tilbage op i luften. Af det tilbagekastede lys kaster luften atter noget, særlig det blå, tilbage mod jorden; derfor er himlen blå.

## Strålevarme

*Lyse varmemstråler.* I solskin kan man mærke, at lysstråler varmer; går der en sky for solen, forsvinder varmen straks. Luften mellem skyen og jorden er ikke blevet opvarmet ved ledning, da ellers luften, som er en slet varmeleder, måtte holde sig varm i nogen tid. *Da lysstrålerne kan varme, kaldes de også varmemstråler;* de opvarmer ikke et legeme, når de kastes tilbage fra det eller går gennem det, men kun, når de bliver i det. I så fald siger man, at de *indsuges*.

Binder man et stykke sort tøj om beholderen på et termometer og hænger det i sollys, stiger det mere, end hvis man binder hvidt tøj om beholderen. Det hvide tøj tilbagekaster omtrent alle lysstrålerne; de kan altså ikke opvarme tøjet ret meget. Det sorte tøj *indsuger næsten alle lysstrålerne og bliver stærkt opvarmet. Om en ting opvarmes lidt eller meget af lysstråler, beror på tingens farve.* Hvorfor går man helst med lyst tøj om sommeren, hvorfor males tagene hvide på slagterier, og hvorfor maler man husets gavl sort, når der skal vokse frugttræer op ad den?

*Mørke varmemstråler.* Stiller man sig nær ved en meget varm kakkelovn, mærker man en hed, stikkende fornemmelse i huden; anbringer man en skærm mellem ansigtet og kakkelovnen, forsvinder denne fornemmelse straks, så at luften heller ikke er opvarmet i dette tilfælde; kakkelovnen udsender altså også varmemstråler. Skærmen kan godt være af glas, varmemstrålerne standses alligevel. *De varmemstråler, der udgår fra legemer, som ikke er selvlysende, kaldes mørke varmemstråler. De går gennem luften ligesom lysstrålerne, men kan næsten ikke gå gennem glas.* De kastes tilbage fra blanke metalflader ligesom lysstråler; kakkelovnsskærme overtrækkes derfor tit med stanniol på den side, der vender ind mod kakkelovnen.

De overflader, som kun i ringe grad *indsuger mørke varmemstråler*, – altså især blanke metalflader – *udstråler også kun mørke varmemstråler i ringe grad, mens de overflader – særlig ru overflader – der indsuger mørke varmemstråler godt, også*

*udstråler dem godt.* Et varmt legeme, der er beklædt med en blank, glat metalflade, f. eks. stanniol, afkøles altså langsomt, ligesom man ikke mærker nær så meget til strålevarmen fra en porcelænsovn som fra en ru og mørk jernkakkelovn.

Man har fundet, at der i spektret er *usynlige* stråler både uden for den røde og den violette ende; de kaldes *ultrarøde og ultraviolette stråler*. De ultrarøde stråler brydes mindre end lysstrålerne; de har kun svage kemiske virkninger, men varmer stærkt; det er dem, vi hidtil har kaldt mørke varmemstråler. De ultraviolette stråler brydes stærkere end lysstrålerne; de har stærke kemiske virkninger, men varmer kun lidt.

Opvarmer man et legeme, f. eks. et stykke jern, mere og mere, udsender det flere og flere mørke varmemstråler. Når jernet bliver over  $525^{\circ}$ , begynder det tillige at udsende røde stråler; det bliver rødglødende. Jo mere temperaturen stiger over  $525^{\circ}$ , jo flere stærkt brydbare stråler udsender det, indtil det til sidst bliver hvidglødende, nu udsender det stråler med alle brydbarheder. Alle faste eller smeltende stoffer bliver rødglødende ved  $525^{\circ}$ . Selvlysende legemer udsender altså både mørke og lyse varmemstråler.

## Spektroskopet

Apparater, der benyttes til at frembringe tydelige spektrer, kalder *spektroskoper*; i det følgende beskrives et af dem. Gennem en meget smal spalte *s* (fig. 182), der tænkes vinkelret på papirets plan, kommer der lys fra et eller andet lysende legeme, f. eks. fra en lampe, der står et stykke til venstre for spalten. Lyset træffer et prisme *P*, hvis brydende kant er parallel med spalten; men da de forskelligt farvede stråler, der findes i lampens hvide lys, brydes forskelligt, forlader de røde stråler prismet i en retning, som om de udgik fra *r*, mens de violette stråler, der brydes stærkere, forlader prismet, som om de udgik fra *v*. Figuren viser strålernes gang. Holder man øjet på højre side af prismet, ser man altså i *r* og *v* et smalt rødt og et

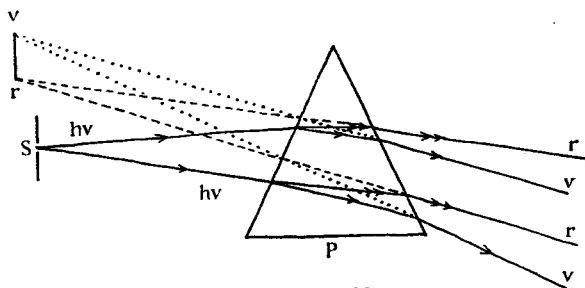


Fig. 182

smalt violet billede af spalten, der begge står vinkelret på papirets plan. Mellem  $r$  og  $v$  ses — vinkelrette på papirets plan — en række spaldebilleder, der skyldes de andre farver. Alle disse spaldebilleder danner tilsammen et spektrum af det lys, der udgår fra lampen.

Var spalten bred, ville de farvede billeder af den også være brede; de ville delvis dække hinanden, og spektret ville blive utydeligt.

Fig. 183 viser nærmere spektroskopets indretning. Spalten  $s$  sidder i den ene ende af et messingrør; det lys, der kommer ind gennem spalten, brydes af de to prismer 1 og 3, der begge vender den brydende kant opad og spreder lyset mere end eet prisme. Prismet 2 er af en stærkere brydende og stærkere spredende glassort end de to andre, vender den brydende kant nedad og bryder altså lysstrålerne opad. Herved opnås, at f. eks. de midterste stråler, de grønne, kommer ud af spektroskopet i en retning, der går omtrent i forlængelse af rørets akse, så at man kan sigte lige mod den genstand, hvis spektrum skal undersøges; dette spektroskop kaldes derfor *ligesigtende*. Samlelinsen  $S$  virker som lup for spalten.

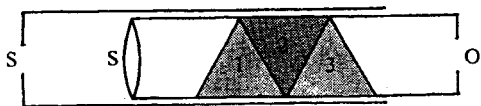


Fig. 183

*Det uafbrudte spektrum.* Rettes spektroskopet mod glødende, faste eller flydende legemer, fremkommer der et spektrum, som består af alle farver fra rødt til violet uden nogen afbrydelse. Jo varmere legemet er, desto tydeligere fremtræder den violette ende af spektret. En petroleumslampe eller en stearinlysflamme giver et uafbrudt spektrum, fordi det er de i flammen svævende, glødende kulparkler, der lyser.

*Spektret af lysende luftarter og dampe.* Anbringer man et lille stykke natrium eller et natriumsalt, f. eks. kogsalt, i en ikke lysende flamme (bunsens lampe, spritlampe), farves flammen gul. Rettes spektroskopet mod flammen, ses en gul linie, som i store spektroskoper viser sig at bestå af to gule linier tæt ved hinanden. Natriumdampe udsender altså kun gult lys. På samme måde fremstilles f. eks. spektrene af kalciumdampe og lithiumdampe ved at anbringe klorkalcium eller klorthium i flammen; linierne skyldes udelukkende metaldampene, idet klorret ikke kan give spektrum på denne måde (den gule natriumlinie ses også, da der overalt findes mængder af kogsalt).

Der er dog mange metaller, f. eks. jern, hvis dampe ikke kan frembringes med en ikke lysende flamme, fordi dennes temperatur er for lav. I så fald fremstilles spektrene ved at lade elektriske gnister slå over mellem to spidser af vedkommende metal. Gnisten indeholder da metallet på dampform (da gnisten slår over gennem luften, ser man samtidig luftens spektrum).

Spektret af lysende luftarter frembringes ved at anbringe geislerske rør, der indeholder vedkommende luftart, lige uden for spalten og parallel med denne. Luften i røret bringes til at lyse, ved at man sender strømmen fra et induktionsapparat gennem det. Brintens spektrum indeholder f. eks. tre lyse linier: en rød, en grøn og en violet.

*Spektralanalysens hovedregel er denne: Glødende faste og flydende legemer giver et uafbrudt spektrum. Lysende luftarter og dampe giver linespektr; de indsuger stråler af samme farve, som de selv udsender.*

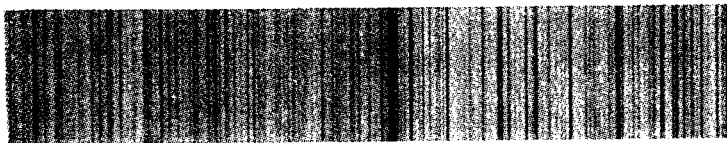


Fig. 184

Lysende dampe og luftarter giver altså linespektrer, der består af flere eller færre lysende linier på mørk grund; men samme stof kan under forskellige forhold give forskellige spektrer, hvis udseende f. eks. retter sig efter det lysende luft- eller damplags tykkelse, tæthed (tryk) og temperatur. Brint såvel som andre luftarter giver ofte spektrer, der består af utallige lyse linier, adskilte ved mørke linier og bredere mørke striber; sådanne spektrer kaldes *båndspektrer*. (Brintens spektrum består ofte af de tre stærkt lysende linier på svagere lysende baggrund; den lysende baggrund er brintens båndspektrum). *I meget tykke og tætte lag kan de luftformige stoffers spektrer i udseende nærme sig det uafbrudte spektrum.*

*Indsugningsspektrer.* Rettes spektroskopet mod en lysende flamme, og anbringes en rød, grøn eller blå glasplade mellem spektroskopet og flammen, forsvinder en del af farverne, idet der i spektret optræder brede, mørke striber; på denne måde kan man afgøre, hvilke farvestråler, der går gennem glaspladen. Sådanne spektrer kaldes *indsugningsspektrer*.

*Solspektret* (Fig. 184). Rettes spektroskopet mod klar himmelhvælvning, kommer det af luften tilbagekastede sollys ind i spektroskopet, og man ser et spektrum med alle farverne, men gennemfuret på tværs af tynde, sorte linier, som efter deres opdagelse, Fraunhofer, kaldes fraunhoferske linier; i store spektroskop ses flere tusinde.

*Betydningen af de fraunhoferske linier i solspektret.* Rettes spektroskopet mod en af de glødende kulspidser i en lille buelampe, ser man et uafbrudt spektrum. Kommer man med mellemrum små portioner af et natriumsalt (soda) på kulspidserne, fordampes saltet, kulspidserne bliver indhyllet i natrium-

dampe, og i spektret viser der sig nu en mørk linie (i store spektroskop to) i det gule på det sted, hvor natriumdampene alene ville frembringe en gul linie. Natriumdampene indsuger nemlig det gule lys, der kommer fra den glødende kulspids, og forhindrer det i at nå spektroskopet. De sender ganske vist selv gult lys til spektroskopet, men dette lys er meget svagt i sammenligning med det øvrige stærkt lysende spektrum, så at linien ser ud, som den var sort, skønt den i virkeligheden er svagt gul. (Den sorte linie viser sig smal og skarp eller bred og mere udvisket, efter som der tilfældigt i øjeblikket er få og følgelig varme eller mange og koldere natriumdampe om kulspidserne). På samme måde ville der optræde tre sorte linier i rødt, i grønt og i violet, hvis lyset fra kulspidserne måtte passere en lysende brintatmosfære, inden det nåede spektroskopet.

Af ovenstående forsøg drog en af spektralanalysens grundlæggere, Kirchhoff, 1860 den slutning, at solen er en fast eller flydende glødende masse, omgivet af en atmosfære af lysende luftarter og dampe, som er årsag til de fraunhoferske linier i solspektret; det er altså et indsugningsspektrum. Linierne viser, at sol-atmosfæren indeholder de fleste os bekendte grundstoffer på dampform. Da der i solens indre hersker en temperatur på flere millioner grader, er det udelukket, at dens indre kan være fast eller flydende. De sorte linier i solspektret viser ganske vist, at der inden for den forholdsvis kolde sol-atmosfære (ca. 6000°) må være stoffer, der giver et uafbrudt spektrum; men det høje tryk, der ligeledes findes i solens indre, er årsag til, at der kan dannes et uafbrudt spektrum.

## Radium

Radium er et metal, der har den mærkelige egenskab, at det udsender stråler uden ydre påvirkning. Strålerne kan påvises ved, at de sværter en fotografisk plade og ioniserer luften. Anbringes et radiumpræparat i nærheden af et ladet elektroskop,

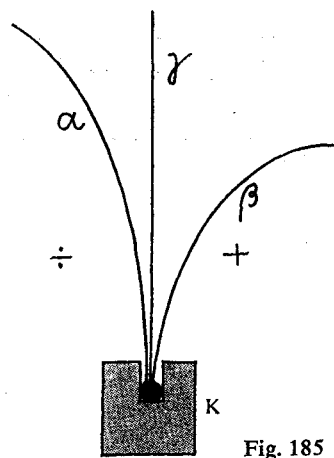


Fig. 185

vil det hurtigt udlades. Til påvisning af strålernes virkning på en fotografisk plade benyttes en lille blyklods (fig. 185) med en fordybning, hvori er anbragt lidt radium. Holdes den fotografiske plade vandret et stykke over *K*, viser der sig en plet på pladen. Anbringes et positivt elektrisk legeme til højre for strålerne, et negativt til venstre, får man tre pletter på pladen; deraf slutter man, at radium udsender tre arter stråler; de stråler, der tiltrækkes af det negative legeme, kaldes  $\alpha$ -stråler, de der tiltrækkes af det positive legeme  $\beta$ -stråler, og de der ikke påvirkes,  $\gamma$ -stråler. — En nærmere undersøgelse af strålerne har vist, at  $\alpha$ -strålerne er positiv ladede heliumatomer (heliumioner),  $\beta$ -strålerne er negative elektroner, altså de samme som dem der udgår fra katoden i et Crookes rør, og endelig  $\gamma$ -strålerne en slags røntgenstråler med stor gennemtrængningsevne.

Har man et radiumpræparat i et lukket glasrør, som i forvejen er pumpet lufttomt, vil man efter nogle få dages forløb opdage, at der er dannet to luftarter inde i røret; den ene luftart er *helium*, den anden er en tidligere ukendt luftart, man har kaldt *emanation*. Efter at man har skilt de to luftarter ad, kan man undersøge emanationen nøjere, og det viser sig da, at det er den tungeste luftart, man kender; den har et karakteristisk

liniespektrum og kan fortættes til vædske ved ca.  $\div 150^{\circ}$  C. Emanationen udsender  $\alpha$ -stråler, der sværter en fotografisk plade og ioniserer luften ligesom radium.

Opbevarer man emanation i et glasrør, viser det sig, at luftarten efter kort tids forløb er forsvundet, og i stedet for er der i røret en ringe mængde helium samt 3 nye grundstoffer, radium A, radium B og radium C; radium A udsender  $\alpha$ -stråler, radium B  $\beta$ - og  $\gamma$ -stråler. Omdannelsen fortsættes og ender med radium G, som er identisk med bly, der ikke udsender stråler.

Radioaktive stoffer lyser i mørke, grunden hertil er de udslyngede ioners og elektroners stød mod den omgivende luft eller mod faste stoffer, der findes i nærheden.

Ved studiet af de radioaktive stoffer er man blevet klar over, at et grundstof kan omdannes til et andet, radium omdannes til helium og emanation o. s. v. Et forhold man ikke tidligere har kendt noget til. Denne omdannelse sker med ulige hastighed, halvdelen af 1 g radium omdannes i løbet af ca. 1700 år, emanations halveringstid er ca. 4 døgn o. s. v.

Som tidligere nævnt består et atom af en kerne, hvorom der kredser en række elektroner. Kernen består af to slags partikler: *protoner*, der har positiv ladning, og *neutroner*, der er uelektriske. Antallet er forskelligt for de forskellige grundstoffer. Brintkernen består af 1 proton, heliumkernen har to protoner og 2 neutroner. Et neutralt atom indeholder lige så mange elektroner, som der er protoner i kernen.

At et grundstof forvandles til et andet sker ved, at protonernes antal i kernen ændres; dette sker uden ydre indgriben ved de radioaktive stoffer, men for andre stoffer ved, at man bombarderer atomet med  $\alpha$ -partikler, neutroner eller protoner. Særlig er neutroner virksomme, da de er uelektriske og derfor lettere trænger ind til kernen, der er positiv. Rammes en kerne af projektilet, vil kernen enten indfange dette eller spaltes; i begge tilfælde ændres kernens opbygning, og et nyt grundstof er dannet; samtidig ændres antallet af de elektroner, der omkredser kernen.

Kernen indeholder en ufattelig stor energimængde, og det er lykkedes at frigøre denne i grundstoffet uran.

*Atombomben.* Naturligt uran indeholder 2 forskellige atomtyper, begge har 92 protoner i kernen; men den ene type, U 238, har 146 neutroner, og den anden, U 235, har 143; ca. 0,7 pct. af en uranklump er U 235.

Bombarderes uran med neutroner og rammes en U 235-kerne, vil denne spaltes i to omtrent lige tunge grundstoffer, hvis visse betingelser er tilstede, samtidig frigøres 3 neutroner samt  $\gamma$ -stråling. Denne proces kaldes *fission*. De nye neutroner kan atter fremkalde fission o. s. v. Der er opstået en *kædereaktion*. Det er denne proces, der foregår i en atombombe, når den eksploderer.

Ved fission frigøres en uhyre energimængde i form af varme med en temperatur af flere millioner grader og et tryk på flere hundrede tusinde atmosfærer samt en kraftig  $\gamma$ -stråling, der fra bomben forplanter sig ud i rummet og forårsager død og ødelæggelser.

Det er nu lykkedes at bringe kædereaktionen under kontrol, hvorfor man bliver i stand til at benytte den ved fission frigjorte energi til fredelige formål. Den udviklede varmeenergi bringer vand i dampform, denne damp kan drive en turbine, der atter driver en vekselstrømsgenerator. Kraftværker af denne art anlægges rundt i landene, og de vil engang komme til at afløse de nuværende værker, når jordens kul og olie er opbrugt.

Stråling fra de radioaktive stoffer har stærk indvirkning på levende væv, holdes et radiumpræparat ind mod huden, bliver den rød og smerter som et brandsår. Celler, der er i stærk vækst, er særlig ømfindtlige over for radiumstråler, derfor har radiumstråling fået stor betydning ved bekæmpelse af kræftsvulster, der netop er celler, der vokser abnormt. Bestråles en kræftsvulst, vil kræftcellen som oftest holde op at dele sig, hvorved kræften hemmes i sin udvikling.

I stedet for radium benyttes nu radioaktive stoffer, der fremkommer ved atomsprængning; hvis man t. eks. bestråler aluminium med  $\alpha$ -stråler opstår radioaktivt fosfor.

I TILKNYTNING TIL

*Th. Sundorph: Fysik for Realskoler*

ER UDKOMMET

*H. Jepsen og Th. Sundorph: Fysiske Øvelser*

*H. Jepsen: Uorganisk Kemi*

# INDHOLDSFORTEGNELSE

## MEKANISK FYSIK I

|                                                    |    |                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|------------------------------------|----|
| Træk og tryk . . . . .                             | 7  | Torricellis forsøg . . . . .       | 23 |
| Vægtfylde . . . . .                                | 11 | Andre barometre . . . . .          | 26 |
| Tryk i væsker . . . . .                            | 13 | Boyle-Mariottes lov . . . . .      | 28 |
| Forbundne kar . . . . .                            | 17 | Trykmåleren (manometret) . . . . . | 29 |
| Arkimedes' lov . . . . .                           | 18 | Opdrift i luften . . . . .         | 31 |
| Nøjagtigere bestemmelse af<br>vægtfylden . . . . . | 20 | Hæverten . . . . .                 | 33 |
| Luftens tryk . . . . .                             | 21 | Trykpumpen . . . . .               | 34 |
|                                                    |    | Fortætningspumpen . . . . .        | 35 |

## MEKANISK FYSIK II

|                                                         |    |                                                                  |     |
|---------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------|-----|
| Bevægelse . . . . .                                     | 37 | LYDEN . . . . .                                                  | 93  |
| Hastigheden ved en ujævn be-<br>vægelse . . . . .       | 38 | MAGNETISME . . . . .                                             | 98  |
| Kræfternes sammensætning<br>og opløsning . . . . .      | 39 | Jordmagnetismen . . . . .                                        | 101 |
| Tyngdepunktet . . . . .                                 | 43 | ELEKTRICITET . . . . .                                           | 104 |
| Legemers fald gennem luften                             | 46 | Elektrisk fordeling. Gode og<br>dårlige ledere . . . . .         | 105 |
| Vægtstangreglen . . . . .                               | 49 | Elektrisk spænding . . . . .                                     | 107 |
| Eksempler på vægtstang-<br>reglens anvendelse . . . . . | 50 | Den elektriske strøm . . . . .                                   | 110 |
| Arbejde . . . . .                                       | 54 | Elektromagnetisme . . . . .                                      | 112 |
| Maskiner . . . . .                                      | 55 | Strømmens kemiske virk-<br>ninger . . . . .                      | 115 |
| Centripetalkraft . . . . .                              | 59 | Måling af strømstyrke . . . . .                                  | 117 |
| Pendulet . . . . .                                      | 62 | Måling af modstand . . . . .                                     | 119 |
| VARMELÆRE . . . . .                                     | 65 | Måling af spændingsforskel og<br>elektromotorisk kraft . . . . . | 121 |
| Udvidelse ved opvarmning . . . . .                      | 65 | Galvaniske elementer II . . . . .                                | 125 |
| Termometret . . . . .                                   | 67 | Elektromagneters anvendelse . . . . .                            | 127 |
| Varmeenheden. Varmefylde . . . . .                      | 68 | Grundforsøg over induktions-<br>strømme . . . . .                | 130 |
| Varmens bevægelse . . . . .                             | 71 | Dynamomaskinen (Grammes<br>maskine) . . . . .                    | 135 |
| Centralopvarmning . . . . .                             | 73 | Vekselstrømmaskine . . . . .                                     | 138 |
| Opløsning og smeltning . . . . .                        | 74 | Den trefasede vekselstrøm . . . . .                              | 141 |
| Fordampning og fortætning . . . . .                     | 77 | Elektrisk belysning . . . . .                                    | 146 |
| Mættede dampes tryk . . . . .                           | 81 | Lampernes anbringelse i led-<br>ningen . . . . .                 | 148 |
| Kogning . . . . .                                       | 82 | Elektromotorer . . . . .                                         | 150 |
| Luftarters fortætning . . . . .                         | 84 |                                                                  |     |
| Dampmaskinen . . . . .                                  | 87 |                                                                  |     |
| Forbrændingsmotorer . . . . .                           | 90 |                                                                  |     |
| Forskellige energiformer . . . . .                      | 91 |                                                                  |     |

|                                                  |     |                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| Elektrisk energi . . . . .                       | 152 | Lysets tilbagekastning . . . . . | 170 |
| Elektrisk kraftoverføring . . .                  | 154 | Lysets brydning . . . . .        | 173 |
| Elektriske strømme gennem<br>luft . . . . .      | 156 | Linser . . . . .                 | 175 |
| Elektriske udladninger i<br>atmosfæren . . . . . | 162 | Billeddannelse ved linser . . .  | 176 |
| Elektriske svingninger . . . .                   | 164 | Linsens anvendelse . . . . .     | 180 |
| LYSLÆRE . . . . .                                | 168 | Newtons forsøg . . . . .         | 183 |
| Skyggedannelse . . . . .                         | 168 | Farver . . . . .                 | 184 |
|                                                  |     | Strålevarme . . . . .            | 186 |
|                                                  |     | Spektroskopet . . . . .          | 187 |
|                                                  |     | Radium . . . . .                 | 191 |

## FORORD

### TIL TRETTENDE UDGAVE

I trettende udgave er der foretaget følgende ændringer:

Sugepumpen er udeladt, da den næppe bruges mere, og dens virkemåde er ikke væsentlig forskellig fra, hvad der gennemgås ved trykpumpen.

Elektriske udladninger i atmosfæren er omarbejdet, da tordenvejrets teori er ændret gennem nyere undersøgelser.

Atombomben har fået en ganske kort behandling.

Elevøvelser er udeladt; der henvises til Jepsen og Sundorph, Fysiske øvelser, hvor der er opgaver til det hele fysikpensum.

H. J.



# MEKANISK FYSIK I

## Træk og tryk

Figuren viser, hvordan en *fjedervægt* ser ud. Den ene ende af en spiralfjeder er gjort fast foroven i hylsteret, og i fjederens nederste ende er der fastgjort en viser og en stang, som forneden ender i en krog. Hænger man en ting på krogen, forlænges fjederen, og viseren peger på en inddeling, som angiver, hvor meget tingen vejer. Fjedervægten er inddelt ved først at hænge 1 kg på krogen, så 2 kg o. s. v.; inddelingerne viser sig at være lige store.

Når man trækker en vogn, kan man måle trækets størrelse ved at gøre fjedervægtens krog fast i vognen, trække i fjedervægtens ring og se, hvor langt viseren går ud; går den ud til mærket 8 kg, siger man, at man har trukket med en kraft på 8 kg, og at trækket går i retning af spiralfjederens midterlinje.

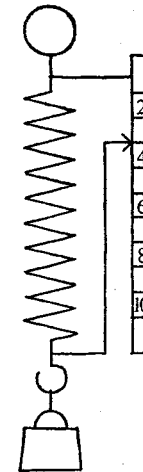


Fig. 1

En hængelampe, der vejer 20 kg, frembringer et træk på 20 kg i den krog, der bærer lampen; trækket går lodret nedad. Holder man en sten i hånden, mærker man et tryk; trykket går lodret nedad og er i størrelse lig stenens vægt.

*Træk og tryk kaldes med et fælles navn kræfter; de måles i kilogram og har en bestemt retning.*

En kraft afbildes ved en ret linie med en pil på den ene ende. Liniens længde angiver kraftens størrelse og pilen dens retning.

*Eksempler på kræfter.* Føres en papplade gennem luften, således at pladen er vinkelret på bevægelsesretningen, mærker man en modstand, som kaldes *luftmodstanden*; den er størst, når pladen er stor og bevæges hurtigt.

Ethvert legeme er påvirket af et træk, der går lodret nedad, og som får legemet til at falde, hvis det ikke understøttes; dette træk kaldes *tyngdekraften*.

Tager vi enderne af en kautsjuksnor hver i sin hånd og strammer snoren, stræber den at trække sig sammen til sin oprindelige længde og frembringer derved et træk i hænderne. Alle legemer, hvis form man har forandret, stræber mere eller mindre at antage den oprindelige form; man siger, at de er mere eller mindre *elastiske*. Legemernes *elasticitet* er tit skyld i, at der opstår kræfter. Sætter vi f. eks. en genstand på en kautsjukplade, kan vi se, at den trykker en fordybning i pladen; da nu pladen stræber at rette sig ud, frembringer den et tryk opad på genstanden. Det er dette tryk, der forhindrer genstanden i at falde. På samme måde går det, når vi sætter genstanden på et bord; fordybningen er her blot så lille, at man ikke kan se den. Lærner man sig mod en væg, giver væggen lidt efter, og idet den søger at rette sig ud, frembringer den det tryk, som forhindrer en i at falde.

To glatslebne messingplader, der presses godt mod hinanden, hænger sammen, således at den ene plade endog kan bære den anden; er der den mindste afstand mellem pladerne, hænger de

ikke sammen. Messingpladerne på begge sider af berøringsfladen tiltrækker altså hinanden, og på samme måde går det med alle andre stoffer. De kræfter, der her optræder, kaldes *berøringskræfter* (vedhængning). Man antager, at berøringskræfterne er skyld i, at et legemes enkelte smådele ikke falder fra hinanden, og taler derfor om smådelenes *sammenhængskraft*. Det er vedhængningen, der er skyld i, at man kan lime papir på træ. Når limen er størknet, hænger papir og lim og lim og træ sådan sammen, at de ikke kan skilles; prøver man på det, er det i reglen sammenhængskraften mellem papirtrevlerne, man overvinder, og ikke vedhængningen til limen.

På midten af en rund glasplade fastgøres en metaltråd, hvis øverste ende bindes fast under vægtens ene skål og glaspladen afbalanceres (fig. 2). Under pladen anbringes der en flad skål, og der hældes kviksølv i den, til kviksølvet rører pladen underside. Lægges der nu lodder på vægtens anden skål, indtil glaspladen rives fra, har vi målt vedhængningen mellem glas og kviksølv. Forsøget gøres om med vand i stedet for kviksølv. Da der efter forsøget hænger vanddråber på glaspladens underside, er det vandets sammenhængskraft, vi har overvundet; denne er altså mindre end vands vedhængning til glas. – Det er vedhængningen, der er skyld i, at en regndråbe kan hænge på en rude, at der hænger olie ved en pind, der stikkes ned i olien o. s. v. – Fyld et reagensglas godt halvt med vand, kom 3 à 4 cm<sup>3</sup> sprit i et andet reagensglas og lad spritten forsigtigt løbe

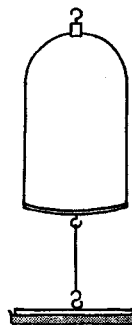


Fig. 2

ned på vandet langs siden af det første reagensglas. Spritten lægger sig da oven på vandet, og man kan se skillefladen mellem de to vædske. Efter længere tids forløb begynder skillefladen at blive utydelig, og efterhånden forsvinder den helt; vandet har langsomt trukket spritten nedad, og spritten har trukket vandet opad.

Den modstand, man mærker, når et legeme slæbes hen over et gulv, kaldes *gnidningsmodstanden*. Den fremkommer væsentlig ved, at ujævnheder i legemets underflade griber ind i ujævnheder i gulvet. Jo glattere gulvet og legemets underflade er, desto mindre er gnidningsmodstanden. Dette gælder dog kun til en vis grænse, fordi vedhængningen også spiller en rolle og får størst indflydelse, når berøringsfladen er plan og meget glat; i så fald kan gnidningsmodstanden blive meget stor.

*Aktion og reaktion* (tryk og modtryk). Når et legeme trykker på eller trækker i et andet legeme, virker dette altid tilbage på det første med en lige så stor kraft, der går i modsat retning. Trykker man fingeren ned mod bordet, trykker bordet lige så stærkt opad på fingeren. Holder man hammerskaftet løst i hånden og lader hammerhovedet falde ned på et søm, springer hammeren tilbage. Aktionen virker på sømmet, reaktionen på hammerhovedet. Magneten tiltrækker et stykke jern, jernet trækker lige så stærkt i magneten.

Når to legemer *A* og *B* (fig. 3) tiltrækker hinanden, er den kraft, hvormed *A* tiltrækker *B* lige så stor som den hvormed *B* tiltrækker *A*; de to kræfter fremstilles derfor ved to lige lange pile.

Lægger man en bog på den flade hånd, trækker jorden i bogen (bogens vægt), og bogen udøver et træk opad i jorden; disse to kræfter er aktion og reaktion. Desuden trykker bogen nedad på hånden, og hånden trykker opad på bogen; disse to kræfter er aktion og reaktion. Læg mærke til, at bogen er på-

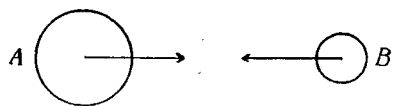


Fig. 3

virket af to kræfter (jordens træk og håndens tryk), som op hæver hinanden, men ifølge det foregående ikke er aktion og reaktion. Aktion og reaktion ophæver aldrig hinanden, da de virker på to forskellige legemer.

## Vægtfylde

Ved hjælp af et måleglas (fig. 4) kan vi finde, hvor meget en kubikcentimeter af forskellige stoffer vejer.

Et lille måleglas stilles på vægtens ene skål og afbalanceres med hagl og papirstumper. Læg f. eks. 8 g på den vægtskål, hvor haglene ligger, og hæld vand i måleglasset, indtil der igen er ligevægt. Forsøget viser, at  $1 \text{ cm}^3$  vejer 1 g.

Vægten af  $1 \text{ cm}^3$  af andre vædske, f. eks. kviksølv og sprit findes ved at afbalancere måleglasset, hælde vædske i f. eks. til mærket 10  $\text{cm}^3$ , veje vædsken og dividere dens vægt med 10.  $1 \text{ cm}^3$  kviksølv vejer ca. 13,6 g,  $1 \text{ cm}^3$  sprit vejer ca. 0,8 g.

Vægten af  $1 \text{ cm}^3$  messing finder vi ved at veje et stykke messing, hvis rumfang er et helt antal  $\text{cm}^3$ , hælde vand i et måleglas til et eller andet mærke, sænke messingstykket ned i vandet og se, hvor mange  $\text{cm}^3$  vandet stiger; stigningen giver os

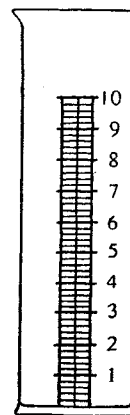


Fig. 4

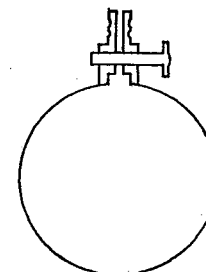


Fig. 5

messingstykkets rumfang, og vi kan nu beregne vægten af 1 cm<sup>3</sup> messing. På samme måde findes vægten af 1 cm<sup>3</sup> af andre stoffer; hvis stoffet er træ, må vi trykke det ned under vandoverfladen i måleglasset med en strikkepind eller metaltråd. 1 cm<sup>3</sup> jern vejer ca. 7<sup>3</sup>/<sub>4</sub> g, 1 cm<sup>3</sup> messing lidt over 8 g, 1 cm<sup>3</sup> træ ca. 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> g (forskelligt for tørt og vådt træ og forskellige træsorter).

Vægten af 1 cm<sup>3</sup> luft kan findes ved hjælp af en glasbeholder med messinghals, som kan lukkes med en hane. Beholderens rumfang er 11 = 1000 cm<sup>3</sup>; den pumpes så vidt muligt lufttom ved hjælp af luftpumpen (som beskrives senere), hænges op under vægtens ene skål og afbalanceres. Åbnes nu hansen, hører vi luften strømme ind, og beholderen bliver tungere; vægtforøgelsen findes, og ved at dividere den med 1000 får vi vægten af 1 cm<sup>3</sup> luft. Den er lidt over 0,001 g, men er ikke altid den samme; den er mindst, når det er varmt, og barometret står lavt.

*Vægten i gram af 1 cm<sup>3</sup> af et legeme kaldes legemets vægtfylde.*

Man kan også sige, at vægtfylden er forholdet mellem legemets vægt og vægten af samme rumfang vand. I dette tilfælde udtrykkes vægtfylden ved et ubenævnt tal.

1 cm<sup>3</sup> kviksølv vejer 13,6 g, 1 cm<sup>3</sup> vand 1 g, altså er kviksølvets vægtfylde  $\frac{13,6 \text{ g}}{1 \text{ g}} = 13,6$ .

#### TABEL OVER VÆGTFYLDER

|                   |                                  |                     |                                   |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Platin .....      | ca. 22                           | Aluminium .....     | ca. 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> |
| Guld .....        | „ 19                             | Glas og porcelæn .. | „ 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>   |
| Bly .....         | „ 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | Is .....            | „ 0,9                             |
| Sølv .....        | „ 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | Sprit .....         | „ 0,8                             |
| Tin og zink ..... | „ 7                              | Luft .....          | „ $\frac{1}{800}$                 |

## Tryk i væsker

Et bredt glastrør (fig. 6) har en løs bund af messing, som ved hjælp af snoren kan trækkes op, så at den slutter tæt til rørets planslebne rand. Vi tager fat om røret, holder snoren stram og



Fig. 6

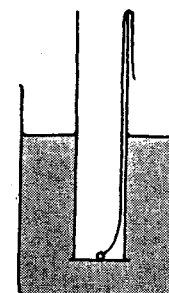


Fig. 7

sænker apparatet et stykke ned i vand (fig. 7); slipper vi nu snoren, falder bunden ikke af. Dette forsøg viser os, at der er tryk nede i en væske. Vandet må trykke opad på messingbunden.

Vi vil nu undersøge, om trykket er lige stort overalt i væsken; hertil kan vi bruge apparatet fig. 8. *a* er en lille cylindrisk messingdåse, hvis endeflade *b* er af skind. *d* er et glastrør, i hvis øverste ende der anbringes en lille tragt ved hjælp af et stykke gummislange. Ved *c* kan messingdåsen drejes om en tap, så at *b* kan vende opad, nedad og til siden; som figuren viser, er apparatet konstrueret således, at *b* kommer til at ligge på samme sted, når metaldåsen drejes en halv omdrejning. Når apparatet skal bruges, skiller man det ved *c*, fylder metaldåsen med vand, sætter igen glastrøret *d* på og hælder vand i det; det øverste af vandet i *d* kan farves ved til sidst at hælde et par dråber blæk i det.

Apparatet anbringes i forsøgsstativet, et stykke sejlgarn bindes om glastrøret og tjener under forsøget som viser, idet vi forskyder det hen til vandoverfladen i glastrøret. Trykker vi

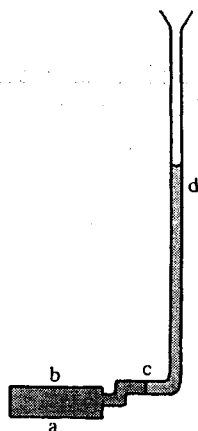


Fig. 8

med fingeren på skindet, stiger vandet i glasrøret, desto mere, jo stærkere vi trykker. Apparatet må altså kunne bruges til at undersøge trykket i væsker.

1. Dåsen anbringes i en beholder med vand med skindet opad (fig. 9) og skydes efterhånden længere og længere ned i vandet. Forsøget viser, *at vandet i beholderen trykker nedad, og at trykket vokser i dybden.*

2. Dåsen anbringes et sted i beholderen med skindet opad, og sejl garnet bringes på plads. Forsøgsstativet løftes op; dåsen drejes en halv omgang, så at skindet vender nedad, og stativet sættes igen på bordet. Skindet er nu lige så langt nede i beholderen som før. Forsøget viser, *at vandet i beholderen trykker opad, og at trykkene fra oven og fra neden på samme sted i vandet er lige store på samme flade.*

3. Et cylinderglas fyldes med vand, anbringes med bunden opad, således som fig. 9 viser, og dåsen anbringes i beholderen, forsøgsstativet skydes frem og tilbage på bordet, og trykket undersøges forskellige steder i samme vandrette lag, både når dåsen er henne under cylinderglasset og uden for dette. Forsøget viser, *at trykket er ens på lige store flader i samme vandrette lag.*

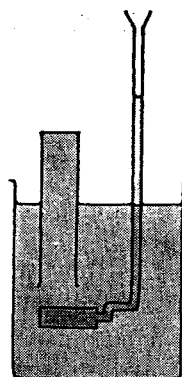


Fig. 9

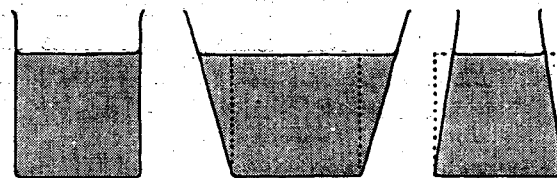


Fig. 10

Hvis det store kar (fig. 9) har skrå vægge, giver forsøget samme resultat. De tre kar på tegningen (fig. 10) har lige store bunde, og vandet står lige højt i dem; hvor er bundtrykket størst?

4. Ved at dreje dåsen, så at skindet er lodret, vises på samme måde som i de foregående forsøg, *at vandet trykker til siden, at sidetrykket vokser med dybden, men er ens overalt i samme dybde.* Det er sidetrykket, der driver vandet ud af et kar, der har huller i siden. Strålerne når længst ud forneden, hvor sidetrykket er størst (fig. 11).

Spørgsmålet er nu, hvad er årsagen til trykket i væsker, og hvor stort er det? Stikker vi en pind ned i en let flydende væske, som vand, sprit eller kviksølv, og fører pinden rundt, mærker vi ingen nævneværdig modstand, således som vi ville gøre, hvis vi førte den rundt i tjære eller mel. Væskedelene i let flydende væsker må altså være meget glatte og vedhængen mellem dem meget lille.

Vi betragter en vandret flade *ab* i en let flydende væske; ifølge det foregående er der grund til at tro, at det *nedadgående* tryk på fladen skyldes vægten af væskesøjlen *abcd*, og

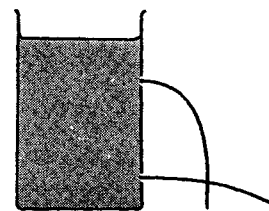


Fig. 11

at det i størrelse – i hvert fald tilnærmelsesvis – må være lig denne væskesøjles vægt. Når væskesøjlen lodrette sider er glatte, og der ingen vedhængning er mellem dem og den omliggende væske, bæres søjlen nemlig ikke – hverken helt eller delvis – af væsken udenom, men kun af fladen  $ab$ . – Trykket på en vandret flade i en sten er ikke vægten af den stensøjle, der ligger over fladen, fordi stensøjlen hænger sammen med den omliggende stenmasse, og det samme gælder f. eks. for mel og tjære; hvor stort trykket er i disse tilfælde kan vi ikke vide noget om.

Vi forudsætter altså, at *det nedadgående tryk på en vandret flade, som ligger under den fri overflade i en let flydende væske, er vægten af den væskesøjle, der ligger over fladen*; men vi må erindre, at denne regel ikke er bevist. Hvis vi imidlertid ved hjælp af reglen kan udlede andre love, hvis rigtighed kan godtgøres ved forsøg, får vi et indirekte bevis for reglens rigtighed, og et sådant bevis får vi netop senere (ved Arkimedes' lov).

Det nedadgående tryk på en flade  $pq$  (fig. 12), der er lige så stor som  $ab$  og ligger i samme vandrette lag, er lige så stort som trykket på  $ab$  ifølge forsøg nr. 3. Væskesøjlen over  $pq$  vejer ganske vist mindre end væskesøjlen over  $ab$ ; at trykket dog kan være det samme på de to flader, ligger i, at den skrå karvæg over  $pq$  er elastisk og lidt udspilet af væskens tryk, så at den frembringer et tryk ind mod væsken, idet den stræber at trække sig sammen.

Ifølge forsøg nr. 2 er *det opadgående tryk på  $ab$*  (fig. 12) lige så stort som det nedadgående, altså lig vægten af væske-

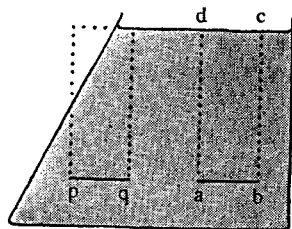


Fig. 12

søjlen  $abcd$ ; det opadgående tryk afhænger altså ikke af fladens afstand fra bunden. Det opadgående tryk i væsker fremkommer ved, at de andre væskelag er sammenpresset af den ovenover liggende væskes vægt; da væsken er elastisk, stræber den at rette sig ud og frembringer derved et tryk opad, som ifølge sætningen om aktion og reaktion er lige så stort som det nedadgående.

*Trykket på en flade i en væske er altid vinkelret på fladen.* Det kommer af, at en flade i en væske som tidligere nævnt er glat, og glatte flader kan kun frembringe tryk, der er vinkelret på fladen. Vi ser det f. eks., når vi trykker fingeren skråt ned mod bordet, bordets tryk mod fingeren går da skråt opad i fingerens retning og standser den; jo glattere bordet er, jo lettere glider fingeren, og på et fuldstændig glat bord vil fingeren altid glide, hvis man ikke trykker den vinkelret mod bordpladen.

## Forbundne kar

Vi sætter u-røret (fig. 13) i et forsøgsstativ og hælder vand i det; når vandet er kommet i ro, måler vi afstanden fra den vandrette\* bordplade til vandoverfladerne, de to højder viser sig at være lige store. Hælder vi mere vand i den ene rørgren, strømmer der vand over i den anden, indtil det atter står lige

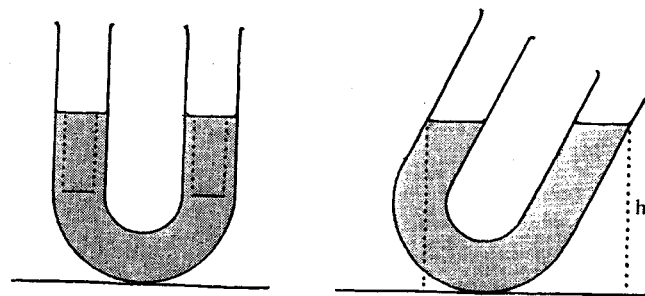


Fig. 13

\* At en plan flade er vandret vil sige, at en lodline står vinkelret på fladen.

højt i dem begge. Væsken stiller sig lige højt i to beholdere, der er åbne til luften og på en eller anden måde står i forbindelse med hinanden, selv om de ikke er lige brede. De to beholdere kaldes *forbundne kar*.

Reglen om forbundne kar stemmer med, hvad vi har lært om tryk i væsker; trykkene på to lige store flader, der ligger hver i sin beholder og i samme vandrette lag, kan nemlig kun være lige store, hvis væsken står lige højt i begge beholdere.

Vandet stiller sig lige højt i tekedlen og dens tud, når kedelen står på bordet, og når den hældes. Hælder man den så meget, at tuden er under vandoverfladen i kedelen, løber vandet ud af tuden. Der går en grøft fra en dam til en anden; kan man se på vandet i grøften, om overfladerne står lige højt i de to damme?

### Arkimedes' lov

$abcd$  forestiller et legeme, der er anbragt i en væske. Fladerne  $ab$  og  $cd$  er lige store og vandrette og har form som rektangler; de fire sideflader er lodrette rektangler. Væsketrykkene på de fire sideflader er vandrette og ophæver hinanden to og to, idet to modstående sideflader er lige store og lige langt nede i væsken. Trykket på  $ab$  går lodret nedad og er lig vægten af væskesøjlen  $abef$ . Trykket på  $cd$  går lodret opad og er lige så stort som det opadgående tryk på fladen  $z v$ , der er lige så

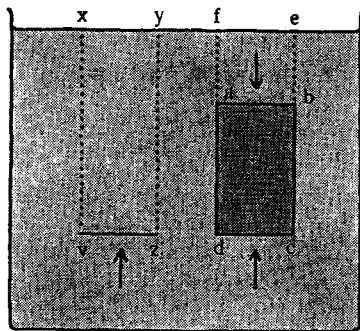


Fig. 14

stort som  $cd$  og ligger i samme vandrette lag; det opadgående tryk på  $cd$  er altså lig vægten af væskesøjlen  $xyzv$ .

På legemet  $abcd$  må der i alt virke et tryk opad, *opdriften*, der er lig trykket på  $cd$  ÷ trykket på  $ab$ . *Opdriften bliver altså lig vægten af en væskemængde, der har samme rumfang som legemet.* Dette gælder også, når legemet har en uregelmæssig form.

Opdriften bevirker, at et legeme vejer mindre i en vædske end i luften. *Et legeme, der nedsænkes i en væske, taber lige så meget i vægt, som den fortrængte væske vejer (Arkimedes' lov).* Denne lov har vi bevist under den forudsætning, at væskedelene er glatte, vedhængningen mellem dem lille, og at legemet har en regelmæssig form. Det er derfor nødvendigt at kontrollere den ved forsøg.

Vi benytter dertil en hul metalcylinder samt en massiv cylinder, der nøjagtig kan udfylde hulheden. Med en sytråd binder vi den massive cylinder til krogen under den ene vægtskål, og på skålen stiller vi den hule cylinder (fig. 15).

Vi stiller et glas med vand under vægtskålen og sænker cy-

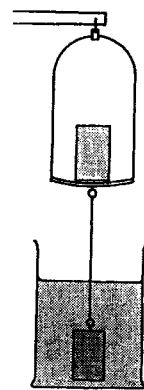


Fig. 15

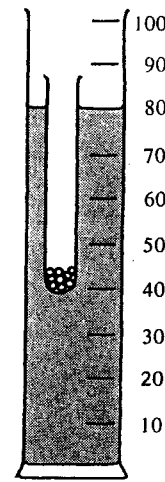


Fig. 16

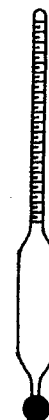


Fig. 17

linderen ned i vandet. Vi ser, at skålen går til vejrs; dette skyldes opdriften på cylinderen. Fylder vi den hule cylinder med vand, vil der atter være ligevægt.

Forsøget viser os, at *opdriften er lig med vægten af en vandmængde, der har samme rumfang som cylinderen*. Gør samme forsøg med sprit. Resultatet bliver det samme.

Dermed er Arkimedes' lov påvist ved forsøg.

I et smalt reagensglas kommer vi hagl eller sand, så at det hele vejer f. eks. 8 g. Vi hælder vand i måleglasset til et eller andet mærke og sætter reagensglasset ned i vandet; dette stiger 8 cm<sup>3</sup>. Da reagensglasset flyder ovenpå, må det have tabt hele sin vægt, ellers ville det synke dybere eller gå til bunds.

Reagensglasset har tabt 8 g i vægt og fortrænger 8 g vand. *Når et legeme svømmer på vand, vejer det fortrængte vand lige så meget som legemet.*

Hvis et legeme, der stikkes ned i en væske, har større vægtfylde end væsken, vejer legemet mere end den fortrængte væske; legemets vægt er altså større end opdriften, og legemet går til bunds, når man slipper det. Har det mindre vægtfylde end væsken, stiger det til vejrs. Har det samme vægtfylde som væsken, bliver det på det sted, hvor man slipper det.

Fig. 17 viser, hvordan en *flydevægt* ser ud; den er lavet af glas og er hul. I kuglen forneden er der kviksølv for at holde den lodret, når den stikkes ned i en væske. Hæld vand i et glas, stik flydevægten ned deri og se, hvor dybt den synker. Hælder vi nu sprit i vandet, ser vi, at flydevægten synker dybere, fordi blandingen er lettere end rent vand.

Hvorfor kan man bruge en flydevægt til at prøve, om mælk eller sprit er fortyndet?

### Nøjagtigere bestemmelse af vægtfylden

*Faste stoffer.* Ved hjælp af Arkimedes' sætning kan et stofs vægtfylde bestemmes nøjagtigere end med måleglasset, som ikke giver en nøjagtig rumfangsbestemmelse.

Legemet ophænges i en tynd tråd under vægtens ene skål og vejes; det vejer f. eks. 80 g. Et glas vand stilles under legemet, vægten sænkes, så at legemet kommer under vand, og vægttabet bestemmes; lad det være 10 g. En vandmængde, der har samme rumfang som legemet, vejer altså 10 g. Legemets vægtfylde er 8.

Er et stof f. eks. dobbelt så tungt som en væske og denne er 0,8 gange så tung som vand, er stoffet 1,6 gange så tungt som vand. Dette benytter man, når man skal bestemme vægtfylden af et stof, der opløses i vand, f. eks. sukker. Sukkerets vægtfylde findes i forhold til sprit, som ikke opløser sukker. Sukkerets vægtfylde i forhold til vand er da produktet af dets vægtfylde i forhold til sprit og sprits vægtfylde i forhold til vand.

*Væsker. 1. måde.* Et legeme ophænges i en tynd tråd under vægtens ene skål og afbalanceres. På samme måde som i forrige forsøg findes dets vægttab i den væske, hvis vægtfylde skal bestemmes; er vægttabet 8 g, vejer den væskemængde, der har samme rumfang som legemet, 8 g. Derpå bestemmes legemets vægttab i vand; er dette 12 g, vejer den vandmængde, der har samme rumfang som legemet, 12 g. Væskens vægtfylde er altså  $\frac{8}{12}$  eller  $\frac{2}{3}$ .

*2. måde.* En flaske med snæver hals, hvorpå der er anbragt et mærke, afbalanceres på vægten og fyldes derefter med væsken, og dennes vægt findes. Flasken fyldes derpå med vand, og vandet vejes. Vi kender nu vægtene af lige store rumfang af væsken og af vand. Den første vægt divideret med den sidste er da væskens vægtfylde.

### Luftens tryk

*Luftpumpen.* Det første forsøg på at fremstille et luftfortyndet rum blev gjort af Otto v. Guericke, borgmester i Magdeburg, født 1606. Han konstruerede en fortyndingspumpe, der i det væsentlige lignede den, der findes i de fleste skolesamlinger. Fortynderen, der kan nås med en sådan pumpe, er ret ringe;



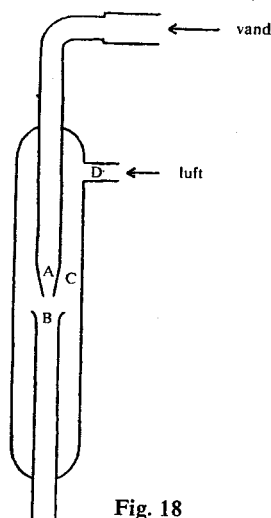


Fig. 18



Fig. 19

i den nyere tid er der konstrueret pumper, hvormed der kan nås en fortynding af ca. en milliontedel millimeter kviksølvtryk.

Hvis der ikke kræves særlig stærk fortynding, er Christiansens vandluftpumpe meget anvendelig. Dens indretning fremgår af fig. 18. En vandstråle strømmer under højt tryk, altså med stor hastighed, gennem et snævert rør (A) og ind i et videre (B), der sidder lodret under og i ringe afstand fra det snævre. Når vandstrålen strømmer fra det snævre rør ind i det vide, bliver vandtrykket i strålen meget ringe, hvorfor luften i beholderen (C) suges ind i vandstrålen og føres med denne ud gennem røret (B). Beholderen har foroven et siderør (D), der fører ind til det rum, hvor luften skal fortyndes.

Vi fylder et reagensglas eller vandglas med vand, lægger et stykke papir over åbningen og vender glasset med bunden opad. Luftens tryk forhindrer papiret i at falde af, og forsøget viser altså, at *luften trykker opad*. Samme forsøg kan gøres med et bredt glasrør, der er en meter langt eller mere, og hvis ene ende er lukket med en prop (åbningen dækkes med filterpapir).

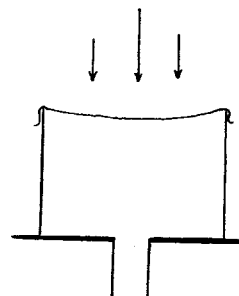


Fig. 20

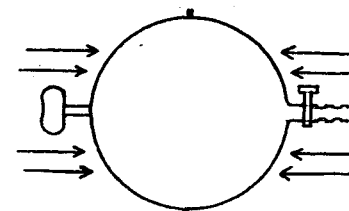


Fig. 21

Over den ene ende af en glascylinder bindes et stykke pergamentpapir (for at få det til at slutte tæt hælder man lidt vand i cylinderen og lader det løbe rundt langs randen, så at papiret her bliver fugtigt). Sætter vi cylinderen med papiret opad på luftpumpens tallerken og pumper luften ud af cylinderen, buer papiret nedad. Luften over pergamentpapiret må trykke stærkere end den fortyndede luft i cylinderen; *luften trykker altså nedad*.

Anbringer vi under luftpumpens glasklokke en medicinflaske, hvis prop er smurt med fedt, for at den ikke skal sidde for fast, og pumper luften ud af klokken, springer proppen op, selv om flasken ligger ned. *Luften trykker altså til siden*. Det samme ser vi, når vi pumper luften ud af det rum, der er mellem to halvkugleformede skåle, hvis rande slutter tæt til hinanden (de magdeburgske halvkugler); skålene kan da vanskeligt trækkes fra hinanden. – Ved disse forsøg må glascylinderens, klokens og skålens rande smøres med fedt for at slutte lufttæt.

## Torricellis forsøg

Tag et kort, *ikke for smalt glasrør*, sæt en prop i den nederste ende og fyld det med kviksølv. Luk for åbningen med fingeren, vend glasset om og stik åbningen ned i en skål med kviksølv; fjernes nu fingeren, løber kviksølvet ikke ud, fordi luften

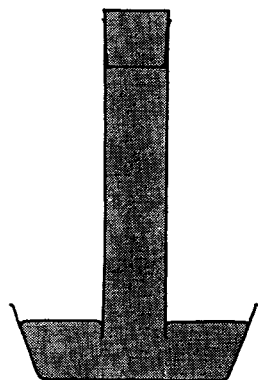


Fig. 22

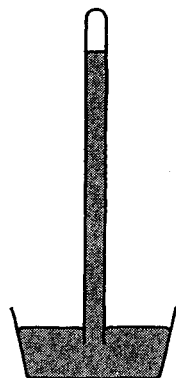


Fig. 23

trykker på overfladen af kviksølv i skålen og holder det oppe i glasset.

Tager vi proppen af, stiller kviksølvet sig lige højt i røret og i skålen, fordi rør og skål er to forbundne kar. *Hvorfra og hvortil gik den kviksølvssøjle, som blev holdt oppe i røret af luftens tryk?*

Vi gør forsøget om igen med et glastrør, der er godt 80 cm langt og er lukket i den ene ende (fig. 23). Kviksølvet synker nu et stykke, så at der fremkommer et luftomt rum over kviksølvet i røret; luftens tryk er altså ikke stort nok til at holde det lange glastrør fyldt med kviksølv. Dette forsøg er først gjort af italieneren Torricelli i året 1643. – Apparatet kaldes Torricellis barometer, den lodrette afstand mellem kviksølv-overfladerne i røret og i skålen kaldes *barometerstanden*. Måler man jævnlig barometerstanden, ser man, at den forandrer sig; den er meget sjældent under 70 cm eller over 80 cm. Dens gennemsnitsværdi er 76 cm, som kaldes *luftens normaltryk*.

Når lufttrykket er højt, er der udsigt til godt vejr; synker det stærkt, er der udsigt til regn og blæst. – Jo højere man stiger til vejrs, jo mindre er barometerstandens gennemsnitsværdi; da forsøgene med luftpumpen viste os, at fortyndet luft trykker

mindre end tæt luft, må luften altså blive tyndere og tyndere opefter. Man har iagttaget stjernesud – d. v. s. meteorsten, der bliver glødende ved at gå gennem jordens atmosfære – i indtil 25 meterhøjde, så at luften i denne højde endnu er ret tæt. Luften har ingen bestemt grænse.

*Luftens tryk på en flade, der er 1 cm<sup>2</sup> stor.* Fig. 24 forestiller Torricellis apparat; lad os antage, at barometerstanden er 76 cm. På fladen *ab*, som er 1 cm<sup>2</sup> stor og ligger i overfladen af kviksølv i skålen, virker luftens tryk lodret nedad. Trykket på fladen *cd*, der ligger i samme vandrette lag og er lige så stort, er lig trykket på *ab*. Trykket på *cd* er vægten af den kviksølvssøjle, som ligger lodret over *cd*; denne søjles rumfang er 76 cm<sup>3</sup>, dens vægt altså  $76 \cdot 13,6$  g, d. v. s. lidt over 1 kg. *luftens tryk på 1 cm<sup>2</sup> er ca. 1 kg.*

I stedet for at angive trykket på en flade i kg, angiver man det ofte i cm; når man f. eks. siger, at trykket er 70 cm, mener man, at det er lig vægten af en kviksølvssøjle, som er 70 cm høj, og som har fladen til grundflade.

En vandsøjle, der trykker lige så meget som en 76 cm høj kviksølvssøjle, må være  $13,6 \cdot 76$  cm, d. v. s. ca. 10 m høj. Ville

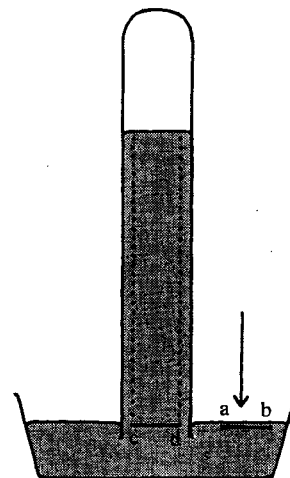


Fig. 24

man foretage Torricellis forsøg med vand, måtte røret altså være over 10 m højt.

Lufttrykket angives nu i *bar*. 1 bar (1000 millibar) = trykket af en 750 mm høj kviksølv søjle. 45. breddegrad  $0^{\circ}\text{C}$ .

## Andre barometre

*Stuebarometret* (fig. 25), der egner sig bedre til dagligt brug end Torricellis barometer, består af et bøjet glasrør; den lange gren er lukket foroven, den korte gren ender i en beholder, som er åben foroven. Rummet over kviksølvet i den lange gren er lufttomt. Barometerstanden er den lodrette afstand mellem kviksølvoverfladerne i røret og i beholderen. På den træplade, der bærer glasrøret, er der oppe ved rørets øverste ende anbragt et stykke af en målestok, hvis nulpunkt ville være lige ud for kviksølvoverfladen i beholderen, hvis hele målestokken var der. Bliver luftens tryk større, stiger kviksølvet i røret og synker i beholderen. Målestokken skulle altså egentlig flyttes, for

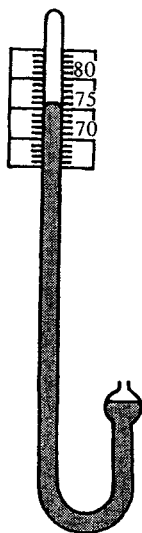


Fig. 25

at dens nulpunkt stadig kunne være lige ud for kviksølvoverfladen i beholderen; men da denne er bred i sammenligning med røret, får den fejl, der fremkommer ved, at målestokken er fast, kun ringe betydning.

*Aneroidbarometret* (på dansk: barometret uden væske) består af en omtrent lufttom metaldåse *M*, hvis låg og bund er meget tynde. *ab* er en stærk stålfjeder, som forhindrer, at æskens låg og bund presses sammen af luftens tryk. Stålfjederen stræber altså at trække låget opad. Fra *b* går en snor *bc* op omkring et hjul, hvorpå der er fastgjort en viser; snorens ende *c* er fastgjort til hjulets omkreds. Stiger nu lufttrykket, nærmer dåsens låg og bund sig til hinanden, *b* går nedad, og snoren drejer hjul og viser. Bliver lufttrykket mindre, går *b* opad. Snoren slappes, og en spiralfjeder (urfjeder), hvis ene ende er fastgjort på hjulet, den anden på en opstander, drejer hjulet, til snoren er stram. Viseren peger på en skala, hvis inddelinger er afsat ved sammenligning med et kviksølvbarometer.

Dåsens låg og bund er bølget, for at de bedre kan give efter for luftens tryk; men trykket er ikke større, end det ville være, hvis fladerne var plane.

Inde i en stue står barometret lige så højt som udenfor. Hvis lufttrykket f.eks. var større udenfor, ville luften presses ind gennem sprækker i vinduerne, indtil trykket var ens ude og inde.

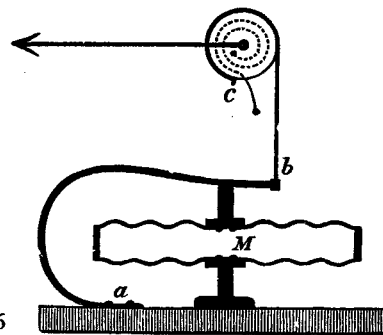


Fig. 26

## Boyle-Mariottes lov

Det er tidligere vist, at tæt luft trykker stærkere end tynd luft; vi vil nu måle, hvor meget trykket vokser, når luften sammenpresses.

Et bøjet glasrør er anbragt på et lodret bræt; rørets korte gren er lukket foroven, den lange gren er åben. Hælder vi kviksølv i den lange gren, stiger det kun et lille stykke op i den korte gren, hvor luften bliver sammenpresset. Luftens rumfang aflæses på en målestok, der er anbragt ved siden af den korte gren; dens tryk måles på følgende måde.

$a$  og  $b$  (fig. 27) er to lige store flader i samme vandrette lag;  $a$  vælges således, at den ligger i overfladen af kviksølvet i den korte gren. På  $a$  virker den indespærrede lufts tryk, som må være lig trykket på  $b$ . Trykket på  $b$  er vægten på kviksølvstøjlen  $bc$  + den ydre lufts tryk, der virker lodret nedad på  $c$  (fladen  $c$  er lige så stor som  $b$ ), og findes ved hjælp af barometret;

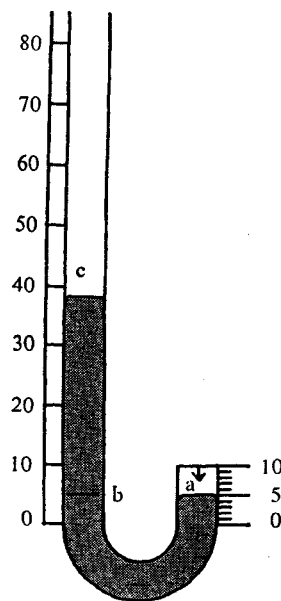


Fig. 27

er barometerstanden f. eks. 75 cm og afstanden mellem  $b$  og  $c$  20 cm, er luftens tryk på  $a$  95 cm. Vi har nu set, hvordan luftens rumfang og det tilsvarende tryk findes.

Hælder vi nu mere kviksølv i den lange gren, stiger det lidt i den korte gren, så at den indespærrede lufts rumfang bliver mindre. På samme måde som før måler vi luftens nye rumfang og det tilsvarende tryk, og således bliver vi ved nogle gange. Det viser sig da, at *produkterne af luftens rumfang og det tilsvarende tryk meget nær er lige store*. Denne regel kaldes *Mariottes lov* og kan udtrykkes således: *For en bestemt luftmasse er produktet af tryk og rumfang konstant ved samme temperatur*. Hvis luften opvarmes, samtidig med at den sammenpresses, stiger trykket desuden på grund af opvarmningen.

**Eksempler.** 1 liter luft har trykket 1 normalatmosfære (= 76 cm), hvor stort bliver trykket, når luften sammenpresses til  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{8}$  og  $\frac{1}{10}$  liter? Angiv resultatet i normalatmosfærer, i cm og i kg pr.  $\text{cm}^2$ . Hvor stort bliver trykket, hvis luftens rumfang forøges til 2 l og til 10 l?

Hvor højt vil en kviksølvstøje stå i det åbne rør, regnet fra nulpunktet, når kviksølvet i det lukkede rør står ved 2, og barometerstanden er 76 cm? Ved forsøgets begyndelse stod begge kviksølvoverflader ved 0.

Hvordan må det gå med luftens vægtfylde, når trykket bliver 2, 3 og 4 gange så stort som det oprindelige?

## Trykmåleren (manometret)

Det åbne manometer er et bøjet glasrør, der indeholder kviksølv, og hvis ene ende fører hen til en beholder  $B$ , som indeholder damp eller fortættet luft, hvis tryk man vil måle. Er trykket i  $B$  lige så stort som luftens tryk, står kviksølvet lige højt i rørets to grene. Er trykket i  $B$  større, stiller kviksølvet sig således, som figuren viser, og trykket findes på følgende måde. På fladen  $a$  virker det søgte tryk lodret nedad og er lige så stort som trykket på fladen  $b$ , der ligger i samme vandrette

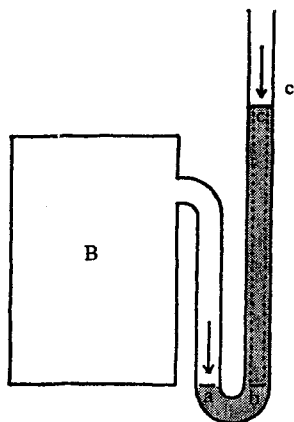


Fig. 28

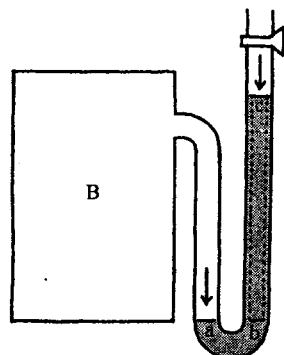


Fig. 29

plan og er lige så stort som *a*. Men trykket på *b* er vægten af den kviksølv søjle, der ligger lodret over *b* + luftens tryk på fladen *c*. Er søjlen *b c* f. eks. 12 cm høj og barometerstanden 78 cm, er det søgte tryk 90 cm; hvor mange normalatmosfærer er det, og hvor mange kg pr.  $\text{cm}^2$ ? Hvordan finder man trykket i *B*, hvis kviksølvet i grenen til venstre står 12 cm højere end i grenen til højre, og barometerstanden er 78 cm?

I *det lukkede manometer* er grenen til højre lukket foroven, og der er luft over kviksølvet i den lukkede gren. Når kviksølvet står lige højt i de to grene, er luftens tryk i den lukkede gren lige så stort som trykket i beholderen; lad os antage, at dette finder sted, når trykkene de to steder er 1 normalatmosfære. Når trykket i beholderen er større, står kviksølvet således, som figuren viser. Er rumfanget af luften i den lukkede gren f. eks. formindsket til en femtedel af det oprindelige rumfang, er dens tryk 5 normalatmosfærer ( $= 5 \cdot 76 \text{ cm}$ ); står kviksølvet i den lukkede gren 10 cm højere end i den anden gren, ser vi på samme måde som før, at trykket i beholderen er  $5 \cdot 76 \text{ cm} + 10 \text{ cm}$ . Hvor mange normalatmosfærer er det, og hvorfor ville det være upraktisk at benytte et åbent manometer til at måle så store tryk?

Ofte benyttes trykmålere af lignende konstruktion som aneroidbarometret; de inddeles ved sammenligning med et lukket manometer.

## Opdrift i luften

Om trykket på en flade i luften gælder der de samme sætninger som om trykket i væsker. Forsøg med barometret viser, at trykket på lige store flader i samme vandrette luftlag er lige store, og at trykket bliver mindre og mindre, jo højere man kommer til vejrs. At det nedadgående lufttryk på en vandret flade er lig vægten af den luftsøjle, der ligger lodret over fladen, indses på samme måde som ved væsker. Det opadgående lufttryk på fladen fremkommer ved, at de nedre luftlag er sammenpresset af de øvre luftlags vægt og stræber at udvide sig, hvorved de frembringer et tryk opad, der ifølge sætningen om aktion og reaktion er lige så stort som det nedadgående tryk. Man må dog erindre, *at sætningerne kun gælder, når væsken og luften er i ro*; man har således ikke lov til at anvende dem på vand, der strømmer gennem et rør, eller på luften, når det blæser.

Ligesom væsketrykket frembringer en opdrift på et legeme, der er nedsænket i væsken, fordi trykket opad på legemets underside er større end trykket nedad på legemets overside, således frembringer også luftens tryk en opdrift på legemer i luften, og opdriften må være lig vægten af den fortrængte luftmasse. Opdriften i luften kan påvises med apparatet fig. 30. På en lille vægtstang er der anbragt en hul glaskugle og et mindre, massivt metallod, der holder hinanden i ligevægt i luften. Op-

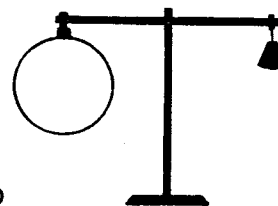


Fig. 30



Fig. 31

driften på kuglen er større end opdriften på loddet, fordi kuglen er størst. Stilles apparatet under luftpumpens klokke, og pumpes luften ud, forsvinder opdriften, og begge legemer bliver tungere; kuglen får den største vægtforøgelse og går nedad.

At et legeme, der er lettere end samme rumfang luft, vil stige, benyttes ved luftskibet. Et luftskib har omtrent form som en cigar. I skibets indre findes en række brintfyldte balloner, som bærer det oppe; det drives frem ved hjælp af flere benzinmotorer, der virker på lige så mange skruer. Styringen sker ved ror, der sidder på agterenden. På undersiden findes gondoler, hvor motorerne samt kahytterne er anbragt.

En flyvemaskine er tungere end luften og bæres kun oppe ved luftens tryk på vingerne, opdriften spiller ingen rolle. Farten frembringes ved en motordrevet luftskrue (propel), og styringen sker fra førersædet ved hjælp af rat og styreliner, der virker på højderor og sideror samt vingeklapper.

Idet flyvemaskinens vinge bevæges fremad, bliver lufttrykket på dens underside større, på dens overside mindre end atmosfærens tryk; jo større hastighed flyvemaskinen har, desto større bliver trykforskellen, og det er denne trykforskel, der bærer flyvemaskinen.

Fig 31 er et fotografi af en amerikansk to-motorers bombe-maskine (Mitchell). Hver motor udvikler 1700 hk, og maskinen kan flyve med en hastighed på 500 km. Maskinens længde er 15,8 m.

## Hæverten

*Stikhæverten* er et i begge ender åbent rør, som er snævert forneden og har en udvidelse på midten; den bruges, når man vil tage væske op af et kar uden at hælde det. Hæverten stikkes ned i væsken, og man suger luft ud af den. Luftens tryk på væskeoverfladen er nu større end trykket inde i hæverten og driver væske op i den. Tager man munden bort og sætter fingeren hurtigt for hævertens øverste ende, løber der næsten ingen væske ud af den, når den løftes op. Tages fingeren bort, løber væsken ud.

Den *togrenede hævert* er et bøjet rør, et glasrør eller en gummislange. Vi fylder røret med vand, holder for enderne, vender røret om og sætter enderne ned i to glas vand (fig. 33). Tages fingrene bort, løber vandet fra det ene glas over i det andet, indtil det står lige højt i dem begge. – De to glas er to forbundne kar. Hæverten er forbindelsesrøret, og forsøget er det samme som forsøget fig. 13 i en noget ændret form.

En hævert kan virke i et lufttomt rum, når blot ikke væske-søjleens sammenhæng ophæves af luftblærer, så lufttrykket har kun den betydning, at det hindrer, at der dannes luftblærer inde i røret af den luft, der i almindelighed er opløst i væsken. Jo større højdeforskel der er mellem de to kar, jo hurtigere vil væsken løbe, fordi væske-søjleens vægt i røret til højre bliver større end i røret til venstre.

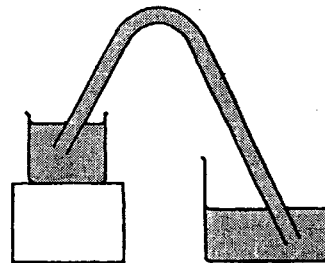


Fig. 32



Fig. 33

## Trykpumpen

Når man vil have vandet op fra en brønd eller tømme et bassin, benytter man en trykpumpe. Dens indretning fremgår af fig. 34. Til venstre ses pumperøret, hvori der er et tætsluttende stempel, forinden går pumperøret ned i et snævrere rør, der går ned i brønden, på grænsen sidder en ventil  $V$ , der kan åbnes opad. Til højre er der et smalt rør, som kaldes stigrøret. Foroven har det en tud  $T$ , og forinden, hvor det munder ud i det brede pumperør, er der en ventil  $K$ , som kun kan åbne sig ind i stigrøret. Vi tænker os, at vandet fra først af står lige højt i brønden og inde i pumpen, og at stemplet står i sin laveste stilling, d. v. s. lidt over ventilerne, som begge er lukkede. Hvad der sker, når man pumper, skal nu forklares.

*Stemplet går opad.*  $V$  åbner sig,  $K$  vedbliver at være lukket, luftens tryk på vandoverfladen i brønden presser vandet op i pumpen. Luften i stemplet går ud gennem låget  $LL$ , der ikke slutter lufttæt.

*Stemplet standser i sin øverste stilling.*  $V$  lukker sig,  $K$  vedbliver at være lukket. Hvorfor løber vandet i rummene  $P$  og  $R$  ikke ud?

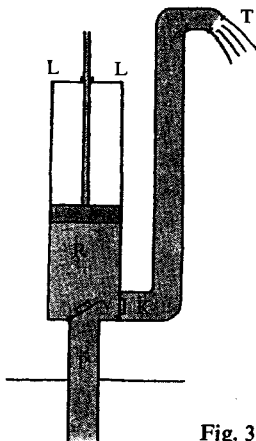


Fig. 34

*Stemplet går ned.*  $V$  vedbliver at være lukket,  $K$  åbner sig, og der presses vand over i stigrøret.

Hvordan stiller ventilerne sig, når stemplet standser i sin nederste stilling, og hvordan går det, når stemplet igen trækkes op og ned?

Stigrøret kan være lige så højt det skal være; jo højere tuden sidder, jo vanskeligere er det at trykke stemplet ned, fordi vandsøjlen fra  $K$  op til tuden skal hæves. Stiller man den fordring, at vandet hele tiden skal stå til underkanten af stemplet, mens dette går op, må afstanden mellem vandoverfladen i brønden og underkanten af stemplet i dettes øverste stilling højst være 10 m.

Det er dog kun nødvendigt, at vandet står et stykke over  $V$ , når stemplet er i sin øverste stilling. Som det fremgår er arbejdet med vandets hævnings fordelt på begge pumpeslag, hvilket er af betydning, når pumpen drives af en motor.

## Fortætningspumpen

Når man pumper luft ind i en cykelring, skruer man en fortætningspumpe fast på ringen, skruen er ikke tegnet med på figuren.

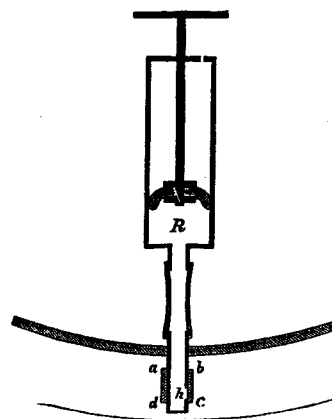


Fig. 35

Stemplet er en læderplade, hvis rand er bøjet nedad, og hvis midterste del er klemmt fast mellem to metalplader. Hullet  $h$  er lukket med et kort, tyndt gummirør  $abcd$ . Skydes stemplet nedad, presses der luft ned i det smalle rør. I hullet  $h$  trykker den så stærkt på gummirøret, at det giver efter, og luften bærer sig vej ind i cykelringen. Så snart stemplet standser i sin nederste stilling, lukker gummirøret igen for hullet.

Når nu stemplet trækkes op, fortyndes luften i rummet  $R$ , luften oven over stemplet presser læderpladens nedadbøjede rand til side og slipper langs pumpens indervæg ned i rummet  $R$ .

Fortætningspumper, der er konstrueret noget anderledes, anvendes til at pumpe luft ned til en dykker og til fortætning af luftarter.

## MEKANISK FYSIK II

### Bevægelse

Vi siger, at *et legeme har en jævn bevægelse, hvis det går lige langt i lige store tidsrum*; ellers kaldes bevægelsen ujævn.

*Hastigheden ved en jævn bevægelse er den vej længde, som legemet tilbagelægger i ét sekund.*

Er hastigheden  $v$  og den i  $t$  sekunder tilbagelagte vej  $s$ , har man

$$s = v \cdot t.$$

Kender man to af disse størrelser, kan vi altså beregne den tredje.

*Eksempler.* En mand går med hastigheden 1,5 m pr. sek.; hvor længe er han om at gå en mil ( $7\frac{1}{2}$  km) og en metermil (10 km)? Hvor langt er der fra København til Korsør, når et tog kan tilbagelægge vejen i 7 kvarter med hastigheden 17,5 m pr. sek.? Hvor stor er jordens hastighed i sin bane om solen, når jordbanens radius er 15 millioner metermil?

*Bevægelse i retlinet og krumlinet bane. Inertiens lov.* Når et legeme forandrer hastighed, er der altid et andet legeme, som er årsag til forandringen. Vi støder til en bog, så at den glider hen ad bordet. Ujævnheder i bordpladen griber ind i ujævnheder i bogens overflade og standser snart bogen. Det er den ujævne bordplade, der er årsag til hastighedsforandringen; jo glattere bordet er, jo længere glider bogen. — Et legeme, som ligger stille, har hastigheden 0; det forandrer kun hastighed, hvis det bliver påvirket af et andet legeme.

*Når et legeme forandrer bevægelsesretning, er et andet legeme altid skyld deri.* Når en kugle løber rundt i en cirkelformet rende, er det rendens ydervæg, der tvinger kuglen til at gå i den krumme bane.



Et legeme, som forandrer hastighed eller bevægelsesretning, må altså være underkastet påvirkninger fra andre legemer; sådanne påvirkninger kaldes *kræfter* (træk eller tryk). Kræfters størrelse måles i kg og kan findes med en fjedervægt.

*Der fordrer ingen kraft til at vedligeholde en jævn, retlinet bevægelse.* Sparker vi en sten hen ad en isflade, standses den efterhånden af gnidning og luftmodstand; jo glattere isen er, jo længere glider stenen. Var der ingen modstand, ville stenen åbenbart bevæge sig med jævn hastighed, indtil den stødte mod bredden.

Det foranstående kan sammenfattes i følgende regel, som kaldes *inertiens lov*: *Når et legeme forandrer hastighed eller bevægelsesretning, er der en kraft, der er skyld deri. Der fordrer ingen kraft til at vedligeholde en jævn, retlinet bevægelse.*

*Eksempler på inertiens lov.* Sættes en vogn i bevægelse med et ryk, falder man let bagover, fordi underkroppen følger med vognen, men overkroppen bliver i hvile. — Man kan få hammerhovedet til at sidde fast på skaftet ved at slå skaftet ned mod et bord; når skaftet standser, fortsætter hammerhovedet sin bevægelse og glider lidt længere ind på skaftet. — Springer man af en sporgvogn, standser fødderne, når de rører jorden, mens legemet fortsætter sin bevægelse; man kan da let falde og falder med hovedet i samme retning som vognen kører.

## Hastigheden ved en ujævn bevægelse

Når et legeme har ujævn bevægelse, siger man, at hastigheden stadig forandrer sig; følgende eksempel giver oplysning om, hvorledes man bestemmer hastigheden. Et tog kører på vandret banelinie fra *B* mod *A*; ved *C* begynder toget at bremse og kører stadig langsommere, indtil det standser ved *A*. Lige før toget når *D*, tilbagelægger det stykket  $a_1 = 0.007$  m ( $= 7$  mm) i tiden  $t_1 = \frac{1}{1000}$  sek. Bremsningen i så kort tid kan ikke forandre togets bevægelse synderlig, så at bevægelsen på strækningen  $a_1$  næsten er jævn. Kørte toget stadig med

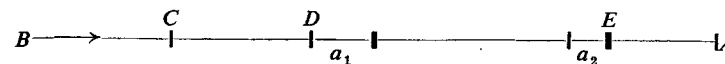


Fig. 36

samme hastighed som på strækningen  $a_1$ , ville det i hver tusindedel sekund køre 0,007 m, i et sekund altså 7 m ( $= \frac{a_1}{t_1}$ ).

Man siger, at hastigheden i *D* er 7 m; i virkeligheden kører toget ikke så langt i næste sekund. — Lige før toget når *E*, tilbagelægger det vejen  $a_2 = 0,002$  m i  $\frac{1}{1000}$  sek.; hvor stor er hastigheden i *E*?

Vi har forudsat, at bevægelsen i meget kort tid kan betragtes som jævn; denne forudsætning er nærmere ved at være rigtig, når vi vælger  $t_1$  mindre, f. eks. lige en milliontedel sekund eller mindre endnu (hastigheden i *D* ville da blive lidt mindre end 7 m). Af formelen for den jævne bevægelse ( $s = v \cdot t$ ) ser vi, at hastigheden er lig  $\frac{s}{t}$ , d. v. s. lig vejen divideret med tiden; ved den ujævne bevægelse får vi også hastigheden ( $\frac{a_1}{t_1}$ ) ved at dividere vejen med tiden, men vej og tid skal her være meget små, så små som muligt.

*Hastigheden i et punkt af en ujævn bevægelse defineres altså som vejen divideret med tiden, når vej og tid gøres så små som muligt.*

Under en ujævn bevægelse er hastigheden enten voksende eller aftagende. Forøges eller formindskes hastigheden lige meget i hvert sekund, kaldes bevægelsen *jævnt voksende* eller *jævnt aftagende*.

## Kræfternes sammensætning og opløsning

I en papskive, der ligger på et bord, er der boret et hul *a* og en tråd er bundet fast i hullet. Stikker vi en stift gennem *a* ned i bordet og trækker i tråden, rører skiven sig ikke. Stikker vi stiften gennem et andet punkt *b* og trækker i tråden, drejer

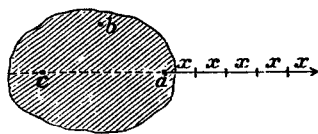


Fig. 37

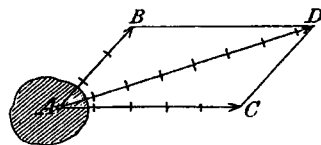


Fig. 38

skiven sig om *b*. Ved kraftens angrebepunkt forstår vi et punkt med den egenskab, at legemet ligger stille, hvis punktet gøres fast. Stikker vi stiften gennem andre punkter af papskiven og trækker i tråden, drejer papskiven sig, medmindre punktet ligger i snorens forlængelse (den punkterede linie). Vi kan altså selv vælge *a* til angrebepunkt, men vi kan lige så godt vælge ethvert andet punkt i snorens forlængelse.

Er den kraft, der virker på papskiven, 5 kg, kan vi på en tegning fremstille den således: Vi vælger en linie *x*, der skal forestille en kraft på 1 kg, og afsætter fra et af angrebepunkterne en linie 5 *x* i kraftens retning, det vil sige i den retning, hvori kraften kan bevæge legemet.

Tegningen forestiller et legeme, som er påvirket af to kræfter på 3 og 5 kg (*AB* og *AC*). Vi tegner nu det parallelogram *ABCD*, hvori de to kræfter er sammenstødende sider. Ved forsøg kan vi vise, at en kraft, der i størrelse og retning er lig diagonalen *AD*, kan erstatte kræfterne *AB* og *AC* (på figuren er *AD* mellem 7 og 8 kg). *ABCD* kaldes *kræfternes parallelogram*; *AD* kaldes *resultanten*. At finde resultanten kaldes *at sammensætte kræfterne*.

Går to kræfter i samme retning, er resultanten lig deres sum; går de i modsat retning, er den lig deres differens. Danner de to kræfter en vinkel med hinanden, må resultanten være mindre end kræfternes sum og større end deres differens.

Hvis et legeme oprindelig er påvirket af én kraft *AD*, må denne omvendt kunne erstattes med kræfterne *AB* og *AC*. I så fald siger vi, at vi har *opløst* en kraft i to andre kræfter, som kaldes *komposanterne*.

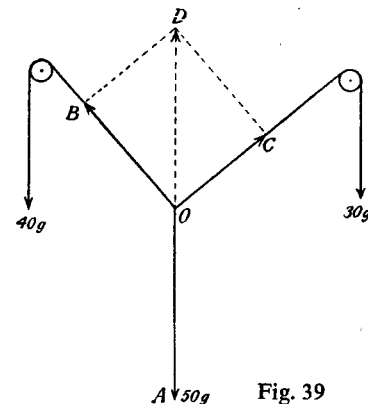


Fig. 39

*Forsøg over kræfternes parallelogram.* To meget letløbende trisser fæstes i ca. 1 meters afstand fra hinanden på den sorte tavle.

Derefter lægges en snor omkring trisserne.

De tre i snoren anbragte kræfter holder hinanden i ligevægt. Kraften *A* (50 g) kan imidlertid holdes i ligevægt af en lige så stor og modsat rettet kraft *D*.

*D* har samme virkning som *B* og *C* tilsammen. *D* er altså *B*'s og *C*'s resultant.

Ved at forbinde pilespidserne *CD* og *DB* finder man ved måling, at *OB* = *CD* og *OC* = *DB*, altså er figuren et parallelogram.

#### Eksempler.

1. To mænd trækker en båd op ad en å ved at trække i tovene

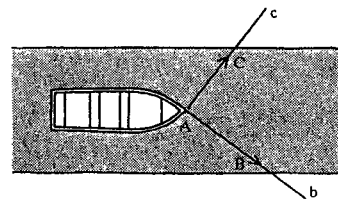


Fig. 40



Fig. 41

$Ab$  og  $Ac$ . Kraften  $AB$  er 8 kg,  $AC$  6 kg. Hvor stor er resultanten, hvis  $\angle CAB = 90^\circ$ ?

2. En mand trækker en slæde i et tov  $Ab$ ; trækket  $AB$  opløses i to kræfter, en vandret ( $AC$ ) og en lodret ( $AD$ ).  $AD$  stræber at vælte slæden bagover,  $AC$  bevæger den fremad. Hvor skal en byrde, der anbringes på slæden, helst lægges? Hvor store er  $AD$  og  $AC$ , når  $AB = 10$  kg og  $\angle BAC = 30^\circ$  eller  $45^\circ$ ?

3. Et legeme med vægt  $p$  kg, ligger på et skråplan  $BC$ ,  $p$  opløses i to kræfter:  $T$  vinkelret på skråplanet og  $K$  parallel dermed. Kaldes skråplanets højde  $h$ , dets længde  $l$ , har man da

$$\triangle ABC \sim \triangle abc; \frac{K}{p} = \frac{h}{l} \text{ eller } K = \frac{h}{l} \cdot p.$$

$K$  stræber at bevæge legemet ned ad skråplanet; er dettes højde f. eks. halv så stor som længden, er  $K$  kun halv så stor som legemets vægt. Et legeme, der glider ned ad et skråplan, bevæger sig langsommere, end hvis det faldt frit, dels fordi den kraft, der frembringer bevægelsen, er mindre end vægten, dels på grund af gnidningsmodstand.

Skal man have en tung ting op på en vogn, tager man bagsmækken af vognen og lægger et bræt med den ene ende på jorden, den anden på vognbunden. Nu forestiller den skrå linie brættet, hvorpå den genstand ligger, der skal slæbes op på vognen. Hvis brættet er glat, skal vi kun anvende en kraft, der er lidt større end  $K$ , for at få genstanden slæbt op. Da  $K$

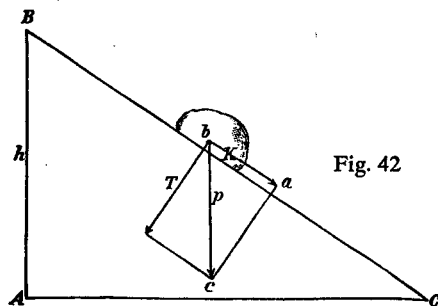


Fig. 42

er mindre end  $p$ , er det lettere at slæbe genstanden op ad brættet end at løfte den op i vognen.

Kører en vogn hen ad en vandret vej, skal hestene kun overvinde gnidningsmodstanden. Kører vognen op ad bakke, skal hestene tillige overvinde den modstand, som frembringes af kraften  $K$  (nu forestiller legemet vognen, den skrå linie bakken).

## Tyngdepunktet

Bor huller ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  og  $D$ ) i en papskive og hæng den op på tavlen ved at stikke en stift gennem et af hullerne,  $A$ . Til stiften fastgør vi en lodsno og tegner på papskiven den lodrette linie gennem  $A$  ved at føre et blyant langs lodsnoen. Hæng efterhånden skiven op i punkterne  $B$ ,  $C$  og  $D$  og tegn på samme måde som før de lodrette linier gennem disse punkter. Vi ser, at alle disse linier skærer hverandre i samme punkt  $T$ . Vi borer nu et hul gennem papskiven ved  $T$  og stikker stiften gennem hullet; skiven er nu i ro, hvilken stilling vi end giver den. I ethvert legeme er der et punkt med den egenskab, at legemet er i ro i en hvilken som helst stilling, når punktet understøttes; dette punkt kaldes tyngdepunktet.

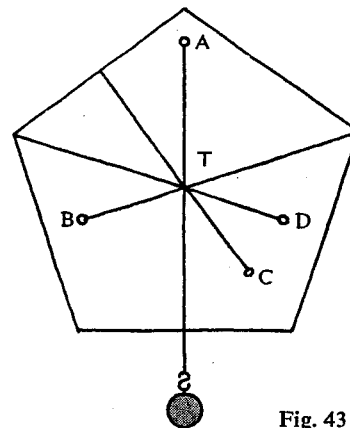


Fig. 43

Ifølge definitionen på en krafts angrebepunkt er et legeme i ro, når angrebepunktet understøttes; heraf følger, at tyngdepunktet kan vælges til angrebepunkt for tyngdekraften i enhver stilling af legemet. Tyngdekraften påvirker hver af de små partikler, hvoraf legemet tænkes sammensat, med en kraft, der går lodret nedad, og som er lig partiklens vægt; resultanten af alle disse parallelle kræfter må åbenbart have tyngdepunktet til angrebepunkt. Deraf følger, at hele legemets vægt kan tænkes samlet i tyngdepunktet. En lodret linie gennem tyngdepunktet kaldes *faldlinien*, fordi tyngdepunktet bevæger sig ad denne linie, når legemet falder.

Sætter vi stiften gennem et af papskivens huller, har vi set, at skiven er i ro, når tyngdepunktet ligger lodret under ophængningspunktet. Vi siger, at skiven er i *stadig ligevægt*, fordi den stadig vender tilbage til samme stilling, hvis vi støder til den. Vi kan også få skiven til at stå stille, når tyngdepunktet er lodret over ophængningspunktet, vi siger nu, at den er i *ustadig ligevægt*, fordi den ikke vender tilbage til samme stilling, når vi støder til den. Sættes stiften gennem tyngdepunktet, siger man, at den er i *ligegyldig ligevægt*. Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er i ro, findes tyngdepunktet i en lodret linie gennem omdrejningsaksen.

Får vi en stok til at balancere på en skarp kant, ligger dens tyngdepunkt nær ved understøtningspunktet (i den lodrette linie gennem dette punkt).

Når en sukkertop står på fladen, er den i stadig ligevægt, fordi den ikke vælter, når vi bringer den *lidt* ud af ligevægstillingen. Får vi den til at balancere på spidsen, er den i ustadig ligevægt.

Ved at bore fire huller i papskiven kan vi ved hjælp af to små stykker kobbertråd gøre en nøgle fast et sted på den og som før finde tyngdepunktet for legemet (papskive og nøgle); vi ser, at tyngdepunktet har flyttet sig hen mod nøglen. Dette forsøg gør det forståeligt, at tyngdepunktet for en belæst vogn ligger højere end for den tomme vogn, og at tyngdepunktet for en lampe, der har en svær fod, ligger lavt.

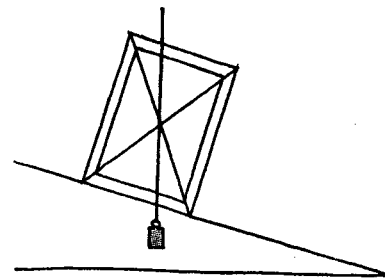


Fig. 44



Fig. 45

Tyngdepunktet for en kasse ligger midt inde i kassen; vi kan se det ved at hænge kassen op i forskellige punkter. På en af kassens sideflader tegnes de to diagonaler, og vi slår en stift ind i kassen i diagonalernes skæringspunkt. Kassen stilles på et bræt, og en lodsnores holdes således, at den under forsøget hele tiden berører stiftet. Tyngdepunktet ligger inde i kassen lige ud for stiftet; lodsnoeren er parallel med faldlinien.

Vi drejer brættet og lægger mærke til lodsnores stilling, når kassen vælter. (For at hindre kassen i at glide kan vi sætte en tegnestift fast i brættet lige neden for kassen). Vi ser, at et legeme vælter, når faldlinien falder uden for den flade, som legemet hviler på. Denne flade kaldes *understøtningsfladen*; en vogns understøtningsflade er den firkant, hvis vinkelspidser er de fire punkter, hvor hjulene berører vejen. Hvilken form har en stols understøtningsflade?

Hvorfor vælter en vogn lettest, når den er smalsporet og har højt læs?

En mand, der bærer en tung byrde på ryggen, hælder sig forover og flytter derved sit og byrdens fælles tyngdepunkt;

holder han en tung genstand i højre hånd, hælder han sig til venstre; hvorfor? Hvorfor er det lettere at stå på to ben end på et?

## Legemers fald gennem luften

Tager vi en stump papir i den ene hånd og et blyant i den anden og lader dem samtidig falde fra samme højde, ser vi, at blyanten når gulvet før papiret.

I et glasrør er der en fjer og en blyklump; glasrøret er indrettet således, at luften kan pumpes ud af det (fig. 45). Holder vi røret lodret, ligger fjer og blyet på bunden. Vender vi røret hurtigt om, ser vi, at blyet falder hurtigere end fjer. Pumper vi luften ud af røret og gør forsøget om, ser vi, at fjer og blyet falder næsten lige hurtigt. *Lette legemer med stor overflade falder langsomt på grund af luftmodstanden. I lufttomt rum falder alle legemer lige hurtigt.* Dette er Galilæis første faldlov.

Et legeme, der falder gennem luften, er påvirket af tyngdekraften, der virker lodret nedad, og luftmodstanden, der virker lodret opad. Når et legeme med stor overflade begynder at falde, er luftmodstanden fra først af mindre end tyngdekraften, og hastigheden vokser. Men når hastigheden vokser, bliver luftmodstanden større og er snart lige så stor som tyngdekraften; fra dette øjeblik af bliver bevægelsen jævn. *Når papir, fjer eller snefnug falder, er luftmodstanden lige så stor som tyngdekraften og ophæver den; bevægelsen bliver da jævn ifølge inertiens lov.*

*Vi skal nu have at vide, hvilke regler der gælder for faldet, når luftmodstanden er meget lille i sammenligning med tyngdekraften; dette finder f. eks. sted, når en sten falder.*

Under faldet trækker jorden hele tiden lige stærkt i stenen. Vi kan se det ved at veje stenen på en fjedervægt nede ved jordens overflade og højere oppe; den vejer lige meget begge steder (som vi senere får at se, er der dog en meget lille forskel).

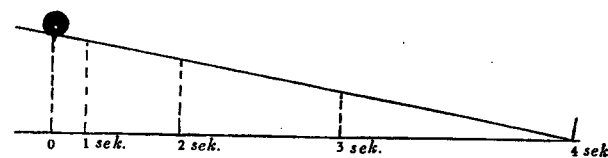


Fig. 46

*Stenens fald er altså en bevægelse, hvor kraften hele tiden er lige stor; man siger, at kraften er konstant.* Men stenens fald foregår så hurtigt, at vi ikke kan følge den med øjnene. Vi vil derfor undersøge en anden bevægelse, der foregår langsommere, men hvor kraften også er konstant. Dette kan ske ved hjælp af skråplanet.

*Skråplanet.* Vi lader en kugle trille ned ad et glat skråplan, hvis højde er lille i sammenligning med længden. Skråplanet kan være dannet af to parallelle, godt 2 m lange jernstænger. Den kraft  $K$ , der frembringer bevægelse (se eksempel 3, side 42), er konstant og mange gange mindre end legemets vægt; bevægelsen bliver derfor så langsom, at vi kan følge den med øjnene. Vi afmærker nu med kridtstreger, hvor langt kuglen er kommen efter 1, 2, 3 sekunders forløb; er vejen i første sekund f. eks. 10 cm, viser det sig, at kuglen i to sekunder løber  $10 \cdot 2^2$  cm, i 3 sek.  $10 \cdot 3^2$  cm o. s. v. Kalder vi den i 1. sek. gennemløbne vej  $a$  cm, den i  $t$  sek. gennemløbne vej  $s$  cm, har vi altså

$$s = a \cdot t^2.$$

Forsøget udføres bedst således: Ved at prøve sig frem finder man så nøjagtigt som muligt faldvejen f. eks. i 4 sek.; hvis loven er rigtig, må faldvejen  $a$  i første sekund være 16 gange mindre. Man afsætter kridtmærker på bordet lige ud for endepunkterne af stykket  $a$ ,  $4a$ ,  $9a$ ,  $16a$  (og  $25a$ ) og ser, om kuglen passerer disse punkter efter 1, 2, 3, 4 (og 5 sekunders) forløb. Tiden måles med en metronom.

Som det fremgår af forsøget med skråplanet *forholder faldvejene sig som kvadratet på tiderne.* Dette er Galilæis anden faldlov.

Når kraften er konstant, er legemets hastighed jævnt voksende, og vi kan da finde vejlængden, et legeme bevæger sig i  $t$  sekunder, ved at betragte bevægelsen som jævn og regne med middelhastigheden ved begyndelsen og slutningen af bevægelsen.

Ved begyndelsen er hastigheden  $o$  og ved slutningen  $v$ ; vi får da, at vejlængden er lig  $\frac{o + v}{2} \cdot t$ , der atter er lig  $at^2$ ,

$$\text{eller } \frac{v}{2} t = at^2, \text{ hvoraf vi får}$$

$$v = 2at.$$

Hastigheden forøges med  $2a$  i sekundet; hastighedsforøgelsen er altså lig den dobbelte vejlængde i første sekund, denne hastighedsforøgelse kaldes *acceleration*. Giver vi skråplanet større hældning, vokser kraften, og den tid, det tager for legemet at gennemløbe skråplanets længde, bliver kortere. Man kan vise, at *legemets acceleration er proportional med kraften*.

Et legeme, der falder frit, er som tidligere nævnte påvirket af en *konstant* kraft, tyngdekraften, og følgelig må de samme love gælde som ved bevægelsen på skråplanet; det er kun størrelsen  $a$ , der får en anden værdi.

Ved det frie fald er  $a = 5$  m og betegnes med  $\frac{1}{2}g$ ;  $2a$  får altså værdien  $10$  m og sættes lig  $g$ ;  $g$  betegner *tyngdens acceleration*, og vi får

$$s = \frac{1}{2}gt^2; v = gt.$$

Eksempel. Hvor langt falder et legeme i 10 sekunder, og hvor stor er hastigheden?

Hvilken hastighed opnår et legeme ved et fald på 320 m?

Hvor lang en vej gennemløber et frit faldende legeme i 1', 2', 3' ...  $n^{\text{te}}$  sekund?

Mærk: Vi har forudsat, at tyngdekraften er konstant, dette er praktisk talt rigtigt, når afstanden mellem legemet og jorden er lille. Tyngdekraften er et eksempel på almindelig tiltrækning mellem legemer; for denne gælder, at *tiltrækningen står i om-*

*vendt forhold til afstandens kvadrat*. Det er denne tiltrækning, der holder planeterne i deres baner omkring solen. Loven er fundet af den engelske fysiker Newton.

## Vægtstangsreglen

Tegningen forestiller et legeme, der kan dreje sig om en akse  $A$  og er påvirket af en kraft  $P$ . En linie  $a$  fra  $A$  vinkelret på kraftens retning kaldes *kraftens arm*. *Produktet af kraften og dens arm kaldes kraftens moment*.

En stang er anbragt således, at den kan dreje sig om en akse. Dens tyngdepunkt ligger lodret under aksen; den er altså i ro i vandret stilling. Med lige store mellemrum er der anbragt en række kroge; den første er f. eks. 2 cm fra aksen, den næste 4 cm o. s. v.

Vi kan frembringe træk nedad i krogene ved at hænge lodder på dem. Vi hænger et lod, der f. eks. vejer 100 g, på krog 6 (til venstre) og prøver, hvor meget vi må hænge på krog 3 (til højre), for at stangen skal forblive i ro; vi må hænge 200 g på. Trækket til venstre er 100 g, dets arm 12 cm; det har momentet  $100 \times 12$ . Trækket til højre har momentet  $200 \times 6$ ; de to momenter er lige store. Prøver vi os frem med forskellige vægte på forskellige kroge, ser vi, at *stangen kun er i ro i vandret stilling, når momenterne er lige store*.

Der gælder altid følgende regel: *Når et legeme, der kan dreje sig om en akse, er påvirket af en kraft, kan denne ophæves af en anden kraft, der drejer modsat vej, hvis de to kræfter har*

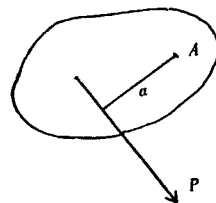


Fig. 47

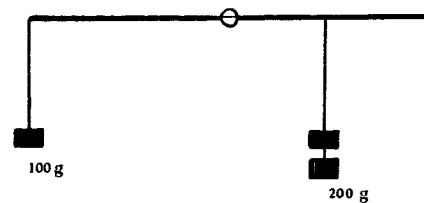


Fig. 48

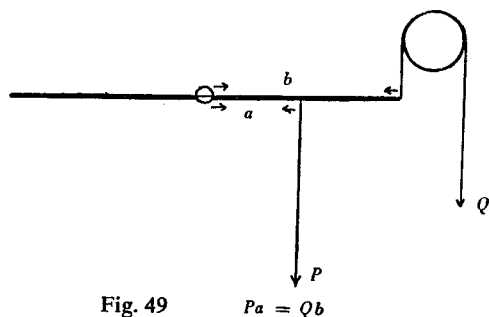


Fig. 49

$$Pa = Qb$$

samme moment. En lille kraft med en lang arm kan altså opveje en stor kraft med en kort arm. Et legeme, der kan dreje sig om en akse, kaldes tit en vægtstang, selv om det ikke har form af en stang; reglen kaldes derfor *vægtstangsreglen*.

I det foregående forsøg virkede der een kraft på hver side af omdrejningsaksen. Hænger vi lodder på mere end to kroge, virker der mere end een kraft på hver side af omdrejningsaksen, og forsøget viser da, at *der er ligevægt, når summen af de momenter, der drejer den ene vej, er lig summen af de momenter, der drejer den anden vej*.

Hvis vægtstangen er enarmet, d. v. s. hvis alle kræfterne virker på samme side af omdrejningsaksen, gælder der de samme regler, og de kan bevises med samme apparat. Da mindst een af kræfterne må gå opad, skal der frembringes et træk opad i stangen; dette sker ved at fastgøre en tråd til stangen, lægge en tråd over en trisse, der er oven over stangen, og hænge et lod i trådens frie ende.

## Eksempler på vægtstangsreglens anvendelse

En mand vil vælte en sten med en *løftestang*. Stangens omdrejningsakse ligger ved *a*. Manden trykker på enden af stangen med en kraft *P*, der er vinkelret på stangen og frembringer

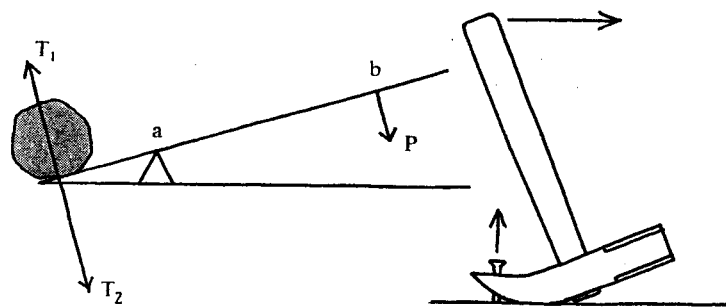


Fig. 50

Fig. 51

derved et tryk  $T_1$  på stenen. Stenens modtryk på stangen ( $T_2$ ) er lig  $T_1$ ; for nemheds skyld antager vi, at  $T_2$  er vinkelret på stangen. Er nu  $ac = 2$  dm,  $ab = 10$  dm og  $P = 20$  kg, har vi:  $T_2 \times 2 = 20 \times 10$ , hvoraf  $T_2 = 100$ . Ved at anvende en kraft på 20 kg har manden frembragt et tryk på 100 kg. (Fig. 50).

Af to drenge vejer den ene 30 kg, den anden 50 kg. Den dreng, der vejer mindst, sidder på den ene ende af et vandret vippebræt, som er 4 m langt. Hvor omtrent skal den anden dreng sidde, for at den ene ikke skal tynge den anden ned?

Man kan trække et søm ud af et bræt med en hammer. Tegningen viser, hvordan man skal holde *hammeren*; *P* er den kraft, hvormed man trykker på hammerskaftet. Vi betragter hammeren som en vægtstang; hvor er omdrejningsaksen, kræfterne og deres arme? Hvorfor er sømmet lettere at få ud, når hammeren har langt skaft?

Hvor er vægtstangen på *brødmaskinen*, hvordan opstår kræfterne *P* og *Q*, og hvor er deres arme? Hvorpå beror det, at trykket på brødet er større end den anvendte kraft?

Anvend vægtstangsreglen på knibtangen, saksen og nøddeknækkeren.

På den almindelige *skålvægt* er der en vandret vægtstang, der kan dreje sig om en akse. Tager vi skålene af og støder til stangen, ser vi, at den kommer i ro i sin oprindelige stilling.

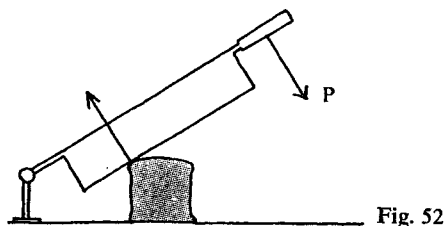


Fig. 52

Tyngdepunktet ligger altså under aksen, så at stangen er ophængt på samme måde som ved forsøget fig. 48. Skålene er ophængt i to punkter, der har samme afstand fra aksen, og den linie, der går gennem skålenes ophængningspunkter, går gennem aksen. Da armene er lige lange, kan vægtstangen kun stå vandret, når den ene skål og det, der ligger på den, vejer lige så meget som den anden skål og det, der ligger på den. Da skålene er lige tunge, må de ting, der ligger på skålene, veje lige meget. Når man vejer en ting, begynder man med et lod, der er for tungt, derpå prøver man det næste lod o. s. v., man springer aldrig lodder over.

Man kan prøve, om armene er lige lange, ved at lægge lige tunge lodder på skålene; vægtstangen skal da stå vandret. Er vægten falsk (d. v. s. den ene arm er længere end den anden), kan man alligevel veje rigtigt på den. Man lægger den ting, der skal vejes, på den ene skål og hagl på den anden, indtil vægtstangen står vandret. Tager man nu tingen bort og erstatter den med lodder, indtil stangen igen står vandret, må tingen og lodderne veje lige meget.

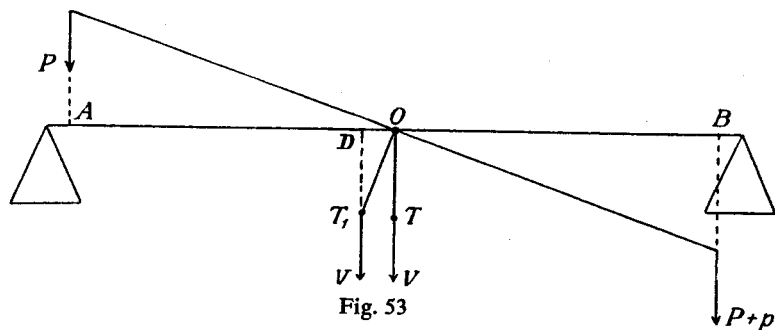


Fig. 53

På fig. 53 er  $O$  omdrejningsaksen,  $T$  vægtstangens tyngdepunkt,  $V$  dens vægt; selve vægtstangen er ikke tegnet med. Skålene og det, der ligger på dem, har vægten  $P$ ; er der desuden på skålen til højre en overvægt  $p$ , står vægtstangen skråt, og  $T$  kommer i stillingen  $T_1$ . De to kræfter  $P$  har lige store arme ( $OA$  og  $OB$ ) og holder hinanden i ligevægt. Da der er ligevægt i den skrå stilling, må desuden

$$V \cdot OD = p \cdot OB.$$

I decimalvægten er loddernes arm 10 gange så lang som den arm, der bærer det, der skal vejes. En ting, der vejer 200 kg, kan altså vejes med et lod på 20 kg. Fordelen ved denne vægt er, at man kan veje tunge ting med lettere lodder.

Vinden består af en valse, som kan drejes rundt med et håndsving, der er længere end valsens radius. Til et punkt på valsen er der fastgjort et reb, i hvis nederste ende der hænger en byrde, f. eks. en spand. Drejer man håndsvinget rundt, vikles rebet om valsen, og spanden hæves. Vi vil finde, hvor stort et tryk  $P$  vi må udøve vinkelret på håndsvinget for at forhindre spanden i at rutche ned. Lad spanden med indhold veje 30 kg; valsens radius er 2 dm og håndsvinget 6 dm. Til angrebepunkt for spandens vægt kan vi vælge ethvert punkt i den lodrette del af rebet, f. eks.  $a$ . Vi har da:  $30 \times 2 = P \times 6$ , hvoraf  $P = 10$  kg. For at hæve spanden, må vi anvende en kraft, der er lidt over 10 kg, da vi skal overvinde gnidningsmodstanden mellem valsens tapper og taplejerne. Med vinden kan vi hæve en byrde ved hjælp af en kraft, der er mindre end byrdens vægt; jo længere håndsving, jo mindre kraft.

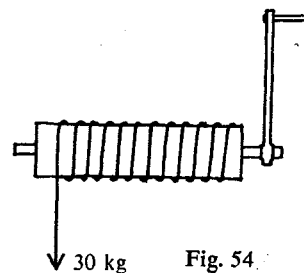


Fig. 54

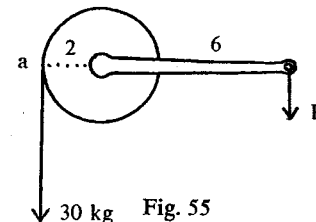


Fig. 55



## Arbejde

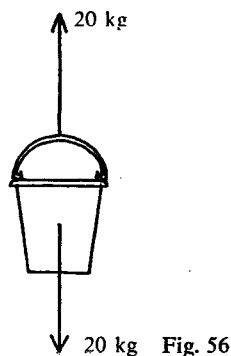
Der udføres et arbejde, når et legeme bevæger sig og er påvirket af en kraft, hvad enten denne er en bevægende kraft eller en modstand.

I. *Arbejdet målt ved modstanden.* Løfter vi en spand, der vejer 20 kg,  $\frac{1}{2}$  m op, siger vi, at der er udført et arbejde på  $20 \times \frac{1}{2}$  kilogrammeter (kgm). Når en byrde hæves, måles arbejdet ved produktet af byrdens vægt og den vej, som byrden er hævet.

II. *Kraftens arbejde.* Håndens træk i spandens hank er den kraft, der frembringer bevægelsen. Fører vi spanden opad med jævn hastighed, går håndens træk lodret opad og må ifølge inertiens lov være 20 kg; til angrebspunkt for dette træk kan vi passende vælge hankens øverste punkt *a*. Under bevægelsen hæves dette punkt også  $\frac{1}{2}$  m, og vi siger, at kraftens arbejde er  $20 \times \frac{1}{2}$  kgm. Når en kraft virker på et legeme, som bevæger sig i kraftens retning, måles arbejdet ved produktet af kraften og den vej, som kraftens angrebspunkt har flyttet sig.

Vi ser, at kraftens arbejde og arbejdet målt ved modstanden er lige store, når spanden løftes med en jævn hastighed (de er begge 10 kgm).

Er håndens træk f. eks. 22 kg, går spanden opad med voksende hastighed. Hæves spanden  $\frac{1}{2}$  m, er kraftens arbejde



$22 \times \frac{1}{2}$  kgm, arbejdet målt ved byrden  $20 \times \frac{1}{2}$  kgm. Kraften må udføre et større arbejde, når legemet bevæger sig med voksende hastighed, end når bevægelsen er jævn

Slæber vi en genstand hen ad et vandret underlag, er det ikke tyngden, men gnidningsmodstanden, der skal overvindes. Er denne 5 kg og vejen 12 m, er arbejdet 60 kgm. Er den kraft, der udfører arbejdet, vandret, må den ifølge inertiens lov være 5 kg, hvis bevægelsen er jævn; kraftens arbejde er altså 60 kgm. Foregår bevægelsen derimod med voksende hastighed, må kraften være mere end 5 kg; kraftens arbejde er altså større end arbejdet målt ved modstanden, hvis legemets hastighed forøges.

En maskines arbejdssevne beror ikke alene på, hvor stort arbejde maskinen kan udføre, men også på, hvor lang tid den er om det. Man siger, at en maskine er på 1 hestekraft (hk), hvis den i 1 sekund kan udføre et arbejde på 75 kgm. En stor dampmaskine er på flere tusinde hk.

Et arbejde på f. eks. 36 kgm kan fremkomme på forskellige måder:

byrden kan veje 4 kg og være hævet 9 m, eller  
byrden kan veje 3 kg og være hævet 12 m, eller  
byrden kan veje 2 kg og være hævet 18 m o. s. v.

## Maskiner

Ved maskiner vil vi forstå redskaber, hvormed vi kan løfte byrder.

En *trisse* er en rund skive med en fure i kanten; den kan dreje sig om en akse, der hviler i en gaffel. Er gafflen fastgjort til en bjælke, kaldes trissen en *fast trisse*. Vi lægger en snor over trissen og binder en byrde *B* fast i den ene ende af snoren. Vi vil finde, hvor stærkt vi skal trække i snorens anden ende for at forhindre byrden i at rutche ned.

Om trækket frembringes med hånden eller på anden måde

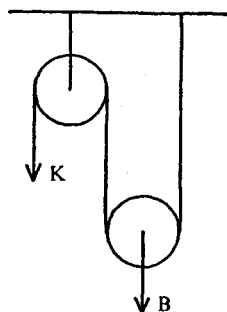


Fig. 58

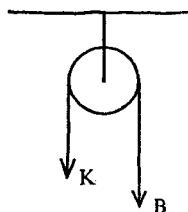


Fig. 57

er ligegyldigt. Det er lettest at lade tyngdekraften frembringe trækket ved at hænge et lod  $K$  i snoren; vi ved da, at trækket er lig loddets vægt. Det viser sig, at *byrden er i ro, når loddet og byrden er lige store.*

For at få byrden hævet kan vi give loddet  $K$  et stød fra oven. Hvis trissen løber meget let, fortsætter byrden sin bevægelse opad med jævn hastighed. Lad os antage, at byrden vejer 8 kg, og at den hæves 4 m; kunne vi løfte den så højt med hænderne, måtte vi udføre et arbejde på 32 kgm. Da trækket i snoren ( $K$ 's vægt) er 8 kg, og da loddet  $K$  er gået 4 m ned, er kraftens arbejde også 32 kgm. *Når en mand løfter en byrde ved hjælp af en fast trisse, må han anvende samme kraft og udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne. Fordelene ved at anvende en fast trisse ligger i, at han kan blive stående på samme sted, medens han udfører arbejdet og kan anvende et nedadgående træk, som er lettere at frembringe end et opadgående.*

En fast trisse kan anvendes i forbindelse med en *løs trisse*. Byrden  $B$  hænger i den løse trisses gaffel, og snoren er anbragt således, som tegningen viser. Vi vil finde, hvor stærkt vi skal trække i snorens frie ende, for at byrden ikke skal rutche ned. (Man må enten regne vægten af den løse trisse med til byrdens vægt, eller – hvad der er det nemmeste – afbalancere den løse trisse med et kontralod, inden byrden anbringes på sin plads).

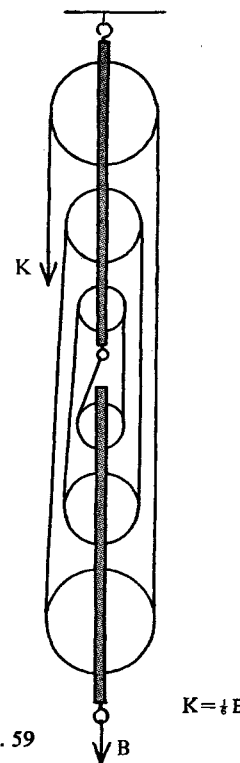


Fig. 59

Ligesom før kan trækket frembringes af et lod  $K$ . Det viser sig, at *loddet kun skal veje halvt så meget som byrden.*

Giver vi loddet et stød fra oven, går byrden opad og loddet nedad med jævn hastighed, hvis gnidningsmodstanden i apparatet er meget lille. Lad byrden veje 10 kg; hæves den 4 m, går loddet  $K$  8 m ned. Da loddet vejer 5 kg, er kraftens arbejde  $5 \times 8$  kgm, arbejdet målt ved modstanden  $10 \times 4$  kgm; de to arbejder er lige store. *Når en mand hæver en byrde ved hjælp af en løs trisse, skal han kun anvende halv så stor kraft, men samme arbejde, som hvis han løftede den med hænderne.*

*Taljen* består af to gaffler; i hver gaffel er der tre trisser (undertiden kun to). Den øverste gaffel er gjort fast til en bjælke;

byrden  $B$  hænger i en krog i den nederste gaffel. Snoren er viklet om trisserne, således som tegningen viser; dens ene ende er bundet i en krog i den øverste gaffel. Vi skal så undersøge, hvilken kraft der skal til for at holde byrden oppe. Som sædvanlig frembringer vi trækket ved hjælp af et lod  $K$ . *Det viser sig, at loddet skal veje  $\frac{1}{6}$  af byrden, hvis gnidningsmodstanden i apparatet er meget lille.*

Vejer byrden 60 kg, kan vi altså hæve den med jævn hastighed med en kraft på 10 kg. Hæves byrden 2 m, må hver af snorene blive 2 m kortere; loddet går 12 m ned. Kraftens arbejde er  $10 \times 12$  kgm. Arbejdet målt ved modstanden  $60 \times 2$  kgm; de to arbejder er lige store. *Når en mand hæver en byrde ved hjælp af en talje, som har 3 trisser i hver gaffel, skal han kun anvende en kraft, der er  $\frac{1}{6}$  af byrdens vægt. Han må udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne.*

*Den faste trisse, den løse trisse og taljen kaldes maskiner. Af andre maskiner har vi tidligere omtalt vinden og skråplanet. Hvad var fordelene ved at bruge et skråplan?*

Ved vinden så vi, at en kraft på 10 kg holder ligevægt mod en byrde på 30 kg, når håndsvinget er 6 dm ( $\frac{3}{5}$  m) og valsens radius 2 dm ( $\frac{1}{5}$ ). *Kraften er lige så mange gange mindre end byrdens vægt, som håndsvinget er længere end valsens radius.*

Hvis gnidningen mellem valsens tapper og taplejerne er meget lille, kan vi dreje håndsvinget rundt med jævn hastighed ved at anvende en kraft på 10 kg. Drejer vi håndsvinget een gang rundt, gennemløber kraftens angrebepunkt vejen  $2\pi \cdot \frac{3}{5}$  m; dens arbejde er  $10 \times 2\pi \cdot \frac{3}{5}$  kgm  $= 12\pi$  kgm. Byrden hæves et stykke, der er lig valsens omkreds ( $2\pi \cdot \frac{1}{5}$ ), arbejdet målt ved modstanden bliver  $30 \times 2\pi \cdot \frac{1}{5} = 12\pi$  kgm. *Når en mand hæver en byrde med vinden, kan han anvende en kraft, der er mindre end byrdens vægt; men han må udføre samme arbejde, som hvis han løftede byrden med hænderne.*

*Ved hjælp af maskiner kan vi løfte en byrde med en kraft, der er mindre end byrdens vægt; men vi må altid udføre sam-*

*me arbejde, som hvis vi løfter byrden med hænderne. Arbejdet kan vi altså ikke slippe for, hvad der stemmer med en bekendt sætning, energisætningen, som vi først senere kan omtale.*

De store kraner ved havnene er en kombination af tandhjul, vinden og trissen.

## Centripetalkraft

Et legeme, der bevæger sig i en krumliniet bane, må ifølge inertiens lov være påvirket af en kraft, da legemet ellers ville gå i en ret linie. Vi vil kun betragte det tilfælde, at banen er en cirkel. Lad kraften være  $K$ ; den opløses i to komponenter  $C$  og  $T$ ;  $C$  er rettet mod cirkelns centrum, og  $T$  går i retning af tangenten.  $T$ , der kaldes *tangentialkraften*, vil forøge eller formindske legemets hastighed; er  $T = 0$ , er bevægelsen jævn.  $C$ , der kaldes *centripetalkraften* eller den midtpunktsøgende kraft, er den kraft, der holder legemet i den cirkelformede bane. *Centripetalkraften er altså den komponent af den virkende kraft, der i en cirkelformet bevægelse er rettet mod centrum.*

Den centripetalkraft, der er nødvendig for at holde legemet i en cirkelformet bane, afhænger af legemets hastighed og vægt og af cirkelns radius. *Centripetalkraften skal være størst, når*

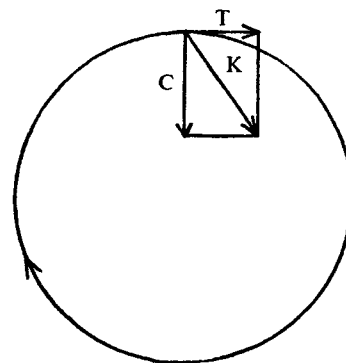
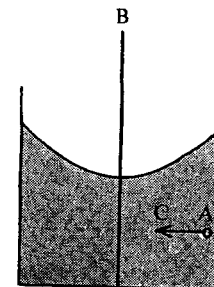


Fig. 60



D  
Fig. 61

banen er stærkt krummet (d. v. s. når radius er lille), når legemet er tungt, og når hastigheden er stor.

Er den mod centrum rettede kraft for lille, d. v. s. mindre end den nødvendige centripetalkraft, fjerner legemet sig fra centrum i en spiralførmig bane; er den for stor, bevæger legemet sig i en spiral ind mod centrum.

1. Slinger vi en sten rundt i en snor med jævn hastighed, strammes snoren og bliver lidt længere; vi kan se det, hvis snoren er af kautsjuk. Snoren stræber at trække sig sammen og frembringer derved det træk i stenen, som uafbrudt forandrer dens bevægelsesretning. Snorens træk i stenen er her centripetalkraft. Går snoren itu, farer stenen bort efter tangenten til det punkt af cirklen, hvor stenen i øjeblikket befinder sig; den kraft, som holder stenen i cirklen, forsvinder nemlig, når snoren går itu. Man ser undertiden det udtryk, at det er „centrifugalkraften“, der får stenen til at gå bort efter tangenten; dette udtryk er misvisende, da den netop forlader cirklen, fordi der *ingen* kraft er til at holde den i cirklen.

2. Når en sporvogn kører i en krumning, trykker hjulene udad på skinnerne; skinnernes modtryk holder sporvognen i dens bane. — Jorden holdes i sin bane af solens tiltrækning. Månen holdes i sin bane af jordens tiltrækning.

3. *A* er en lille væskedel i en væskemasse, der roterer om aksen *BD*. *A* beskriver en cirkelførmig bane med centrum i aksen, og den nødvendige centripetalkraft *C* skyldes trykket fra den omliggende væske. Tænker man sig nu på *A*'s plads anbragt en væskedel af en tungere væske, ville der kræves en større centripetalkraft til at holde denne væskedel i banen; men da den omliggende væskes tryk bliver uforandret, er det mindre end den nødvendige centripetalkraft, og den tunge væskedel må søge ud mod karvæggen. Det er derfor, at mælken i mælkecentrifugen samler sig yderst, medens den lettere fløde samler sig inde ved omdrejningsaksen. Bringes et kar, hvori der er kviksølv og vand, i hurtig rotation, samler kviksølvet sig yderst.

4. Når en cyklist kører rundt i en kreds, hælder han sig ind

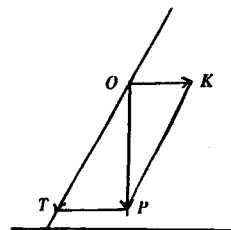


Fig. 62

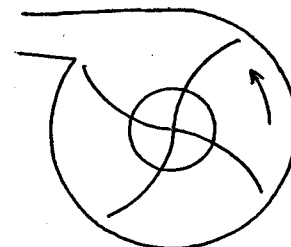


Fig. 63

mod kredsens centrum. Den skrå linie *OT* (fig. 62) forestiller et snit gennem cyklisten og cyklen, og *O* er det fælles tyngdepunkt, den vandrette linie er vejbanen. For at forstå hvorfor cyklisten hælder sig indad, opløser vi tyngdekraften (*P*) i to komponenter, den ene (*K*) er vandret, den anden (*T*) træffer jorden, hvor cykelhjulet træffer vejen. *K* er centripetalkraften. Jo hurtigere han kører, jo større skal *K* være. Tegner vi cyklisten i mere skrå stilling, ser vi, at *K* bliver større, *T* udøver et skråt tryk på vejen, er denne glat, er der fare for, at cyklen glider ud. Cyklebaner anlægges med hældning ind mod banens centrum, derved opnås, at trykket bliver nærmere vinkelret på banen, og faren, for at cyklen glider, formindskes.

5. I centrifugalblæseren (fig. 63) sættes luften i hurtig rotation, når skovlene drejes rundt. Luftdelene kommer ikke til at bevæge sig i cirkler med centrum i skovlenes akse, fordi den nødvendige centripetalkraft mangler, men fjerner sig ud mod blæserens ydervæg og farer i overensstemmelse med inertiens lov ud gennem åbningen *a*. Inde ved aksen bliver luften fortyndet, og ny luft strømmer ind gennem det hul, der er dér. Fører der et rør fra hullet ned i vand, suges der vand op i blæseren, og med dette vand går det, ligesom det før gik med luften; vandet går ud gennem åbningen *a*, og apparatet er nu blevet til en centrifugalpumpe. Støvsugeren er en centrifugalblæser, hvor en gummislange fører fra hullet hen til den ting, som støvet skal suges ud af.

Centrifugalpumpen får udstrakt anvendelse, hvor store bas-

siner skal tømmes for vand og ved tørlægning af arealer (våde enge, havbund), der skal gøres tjenlige til dyrkning.

6. Et legeme vejer mere ved polerne end ved Ækvator, hvis det vejes på en fjedervægt. Grunden hertil er dels, at legemet ved polerne er nærmest jordens centrum, dels – og væsentlig – jordens akseomdrejning. Lad os tænke os, at legemet var ved Ækvator, og at jorden drejede sig så hurtigt, at legemets vægt netop var lig den nødvendige centripetalkraft; i så fald ville legemet ikke trykke nedad på sit underlag, d. v. s. det ville ikke veje noget. Da jorden nu ikke drejer sig nær så hurtigt, er den nødvendige centripetalkraft kun en lille brøkdel af legemets vægt; men denne brøkdel medgår udelukkende til at holde legemet i den cirkelformede bane og mærkes ikke som tiltrækning. Et legeme, der ved Ækvator vejer 200 kg, vejer hos os lidt mere, fordi den nødvendige centripetalkraft her er mindre; ved polerne vejer det 201 kg. – På en almindelig vægtskål vejer et legeme lige meget overalt, fordi loddernes vægt forandrer sig i samme forhold som legemets.

## Pendulet

Et enkelt pendul er et lille lod, der er ophængt i en tynd tråd; afstanden  $l$  fra ophængningspunktet til loddets midte kaldes *pendullængden*. Fører vi loddet lidt ud til siden så at snoren danner en vinkel  $\nu$  med sin oprindelige stilling, og slipper vi loddet, svinger pendulet frem og tilbage.  $\nu$  kaldes *fjerningsvinklen*; den tid, som pendulet er om at gå fra den ene yderstilling til den anden, kaldes *svingningstiden*.

Det er tyngdekraften, der får pendulet til at svinge. På fig. 64 er  $a$  pendulets hvilestilling,  $b$  og  $b_1$  dets yderstillinger. I en vilkårlig stilling af pendulet ( $c$ ) opløser vi loddets vægt  $p$  i to komponenter  $q$  og  $r$ , således at  $q$  går i snorens forlængelse,  $r$  efter tangenten til den cirkelbue, som loddet bevæger sig i;  $q$  strammer snoren, mens  $r$  stadig forandrer loddets hastighed. Foretager vi denne opløsning i forskellige stillinger af pendulet, ser vi, at  $r$  har sin største værdi i yderstillingerne, i hvilestillin-

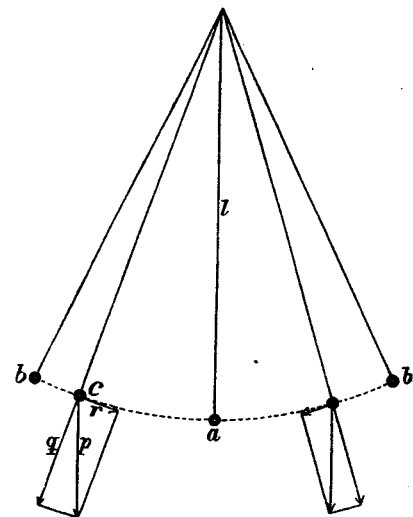


Fig. 64

gen er  $r$  lig 0. Mens loddet går fra  $b$  mod  $a$ , forøger  $r$  hastigheden, som får sin største værdi, når loddet passerer hvilestillingen; under bevægelsen fra  $a$  mod  $b_1$  går  $r$  i modsat retning af bevægelsen og formindsker hastigheden, som bliver 0, når pendulet standser i yderstillingen  $b_1$ .

*Svingningstiden er ligefrem proportional med kvadratroden af pendullængden, men afhænger ikke af loddets vægt eller af udsvingets størrelse, hvis udsvinget er lille.* Har vi således to penduler, af hvilke det ene er 9 gange så langt som det andet, har det længste en svingningstid, der er 3 gange så lang som det korte penduls. En sekundpendul skal næsten være 1 m langt, minutpendulet  $60^2$  så langt eller omtrent 3,6 km.

*Forsøg over pendulet.* 1) Loddet ophænges i en lang tråd (1 à 2 m) eller bedre som på fig. 65 i to tråde. Længden  $l$  måles til midten af loddet, og svingningstiden  $t$  findes, ved at man ser, hvor længe pendulet er om at udføre f. eks. 50 svingninger. På samme måde bestemmes svingningstiden  $t_1$  for en anden pendullængde  $l_1$ . Det skal nu tilnærmelsesvis vise sig, at

$$\frac{t}{t_1} = \sqrt{\frac{l}{l_1}}.$$

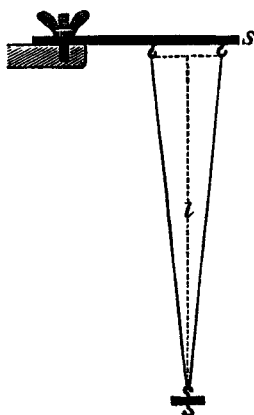


Fig. 65

2) Svingningstiden for et pendul bestemmes to gange for samme pendullængde; første gang fjernes loddet kun nogle få cm fra sin hvilestilling, anden 3 à 4 gange så meget. De to svingningstider skal omtrent være lige store.

3) Svingningstiden for det i (2) brugte pendul bestemmes, idet loddet erstattes med et tungere lod, således at pendullængden bliver den samme. Svingningstiden skal meget nær blive den samme som i (2).

Ved beregninger har man fundet følgende formel for et penduls svingningstid  $t$ :

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

hvor  $g$  er tyngdens acceleration. Ved et pendul som fig. 65 kan man bestemme  $t$  og  $l$ ;  $\pi = \frac{22}{7}$ , altså kan  $g$  beregnes.

Det fysiske eller sammensatte pendul er et legeme, som kan dreje sig om en vandret akse, der ikke går gennem tyngdepunktet; går aksens gennem tyngdepunktet, er legemet i ligevægt og kan ikke svinge.

Pendulet bruges til at regulere urets gang; loddet i uret ville få viseren til at bevæge sig med voksende hastighed, hvis ikke pendulet standsede urværket een gang for hver svingning. Skal pendulet gøres længere eller kortere, hvis uret går for hurtigt?

## VARMELÆRE

### Udvidelse ved opvarmning

*Luft.* I et reagensglas (fig. 66) sidder en gummiprop med glasrør, og i røret er der en lille farvet vandsøjle. Reagensglasset sættes i vandret stilling i et forsøgsstativ.



Fig. 66

Opvarmer vi reagensglasset med hånden, vil den lille vandsøjle bevæge sig udad i røret; fjerner vi hånden, vil vandsøjlen gå tilbage. Det vi har iagttaget er, at luften inde i reagensglasset udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling.

*Vand.* Vi fylder en kogeflaske med vand og sætter en prop med glasrør i halsen; lidt af vandet går op i glasrøret. Opvarmes flasken, synker vandet lidt; det kommer af, at flasken udvider sig, inden vandet er blevet varmt. Men når varmen har fået tid til at trænge ind i vandet, stiger det et stykke op i glasrøret. Vandet synker igen, når flasken afkøles. Man må bruge kogt vand til dette forsøg, da der ellers samler sig luft fra vandet op under proppen.

*Faste stoffer.* En tynd metaltråd hænges op i et forsøgsstativ og strammes ved et ret tungt lod (fig. 68). Trådens længde afpasses således, at loddet netop kan svinge uden at røre bordfladen. Tråden opvarmes med en sprit- eller gasflamme. Loddet vil da røre ved bordpladen, (prøv at lade tråden svinge). Fjernes lampen, vil tråden efter kort tids forløb atter kunne svinge.

Forsøget gentages med forskellige metaller og viser, at de

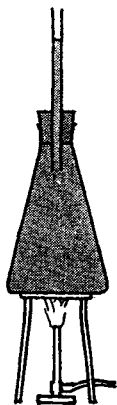


Fig. 67

anvendte metaller udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling.

Næsten alle stoffer udvider sig ved opvarmning og trækker sig sammen ved afkøling; faste stoffer udvider sig kun meget lidt. En undtagelse fra denne regel er vand under  $4^{\circ}\text{C}$ .; det udvider sig, når det afkøles, og trækker sig sammen ved opvarmning. Vand, der er  $4^{\circ}$  varmt, udvider sig altså både, når det opvarmes og når det afkøles. Kun ved  $4^{\circ}$  er vandets vægtfylde nøjagtig 1.

En jernbaneskinne kan om sommeren være nogle millimeter længere end om vinteren; skinnernes ender lægges derfor ikke tæt til hinanden i sammenføjningerne.

Hælder man varmt vand i et glas med tyk bund, bliver siderne hurtigere gennemvarmede end bunden og udvider sig hurtigere. På figuren viser de punkterede linier, hvordan glassets sider udvider sig, når der kommer varmt vand i det; det knækker let omtrent nede ved bunden.

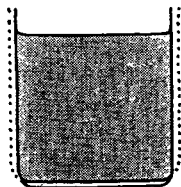


Fig. 69

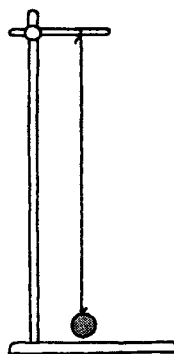


Fig. 68

En glasprop, der sidder fast i en flaske, kan man få op ved at varme halsen lidt, hvorfor det? Hvorfor må man ikke varme halsen for længe, inden man prøver at vrikke proppen løs?

Smeden laver ringen til vognhjulet lidt for lille og opvarmer den så stærkt, at den kan gå omkring hjulet; når den derpå afkøles, spænder den fast om hjulet.

Hvorfor springer glasset på en tændt lampe, når der sprøjter vand hen på det? Hvorfor løsner kalken sig let på det sted, hvor kakkelovnsrøret går ind i væggen? Hvorfor kan pendulets svingningstid forandre sig med temperaturen?

## Termometret

Et legemes temperatur eller varmegrad måles ved hjælp af et termometer. Termometerbeholderen og et stykke af røret er fyldt med kviksølv; opvarmes kviksølvet, udvider det sig og går højere op i røret. Stikkes beholderen ned i smeltende sne eller is, stiller kviksølvet sig altid på et bestemt sted, der kaldes fry-

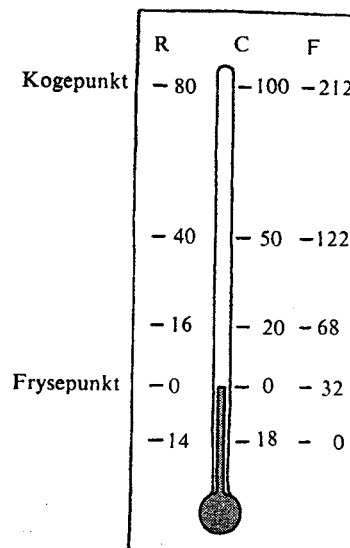


Fig. 70

*sepunktet*. Anbringes beholderen i overfladen af vand, der koger ved normalt lufttryk (76 cm), standser kviksølvet på et bestemt sted, som kaldes *kogepunktet*.

Celsius delte stykket mellem fryse- og kogepunktet i 100 lige store dele (grader); han satte 0° ved frysepunktet, 100° ved kogepunktet. Reaumur satte ved de to punkter henholdsvis 0° og 80°, Fahrenheit 32° og 212°; Fahrenheit delte altså stykket mellem fryse- og kogepunktet i 180 lige store dele. Man har altså:

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

$$5^{\circ} \text{ C.} = 4^{\circ} \text{ R.} = 9^{\circ} \text{ F.}$$

Hvor mange grader F. svarer til 16° R.?  $1^{\circ} \text{ R.} = \frac{9}{4} \text{ F.}$ , altså  $16^{\circ} \text{ R.} = 16 \cdot \frac{9}{4} \text{ F.} = 36^{\circ} \text{ F.}$  Da Fahrenheit har 32° ved frysepunktet, må 16° svare til  $36^{\circ} + 32^{\circ} \text{ F.}$

I termometret er der tit vinånd (ren sprit) i stedet for kviksølv. Vinånd ligner vand; for at man bedre kan se det, farves det rødt, blåt eller gult. Vinåndstermometret kan bruges fra ca.  $\div 100^{\circ}$  til  $79^{\circ}$ ; under  $\div 100^{\circ}$  bliver vinånden tykflydende og klæber sig fast i røret. Kviksølvttermometret kan bruges fra  $\div 39^{\circ}$  til  $358^{\circ}$ .

Ved  $358^{\circ}$  er kviksølvet damptryk 1 atm.; der dannes da dampblærer inde i kviksølvsøjlen, som skiller søjlen ad. *Kviksølvet koger ikke.*

Termometerrøret er lukket foroven, for at væsken ikke skal fordampe eller løbe ud af røret. Rummet over væsken er i reglen lufttomt.

## Varmeenheden. Varmefylde

Vi vil undersøge, om lige store vægtmængder af forskellige stoffer, der har samme temperatur, har samme varmeevne.

I tre måleglas hældes der vand, til det står ved mærket 50 cm<sup>3</sup>, og vandets temperatur aflæses. Et blylod og et aluminiumlod, der vejer lige meget – f. eks. 39 g –, opvarmes til 100° ved at sænkes ned i kogende vand; i loddernes kroge er

der bundet sytråde. Løft lodderne op, sænk dem hurtigt ned i hvert sit måleglas, rør rundt i vandet ved at hæve og sænke lodderne og aflæs igen vandets temperatur i de to glas. Hæld 39 g (= 39 cm<sup>3</sup>) kogende vand i det tredje måleglas og find temperaturstigningen (først sætter man hånden for måleglassets munding og vender et par gange op og ned på glasset).

Hvorledes kan temperaturstigningen i de tre forsøg vise, om de tre stoffer har samme varmeevne?

Hvorledes kan vi prøve, om lige store rumfang vand og aluminium ved samme temperatur har samme varmeevne?

*Lige store vægtmængder eller lige store rumfang af forskellige stoffer, der har samme temperatur, har ikke samme varmeevne; man siger, at stofferne har forskellig varmekapacitet. Blandt alle flydende og faste stoffer er vand det, der har størst varmeevne.*

Når en gryde med vand står over ilden, stiger vandets temperatur, og man siger, at der *strømmer* varme fra ilden over i vandet. Tidligere antog man nemlig, at varme var et stof, der kunne strømme fra varme legemer over i kolde. Dette kan dog ikke være rigtigt; når to legemer støder sammen, bliver de begge varmere, og når en vognaksel ikke er smurt, opvarmes både hjul og aksel stærkt, uden at vi kan påvise noget andet legeme, hvorfra varmen kommer. Vi vil dog beholde den forestilling, at der tilføres et legeme *noget*, når legemet bliver opvarmet.

Når vand skal opvarmes, må der altså tilføres det varme. *Den mængde varme, der skal tilføres 1 gram vand for at opvarme det 1°, kaldes en gramkalorie eller en varmeevne (V. E.).*

*Eksempel 1.* Hvor mange V. E. medgår der til at opvarme 10 g vand fra 20° til 38° (d. v. s. 18°)?

Udregning: Til at opvarme 1 g vand 1° medgår der 1 V. E.

$$\begin{array}{rccccccc} - & - & 1 \text{ g} & - & 18^{\circ} & - & - & 18 & - \\ - & - & 10 \text{ g} & - & 18^{\circ} & - & - & 180 & - \end{array}$$



*Eksempel 2.* Hvor mange V. E. indeholder 20 g vand à 7°? 20 g vand à 7° indeholder 140 V. E. mere end 20 g vand à 0°, fordi der kræves 140 V. E. til at opvarme vandet fra 0° til 7°. Man siger kort og godt, at 20 g vand à 7° indeholder 140 V. E.

Blander vi koldt og varmt vand, får blandingen en temperatur (fællestemperaturen), som ligger mellem det kolde og det varme vands temperatur. Vi skal nu se, hvordan fællestemperaturen kan *beregnes*.

*Eksempel 3.* 50 g vand à 20° blandes med 150 g vand à 30°. Det koldeste vand indeholder  $50 \times 20$  V. E., det varme  $150 \times 30$  V. E., tilsammen 5500 V. E., som efter blandingen er ligeligt fordelt over 200 g vand. Hvert gram indeholder  $5500 : 200$  V. E. =  $27\frac{1}{2}$  V. E. Fællestemperaturen må altså være  $27\frac{1}{2}^\circ$ .

Som varmeanhed bruges tit en kilogramkalorie. *En kilogramkalorie er den mængde varme, der må tilføres 1 kg vand for at opvarme det 1°.* Da 1 kg = 1000 g, er 1 kilogramkalorie = 1000 gramkalorier.

*Ved et stofs varmfylde forstås det antal gramkalorier, der medgår til at opvarme 1 g af stoffet 1°.* Vands varmfylde må altså være 1, kobbers og messings varmfylde er  $\frac{1}{10}$ ; disse metaller er altså 10 gange så lette at opvarme som vand.

Er varmfyllden for et eller andet stof c, dets vægt p g, og opvarmes det fra  $t^\circ$  til  $T^\circ$ , må der

til at opvarme 1 g af stoffet 1° medgå c V. E.

— — p g — — 1° — pc V. E.

— — p g — —  $T^\circ - t^\circ$  — pc(T-t) V. E.

Når et legeme opvarmes, skal der altså tilføres det en varmemængde, der er lig *vægten*  $\times$  *varmfyllden*  $\times$  *antallet af grader*, som legemet opvarmes. Afkøles legemet fra  $T^\circ$  til  $t^\circ$ , går der pc(T-t) V. E. bort fra det. Hvis det er vand, der er tale om, er c = 1, og udtrykket bliver da p. 1. (T-t) V. E.

## TABEL OVER NOGLE STOFFERS VARMEFYLDE

|                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| brint 3,4                           | jern ca. $\frac{1}{9}$               |
| vand 1                              | kobber og messing ca. $\frac{1}{10}$ |
| is ca. $\frac{1}{2}$                | bly og kviksølv ca. $\frac{1}{30}$   |
| glas og aluminium ca. $\frac{1}{5}$ |                                      |

## Varmens bevægelse

*Ledningsevne.* Stikker vi den ene ende af et søm ind i en flamme, bliver sømmet snart så varmt, at vi ikke kan holde på det. Gør vi samme forsøg med en træpind, der omtrent er lige så lang og tyk som sømmet, brænder vi os ikke på den. Varmen går altså meget lettere gennem sømmet end gennem træet; *jern er en god, træ en dårlig varmeleder*. På samme måde kan vi prøve med papir, kobbertråd og et stykke glasrør; papiret leder dårligere end glasset, kobbertråden bedre.

Om vand er en god eller dårlig varmeleder, prøver vi ved at fylde et reagensglas med vand, stikke et termometer helt ned til bunden og opvarme vandet foroven (fig. 71). Vandet her kan koge nogen tid, uden at temperaturen stiger; vand må være en dårlig varmeleder.

*Alle metaller er gode varmeledere, særlig sølv og kobber. De dårligste ledere er træ, papir, luft og ting, der indeholder meget luft, f. eks. fjer, halm, hø og uldtøj.*

Klæder er dårlige varmeledere; de forhindrer varmen i at gå bort fra legemet, men kan ikke opvarme det.

Hvorfor er der træhanke på kaffekander?

Hvorfor er jern koldere at føle på end træ?

Hvorfor kan man om sommeren gemme is på marken ved at dække den med tørvesmuld og halm?

Når maden er kommen i kog på komfuret, sætter man den tit ned i en kasse, der er foret med hø; hvorfor gør man det?

Om vinteren vikler man halm om pumpen, for at vandet i pumperøret ikke skal fryse. Halmen opvarmer ikke pumpen, men hindrer den varme, der er inde i pumpen, og som kommer nede fra brønden, i at gå bort.

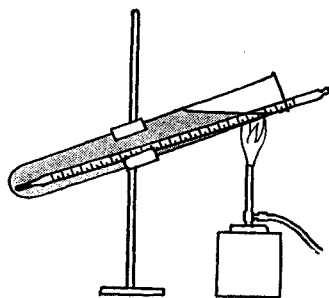


Fig. 71

*Strømme i vand.* Vi fylder vand i et vidt reagensglas (diameter ca. 3 cm), kommer lidt savsmuld i vandet og anbringer glasset skråt i forsøgsstativet. Opvarmes glassets bund svagt, kan vi se på savsmuldet, at det varme vand stiger til vejrs, mens det kolde vand bevæger sig ned langs glassets nederste side. Strømmene fremkommer, fordi varmt vand har mindre vægtfylde end koldt vand.

Når en gryde vand står over ilden, opvarmes vandet ved bunden og stiger til vejrs, mens det kolde vand søger ned til bunden og bliver opvarmet.

Hvorfor fremkom der ikke strømme i vandet ved forsøget fig. 71?

*Strømme i luft.* Da Arkimedes' sætning også gælder for luft, må opvarmet luft stige til vejrs.

I kemien læres, at der skal luft (ilt) til, for at det kan brænde i kakkelovnen. Luften går fra stuen ind i kakkelovnen, og ny luft strømmer ind i stuen gennem sprækker i vinduer og døre, hvor der derfor bliver stærk *træk*; om vinteren, når man fyrer i kakkelovnen, trækker det meget mere end om sommeren.

Luften er en slet varmeleder. Når der er ild i kakkelovnen, føres varmen rundt i stuen af strømme i luften. Luften lige om kakkelovnen opvarmes, stiger til vejrs og samler sig under loftet. Når den bliver afkølet, synker den lavere ned. Den koldere luft ved gulvet strømmer hen til kakkelovnen, opvarmes,

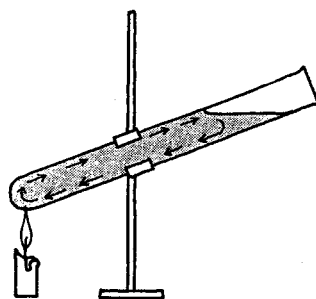


Fig. 72

går til vejrs op under loftet, og sådan bliver det ved. Da den varme luft under loftet afkøles mest ved ydervæggene, er der her de stærkest nedadgående luftstrømme. Lægger man røgelse på kakkelovnen, lugter man det først henne ved vinduerne. Når lampen osrer, går den varme os op under loftet og føres med af luftstrømmene. Den der sidder ved vinduet, mærker lampeosen før den, der sidder lige ved lampen.

Luk døren på klem til et koldt værelse og hold et tændt stearinlys i dørspærken. Foroven, hvor den lette, varme luft strømmer ud og går op under loftet i den kolde stue, blæser flammen udad. Forneden, hvor den kolde, tunge luft strømmer ind og erstatter den, der er strømmet ud foroven, blæser flammen den modsatte vej; midt i dørspærken står den omtrent lige.

## Centralopvarmning

I stedet for at have kakkelovn i hvert værelse bruger man nu en stor ovn i kælderen og lede varmen herfra rundt i huset. Værelserne opvarmes enten ved damp eller varmt vand.

Ved opvarmning med damp opvarmes vand i en kedel, der står i kælderen. I hvert værelse er der opstillet et hult varmeapparat af jern. Vanddampe fra kedelen føres gennem rør op gennem varmeapparaterne og opheder dem. Ved gulvet er der en åbning, som går ud i en skorsten (trækkanal). Forklar, hvordan luften bevæger sig i stuen.

Opvarmning med varmt vand foregår på lignende måde som med damp. Kedelen, rørene og varmeapparaterne er fyldt med vand. Når vandet ved kedelens bund opvarmes, bliver det lettere; det stiger op gennem rør, der udgår fra kedelens overdel, og går gennem varmeapparaterne. På vejen afkøles det efterhånden, bliver tungere og føres gennem andre rør tilbage til kedelens bund, hvor det på ny opvarmes.

## Opløsning og smeltning

En stor skefuld salmiak opløses i noget vand, og temperaturen aflæses før og efter opløsningen; da temperaturen synker stærkt, må der forsvinde varme ved opløsningen. Man kan frembringe stærkere kulde ved at blande salt med sne eller stødt is (bedst en vægtdele salt til tre vægtdele sne); efterhånden smelter sneen, saltet opløses, og temperaturen kan gå ned til  $\div 21^{\circ}$ , der er frysepunktet for en mættet saltopløsning. Blandingen kaldes en *kuldeblanding*.

**Smeltepunkt.** Nogle stoffer, således alle metaller, kan smelte; andre, f. eks. træ og tøj, kan ikke smelte, men omdannes ved opvarmning til luftarter og en fast rest. Når et stof, der kan smelte, opvarmes, stiger dets temperatur, til smeltningen begynder, og bliver nu uforandret i nogen tid eller stiger kun meget langsomt; når stoffet er smeltet, stiger temperaturen igen hurtigere. Afkøles det smeltede stof, synker temperaturen hurtigt, indtil det begynder at størkne, bliver i nogen tid omtrent uforandret og synker så raskere, når stoffet er størknet. Stoffet smelter og størkner ved samme temperatur, som kaldes *smeltepunktet*.

**Forsøg over smeltning og størkning.** I et bægerglas hældes sne eller stødt is, og i et andet bægerglas hældes vand ved en temperatur af ca.  $0^{\circ}$ . Man iagttager derefter temperaturen i de to glas. I glasset, hvor isen smelter, holder temperaturen sig på  $0^{\circ}$ , medens den stiger i det andet glas. Man slutter deraf, at der forbruges varme til smeltning af isen. Hvor kommer varmen fra?

I et reagensglas hældes så meget vand, at termometerbeholderen er godt dækket, i et andet reagensglas samme mængde saltvand; de to glas sættes ned i en kuldeblanding, og man rører rundt med termometrene. Det viser sig da, at temperaturen i begge glas synker til  $0^{\circ}$ , derefter står den stille i det rene vand, men synker stadig i saltvandet; det rene vand er begyndt at

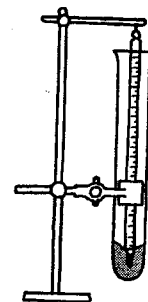


Fig. 73

fryse. Når alt vandet er frosset, synker temperaturen atter. Man slutter deraf, at der ved vands frysning opstår varme.

**Stearins smeltepunkt.** Nogle små stykker af et stearinlys anbringes i et reagensglas, som stikkes ned i et bæger med kogende vand; stearinen smelter. Reagensglasset og et termometer anbringes i forsøgsstativet (fig. 73). Stearinens temperatur aflæses hvert minut og opskrives; smeltepunktet fremgår tydeligt af den opskrevne temperaturrække. Stearinen i forskellige lys har ikke samme smeltepunkt.

Når stearinen er størknet, synker temperaturen meget langsomt. Af disse og lignende forsøg har man draget den slutning, at der opstår varme, når et stof størkner, og at der forbruges varme, når det smelter.

**Saltvands frysepunkt.** I en kuldeblanding anbringes et reagensglas, der indeholder lidt saltvand. Frysepunktet bestemmes.

**Vands underafkøling.** Nogle stoffer, f. eks. svovl og vand, kan afkøles under smeltepunktet, uden at de størkner. Et reagensglas, hvori der er lidt, kogt vand og et termometer, sættes ned i en kuldeblanding. Når glasset står uden at rystes, synker vandets temperatur under  $0^{\circ}$ , uden at det fryser.

Når temperaturen er sunket til  $\div 4^{\circ}$  à  $5^{\circ}$ , tages glasset forsigtigt op. Rystes det derefter kraftigt, fryser en del af vandet, og temperaturen stiger samtidig til  $0^{\circ}$ , fordi der opstår varme ved størkning.

Tabel over smeltepunkter:

|                  |                  |                |          |
|------------------|------------------|----------------|----------|
| platin .....     | 1800°            | bly .....      | ca. 330° |
| jern og stål ... | 1050°–1600°      | tin .....      | ca. 230° |
| guld .....       | lidt over 1000°  | is .....       | 0°       |
| sølv .....       | lidt under 1000° | kviksølv ..... | ÷ 39°    |

*Rumfangsforandringer under smeltningen.* Da is har mindre vægtfylde end vand, må vand udvide sig, når det størkner. På samme måde går det, når smeltet støbejern størkner, hvorfor det fuldstændigt kan gengive støbeformen. Når stearin er i færd med at smelte, synker de stykker til bunds, der endnu er på fast form; stearinen udvider sig altså, når den smelter. *Nogle stoffer trækker sig sammen under smeltningen, andre udvider sig.*

Når is eller sne à 0° står i en varm stue, går der stadig varme fra stuen over i isen, uden at dens temperatur stiger; *der forsvinder* altså varme under smeltningen. Når et stof størkner, går der varme fra stoffet over i de koldere omgivelser, uden at stoffets temperatur synker; *den varme, der forsvinder, når et stof smelter, kommer frem igen, når stoffet størkner.* Ved et stofs smeltevarme forstås det antal gramkalorier, som må tilføjes et gram af stoffet for at smelte det, når stoffet i forvejen er opvarmet til smeltepunktet.

Tabel over nogle stoffers smeltevarme:

|            |          |
|------------|----------|
| is .....   | omtr. 80 |
| jern ..... | – 30     |
| zink ..... | – 28     |
| tin .....  | – 13     |
| bly .....  | – 6      |

Isen har en meget stor smeltevarme, større end noget andet stof. Derfor holder isen på søer sig så godt, at det skal være tøvæjr i lang tid, før al isen er smeltet. Til gengæld varer det længe, inden der i frostvejr danner sig en tyk isskorpe på vandet, fordi dette under størkningen afgiver store varmemængder, der først må bortskaffes.

## Fordampning og fortætning

Hælder vi æter eller sprit på hånden, fordamper væsken, og hånden bliver kold. Binder vi et stykke tøj om termometerbeholderen, hælder æter på tøjet og svinger termometret frem og tilbage, synker temperaturen stærkt. *Alle væsker fordamper; ved fordampningen forsvinder der varme.* Faste stoffer kan også fordampe; man kan lugte et stykke kamfer, tøj kan tørre i frostvejr.

Hæld 70 cm<sup>3</sup> koldt vand i et måleglas og mål vandets temperatur. Bring noget vand i kog i en kogeflaske og led dampene ned i vandet i måleglasset (fig. 74); vanddampene fortættes, og vandet i måleglasset stiger. Når det er steget 10 cm<sup>3</sup>, afbrydes tilledningen, og temperaturstigningen aflæses. Der er fortættet 10 g vanddamp (rettere sagt noget mindre, fordi de 70 cm<sup>3</sup> koldt vand har udvidet sig noget). Hæld vandet ud af måleglasset og kom igen 70 cm<sup>3</sup> koldt vand deri. Hæld 10 cm<sup>3</sup> kogende vand i glasset, sæt hånden over munden, vend op og ned på glasset og mål temperaturstigningen. Det viser sig, at 10 g damp à 100° indeholder meget mere varme end 10 g vand à 100°. *Når damp fortættes ved afkøling, opstår der altså varme. Den varme, der forsvinder, når en væske fordamper, kommer frem igen, når dampene fortættes.*

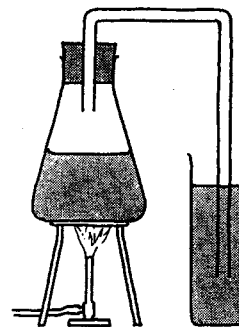


Fig. 74

En væske fordamper ved enhver temperatur. *Ved en væskes fordampningsvarme forstås det antal gramkalorier, der skal tilføres et gram af væsken for at omdanne den til damp af samme temperatur.* Vands fordampningsvarme ved  $40^\circ$  er således den varmemængde, der skal tilføres 1 g vand à  $40^\circ$  for at omdanne det til 1 g damp à  $40^\circ$ ; fortættes dampen igen til vand à  $40^\circ$  opstår der lige så megen varme, som der forsvandt ved fordampningen.

Af alle væsker har vand den største fordampningsvarme; for rent vand er den 536 ved  $100^\circ$ , ved  $0^\circ$  er den 607.

*Rummet over en væske kan mættes med dampe, hvilket vil sige, at der er ligevægt mellem fortætning og fordampning.*

*Eksempler:* Har man låg på en gryde med vand, der står over ilden, mættes rummet under låget snart med vanddampe, og vandet fordamper ikke så hurtigt som i en gryde uden låg; herved opnår man, at der kun forsvinder en ringe varmemængde, så at vandet hurtigere kommer i kog og ikke koger så hurtigt bort. Blæser man på varm mad, blæser man de mættede dampe bort; fordampningen bliver stærkere og afkøler maden. På lignende måde bliver en fugtig vej hurtigst tør i blæst. – Langvarig tåge eller regn kan indvirke på menneskets befindende, fordi luften er mættet med vanddampe, som forhindrer, at hudens fugtighed fordamper.

*Luftens fugtighed.* Luften indeholder vanddampe, som opstår ved haves og søers fordampning. Vanddampe er usynlige, den hvide tåge, man ser, når et lokomotiv fløjter og en gryde koger, er ikke vanddampe, men meget små vanddråber, som fremkommer ved at noget af dampen fortættes.

Luften indeholder ikke altid lige mange vanddampe; er den meget fugtig, fortættes de ved ringe afkøling. Varm luft kan indeholde flere vanddampe end kold luft; om sommeren er luften derfor i reglen mere tør end på andre tider af året. *Dugpunktet* er den temperatur, som luften skal afkøles til for at være mættet med de vanddampe, den indeholder. Bringer

man en karaffel koldt vand ind i stuen, sætter der sig dug på den, hvis karafflens temperatur er lavere end stuens dugpunkt, så at luftlaget lige om karaffen afkøles under dugpunktet. Når vil der sætte sig dug på ruderne? – Om aftenen afkøles jordskorpen ved udstråling tit så meget, at der sætter sig dug på planter; afkøles duggen under  $0^\circ$ , bliver den til rim. Borde og bænke, der står i fri luft, virker som skærme, der hindrer jorden i at udstråle varme, så at der ingen dug sætter sig under dem. På samme måde virker skyerne, derfor falder der stærkest dug ved klar himmel.

*Luftens fugtighedsgrad er forholdet mellem vægten af den vanddamp, der er i et vist rumfang luft, og vægten af den vanddamp, der ville være i samme rumfang, hvis luften var mættet.* Fugtighedsgraden kan altså højst være 1; når den f. eks. angives ved tallet 73, mener man, at den er  $\frac{73}{100}$ .

Skyerne er tåger, der dannes ved vanddampenes fortætning. De ganske små vanddråber, hvoraf en sky består, daler kun meget langsomt, fordi luftmodstanden er stor ved små legemers fald. Under faldet kommer skyens underflade snart ned i varmere luft og omdannes til damp, som igen stiger til vejrs; når man iagttager en skarpt begrænset sky, ser man også, at underfladen stadig forandrer sig. – De fine hvide skyer, som tit ses højt oppe, når himlen ikke er overtrukket, består af små isnåle; de kan være 15 km over jorden. Ellers er skyerne meget længere nede; i tåge når de helt ned til jorden.

Da skyerne er en blanding af vanddampe og små vanddråber, vokser vanddråberne, når skyerne af en eller anden grund

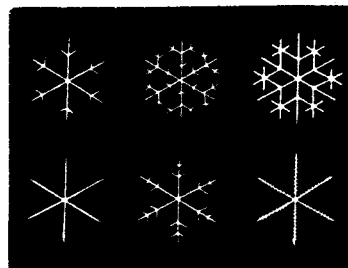


Fig. 75

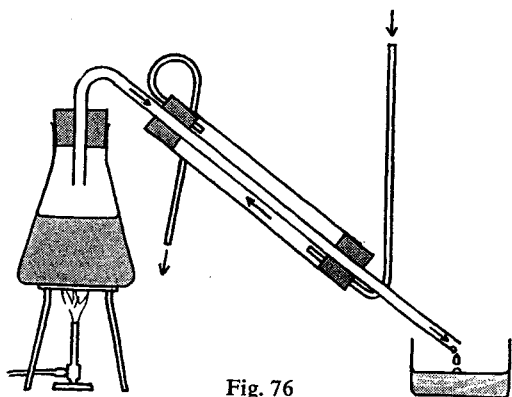


Fig. 76

afkøles, og falder ned som regn. Er temperaturen i skyen under  $0^\circ$ , bliver dråberne til snefnug, der tit har meget regelmæssige former (fig. 75). Passerer regndråberne under deres fald et luftlag, der er under  $0^\circ$ , kan de blive underafkølede (forsøget side 75) og stivner til is i det øjeblik, de rammer jorden; man kalder det isslag.

**Destillationsapparatet.** I kolben er der vand, hvori der er hældt noget blæk. Det lange glasrør, som udgår fra kolben, er omgivet af et bredere rør, *svalerøret*, hvorigennem der strømmer koldt vand. Opvarmes kolben, fordampes væsken, dampene fortættes, når de går gennem svalerøret, og en klar væske løber ud i skålen *S*. Væsken er altså befriet for de mørke farvestoffer.

Hælder vi nogle dråber vand i et reagensglas og bringer vandet til at fordampe, er glasset ikke længere rent; alt kildevand indeholder faste stoffer, som man ofte ser på siderne af vandkarafler og vandglas. Destillerer man kildevand, bliver de faste stoffer tilbage i kolben, og i skålen samler der sig rent vand, *destilleret vand*. Regnvand er destilleret vand.

## Mættede dampes tryk

Hold et barometerrør med åbningen opad; hæld kviksølv i, til det står nogle få millimeter fra randen, og fyld resten af røret med vand. Sæt fingeren for åbningen, vend røret om og stik åbningen ned under overfladen af kviksølvet i en skål; mens røret vendes, stiger vandet op gennem kviksølvet; hvorfor?

Tages fingeren nu bort, synker kviksølvet, en del af vandet fordampes, og rummet over kviksølvet fyldes med mættede vanddampe. Måler vi afstanden mellem kviksølvoverfladerne i skålen og røret, ser vi, at den er mindre end barometerstanden; de mættede vanddampe trykker altså kviksølvet lidt ned, og opvarmer vi rørets øverste ende, stiller kviksølvet sig endnu lavere (damptrykket = barometerstanden  $\div$  højdeforskellen mellem kviksølvoverfladerne). For at undersøge, hvilken indflydelse en ændring i rumfanget har på mættet dampes tryk, kan man gøre følgende forsøg: En lang lineal anbringes vandret i et stativ nøjagtig i højde med kviksølvoverfladen i røret. Føres røret ud til siden, vil kviksølvoverfladen hele tiden følge linealens kant. Rumfanget bliver mindre, men trykket er uforandret. Når rumfanget formindskes, fortættes en del af dampen, forøges rumfanget, vil noget vand atter fordampe. *Mæt-*

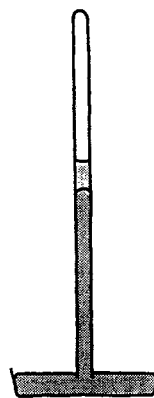


Fig. 77

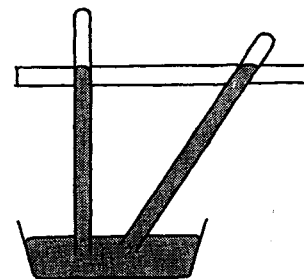


Fig. 78

tede dampes tryk vokser med temperaturen, men er uafhængigt af rumfanget.

Samme forsøg med æter og sprit viser, at mættede æter- og spritdampe trykker stærkere end vanddampe, der er lige så varme; æterdamp trykker mest.

*Mættede dampes tryk er altid 1 atmosfære ved væskers kogepunkt.*

Tabel over mættede vanddampes tryk:

|            |               |            |              |
|------------|---------------|------------|--------------|
| 0° .....   | 4 1/2 mm      | 121° ..... | 2 atmosfærer |
| 50° .....  | 1/8 atmosfære | 134° ..... | 3 —          |
| 100° ..... | 1 —           | 200° ..... | 15 —         |

Hvordan vil kviksølvet stille sig i røret fig. 77, når vanddampene over kviksølvet er 100°, og når de er 50°?

*Trykket af umættede dampe er mindre end trykket af mættede dampe af samme væske ved samme temperatur. Foruden af temperaturen afhænger umættede dampes tryk af deres rumfang; ligesom ved luftarter gælder her Mariottes lov.*

## Kogning

At en væske koger, vil sige, at fordampningen ikke alene foregår fra overfladen, men også ved karrets bund og sider, d. v. s. på de steder, hvor der tilføres varme. Bringer vi noget vand i kog og måler temperaturen forskellige steder i vandet, ser vi, at den ikke er ens overalt; ved en væskes kogepunkt forstås vi temperaturen i overfladen af den kogende væske. Skønt der stadig tilføres varme, forandrer væskens temperatur sig ikke. Den varme, som fra ilden går over i vandet, forsvinder på grund af den voldsomme fordampning; den kommer frem igen, når dampene fortættes.

Bring vandet i en rundbundet kolbe i kog og lad det koge nogen tid; vanddampene river da al luften med sig ud af kol-

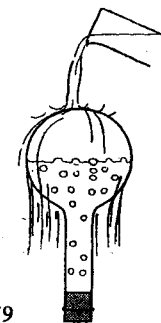


Fig. 79

ben. Sæt en prop i og vend kolben om; oven over vandet er der kun vanddampe. Hælder vi nu koldt vand på kolben, afkøles dampene, deres tryk bliver mindre, og vi ser, at vandet i kolben igen giver sig til at koge. Vender vi så kolben med proppen opad, tager proppen ud og måler vandets temperatur, ser vi, at vandet har kogt, skønt dets temperatur var langt under 100°.

*En væskes kogepunkt afhænger af trykket; jo større trykket er, jo højere ligger kogepunktet.*

At en væskes kogepunkt forandrer sig med trykket, forklares således: dampboblerne indeholder mættet damp, hvis tryk udad på dampboblens vægge må være lige så stort som trykket udefra (luftens + væskens tryk), ellers ville dampboblen blive trykket sammen til væske. Jo større trykket er udefra, jo højere temperatur må dampboblerne have for at kunne eksistere, og jo højere må altså kogepunktet ligge.

*Ved en væskes normale kogepunkt forstås temperaturen i overfladen af væsken, når den koger ved barometerstanden 76 cm.*

Vands normale kogepunkt er 100°; nede i vandet er temperaturen lidt højere, fordi trykket der er lidt større. Er barometerstanden 71 cm, koger vandet ved 98°; er den 79 cm, koger vandet ved 101°.

Æter koger ved ca. 34°, alkohol ved ca. 79°, kviksølv ved 358°.

Hvorfor kan vand ved 2 og 3 atmosfærers tryk først koge ved 121° og 134° (se tabellen side 82)?

Hvor lavt skal trykket være, for at vandet kan koge ved 0° og ved 50°?

*Forsøg over kogepunkter.* For æter kan vi bestemme kogepunktet ved at opvarme vand til ca. 50°, slukke flammen og stikke et reagensglas med lidt æter ned i vandet. Æteren koger, og ved at stikke et termometer ned i den, kan vi bestemme dens kogepunkt. Flammen slukkes, for at der ikke skal gå ild i æterdampene.

For sprit bestemmes kogepunktet på samme måde. Vandet opvarmes til henimod 100°.

Mættet saltvands kogepunkt findes ved at fylde omtrent  $\frac{1}{5}$  af et reagensglas med saltvand, stikke et termometer ned i det, bringe vandet i kog over en flamme og fortsætte kogningen, til saltet begynder at udskille sig. Kogningen må ikke være for stærk. Termometret må gå til 110°.

## Luftarters fortætning

Det har vist sig, at *luftarter er dampe af væsker, som har et lavt kogepunkt*. Når en luftart skal fortættes til væske, anvender man både afkøling og forøgelse af trykket; *jo mere beholderen afkøles, jo mindre er det tryk, ved hvilket fortætningen foregår*. Flydende kultveilte fremstilles ved at anbringe den jernbeholder (fig. 80), hvori den flydende kultveilte skal opsamles, i koldt vand og pumpe luftformig kultveilte gennem røret ind i jernbeholderen, hvor trykket stadig vokser. Når trykket er blevet stort nok, begynder kultveiltten at fortættes til væske, og man fortsætter med at pumpe, indtil jernbeholderen næsten er helt fuld af flydende kultveilte; hanen *H* lukkes nu, og forbindelsen med pumpen afbrydes. Er jernbeholderen f. eks. 20° varm, fortættes kultveiltten i den ved et tryk på 59 atmosfærer, og når den er skilt fra pumpen, er trykket af den kultveilte, der findes over den flydende kultveilte, stadig 59



Fig. 80

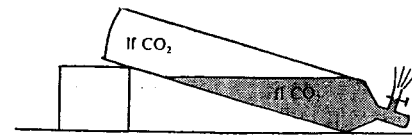


Fig. 81

atm., så længe beholderen er 20°; bliver den varmere, er trykket større.

Lægger man kultveiltebeholderen skråt på et bord med bunden opad og åbner hanen *H*, strømmer den flydende kultveilte ud og er nu kun underkastet et tryk på 1 atmosfære; den fordamper voldsomt, og temperaturen falder til  $\div 78^\circ$ . Det går med den ligesom med vandet i en dampkedel, når man åbner sikkerhedsventilen; før ventilen åbnedes, kogte vandet f. eks. ved 121° (tryk 2 atm.), efter åbningen fordamper vandet voldsomt, og temperaturen falder til 100° (vands kogepunkt ved 1 atm.). Flydende kultveiltes kogepunkt ved trykket 1 atmosfære er altså  $\div 78^\circ$ . — Lader man kultveiltten strømme ud i en lærredspose, som man holder over røret, fyldes posen ikke med flydende kultveilte, men med hvid, fast kultveilte (kultveilte-sne). Kultveiltens frysepunkt ligger nemlig ved  $\div 60^\circ$ , så at den udstrømmende kultveilte er afkølet langt under sit frysepunkt. Stikker man et reagensglas, der indeholder lidt kviksølv, ned i kultveilte-sne, fryser kviksølvet.

Hvis luftformig kultveilte er over 31°, er det ikke muligt at fortætte den, selv om trykket er nok så stort; man siger, at kultveiltens *kritiske temperatur* er 31°. Enhver luftart har sin kritiske temperatur under hvilken den må være afkølet for at kunne fortættes.

For mange luftarter ligger den kritiske temperatur meget lavt.



## TABEL OVER NOGLE KRITISKE TEMPERATURER

|            |              |          |              |
|------------|--------------|----------|--------------|
| vanddamp   | ..... + 365° | kvælstof | ..... ÷ 146° |
| kultveilte | ..... + 31°  | brint    | ..... ÷ 241° |
| ilt        | ..... ÷ 119° |          |              |

Vanskeligst at fortætte er luftarten helium, som findes i små mængder i den atmosfæriske luft; dens kritiske temperatur er omtrent  $\div 267\frac{1}{2}^{\circ}$ .

Kunstig kulde frembringes enten med kuldeblandinger (f. eks. sne og salt) eller ved at lade fortættede luftarter koge under lavt tryk. I *kuldemaskiner* frembringes kulde ved hjælp af luftarter, der let fortættes, f. eks. kultveilte, ammoniak og svovlsyring. Den flydende luftart findes i et system af rør; dampene over væsken pumpes bort, væsken fordamper livligt og afkøler omgivelserne. Rørene kan være anbragt i mættet saltvand (frysepunkt  $\div 21^{\circ}$ ), som afkøles under  $0^{\circ}$ . Det kolde saltvand ledes gennem rør til det rum, der skal afkøles, eller benyttes til fabrikation af kunstig is, idet forme, der er fyldt med fersk vand, hænges i det kolde saltvand. De dampe, der pumpes fra rørene, pumpes over og fortættes i et andet rørsystem, der afkøles med koldt vand, så at samme væskemasse stadig kan bruges.

Fig. 82 viser en dobbelt virkende pumpe (suge- og trykpumpe), som pumper dampene fra det ene rørsystem over i det andet.

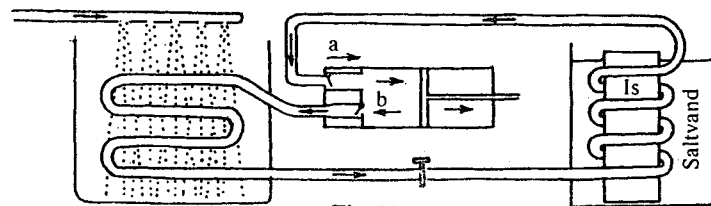


Fig. 82

Ved andre kuldemaskiner bruges kun ekspansion, idet luft sammenpresses stærkt i en beholder. Når den ved sammenpressningen frembragte varme har tabt sig til omgivelserne, lader man luften udvide sig, hvorved temperaturen synker; hvor meget den synker, beror på, hvor hurtigt man lader luften udvide sig. Den kolde luft ledes gennem rør til de rum, der skal køles.

## Dampmaskinen

Til et dampanlæg hører en kedel, hvor dampen, der benyttes som drivkraft, udvikles, samt en maskine, hvor dampens arbejdssevne udnyttes.

Dampkedler kan have mange former, den simpleste består af en vandret liggende cylinder dannet af sammennittede jernplader.

Fig. 83 forestiller en sådan dampkedel. Foran er fyrstedet *F*, hvorfra de varme forbrændingsprodukter ledes gennem ildkanalen *J* og derfra ud gennem skorstenen. Vandet i kedelen omgiver ildkanalen og fylder kedelen i omtrent  $\frac{2}{3}$  af dens højde. Den punkterede linie viser vandoverfladen. Vandstanden i kedelen kontrolleres dels ved prøvehaner, som enten slipper vand eller damp ud, når der åbnes lidt, dels ved et vandstandsglas, der består af et lodret stillet glasrør *V*, og hvis ender foroven og forneden står i forbindelse med henholdsvis damprummet og med vandet. Desuden findes på kedelen et manometer *M*,

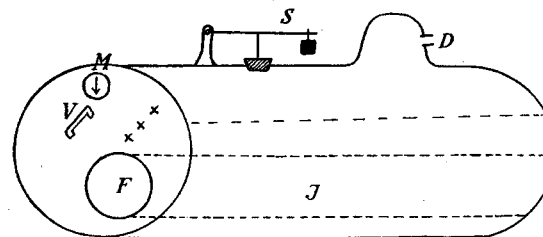


Fig. 83

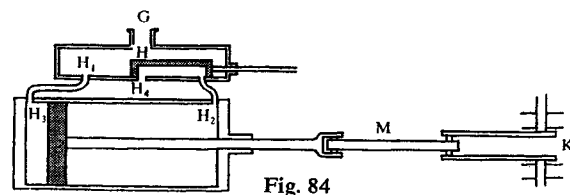


Fig. 84

der viser damptrykket, en sikkerhedsventil *S* og en dampfat (*D*), hvorfra et rør fører dampen hen til maskinen.

Hvis sikkerhedsventilen åbner sig ved et tryk på 10 atm., koger vandet ved 180°, og dampen udøver da et tryk på ca. 10 kg pr. cm<sup>2</sup>.

Fra dampkedlen strømmer dampen ind i gliderkassen *G* (fig. 84). Inde i gliderkassen kan den skålformede glider *H* bevæge sig frem og tilbage. Gliderskålens planslebne rande glider mod den plane væg på gliderkassen. To kanaler *H*<sub>2</sub> og *H*<sub>3</sub> forbinder cylinderens og gliderkassens damptrum. I cylinderen kan et tætsluttende stempel bevæge sig frem og tilbage. Ved den i figuren viste stilling af glideren går kedeldampen gennem kanalen *H*<sub>3</sub> til cylinderen og driver stemplet til højre; samtidig vil den damp, som for et øjeblik siden har drevet stemplet til venstre, strømme ud af kanalen *H*<sub>2</sub> gennem gliderens hulrum og et rør *H*<sub>4</sub> enten ud i luften eller ind i en kondensator.

Hvorledes skal glideren stå, når dampen skal drive stemplet fra højre mod venstre?

Når stemplet går frem og tilbage, får det ved hjælp af plejlstangen *M* og krumtappen *K* aksens til at dreje rundt.

Når stemplet står længst til højre eller til venstre, kan det ikke dreje aksens; men et *svinghjul*, der sidder på aksens, fører maskinen over de to punkter, der kaldes *de døde punkter*.

Gliderens frem- og tilbagegående bevægelse frembringes ved en *excentrisk skive S* (fig. 85), d. v. s. en skive, der er fastgjort på aksens *A* med sit centrum uden for aksens. Om skiven ligger der en løs ring *R*, der er fast forbundet med mellemlæddet *m*. Når aksens og skiven svinger rundt, tvinges glideren til at gå frem og tilbage; står skiven længst til højre eller længst til ven-

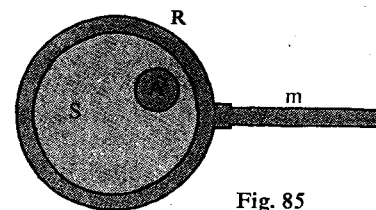


Fig. 85

stre, er glideren henholdsvis i stillingen længst til højre eller længst til venstre.

Glideren indrettes således, at den lukker for damptilførslen til cylinderen, når stemplet har bevæget sig ca.  $\frac{1}{5}$  af stempelslaget. Den derved indespærrede damp udøver et tryk på stemplet og driver dette frem. Når stemplet kommer i sin yderstilling, er damptrykket og temperaturen faldet, hvorved dampens energi er formindsket. Varmeenergi er omsat til bevægelsesenergi.

Når spildedampen udstødes i luften, kaldes maskinen en *højtryksmaskine*. Det modtryk, som dampen skal overvinde, når den skyder stemplet frem, er 1 atm., d. v. s. omtrent 1 kg pr. cm<sup>2</sup>.

I *lavtryksmaskinen* føres spildedampen ind i en stor lukket beholder, *kondensatoren*; den er omgivet af koldt vand, som holder dens temperatur nede ved ca. 40°. Spildedampen fortættes og pumpes tilbage til dampkedelen. Trykket i kondensatoren er lig mættet damps tryk ved 40°, som omtrent er  $\frac{1}{10}$  atm., eller  $\frac{1}{10}$  kg pr. cm<sup>2</sup> på stemplet, mens modtrykket i højtryksmaskinen var ca. 1 kg pr. cm<sup>2</sup>. Lokomotivet er en højtryksmaskine; det har ikke svinghjul, men to maskiner, een på hver side, som ikke samtidig er i de døde punkter. I skibe, hvor der er let adgang til kondensatorvand, bruges lavtryksmaskiner, ligeledes uden svinghjul.

## Forbrændingsmotorer

I dampmaskinen udrettes arbejdet af dampen, der dannes i kedelen, i forbrændingsmotoren sker forbrændingen i cylinderen. Stoffet, der forbrænder, kan enten være benzin, petroleum eller råolie. En blanding af brændslet og atmosfærisk luft antændes enten ved elektrisk gnist, eller ved at den sammenpreses, hvorved dens temperatur stiger så stærkt, at den antændes. Den sidste metode anvendes ved *dieselmotoren*.

Tegningen viser skematisk en firetakts dieselmotor. Ved første stempelslag suges luft ind i cylinderen gennem røret *I* og ventilen *V*. Ved andet stempelslag sammenpreses luften til ca. 35 atm., hvorved den opvarmes til ca. 600° C. Ved hjælp af en pumpe presses råolien sammen med luft ind gennem en forstøver *F*. Den fint fordelte blanding af olie og luft forbrænder, så snart den kommer i berøring med den stærkt ophedede luft inde i cylinderen. Indsprøjtningen vedligeholdes under en

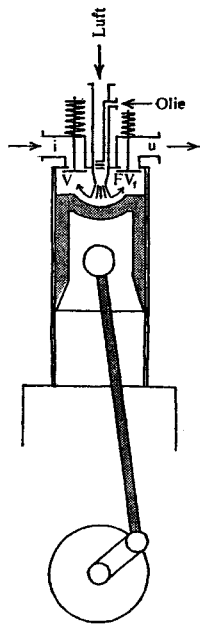


Fig. 86

del af stemplets bevægelse, hvorfor trykket under en del af stempelslaget holdes konstant; derpå afbrydes indsprøjtningen, og forbrændingsprodukterne udvider sig under resten af stempelslaget. Når stemplet er i sin yderstilling, åbnes udstømningsventilen  $V_1$ , og forbrændingsprodukterne udstødes gennem røret *U* ved fjerde stempelslag.

Dieselmotoren har mange fordele fremfor dampmaskinen. Man er fri for kedelanlægget, den er altid klar til start, og på grund af den høje begyndelsestemperatur og den forholdsvis lave temperatur, udstømningsluften kan bringes ned til, har dieselmotoren større nyttevirkning end nogen anden maskine.

## Forskellige energiformer

Når et legeme kan udføre et arbejde, siger man, at det indeholder energi. Rindende vand (en flod, en å, et vandfald) kan drive vandmøller, en kanonkugle kan gennembryde en mur, luften kan drive vindmøller; i disse eksempler er vandet, kuglen og luften i bevægelse og udfører arbejde; man siger, at de har *bevægelsesenergi*. – Opvarmes luften i en flaske, der er lukket med en prop, kan den varme lufts tryk overvinde gnidningsmodstanden mellem prop og flaskehals, så at proppen springer af; når en dampmaskine driver et tærskeværk, er det den hede damp i maskinen, der udfører arbejdet. Varme er altså en form for energi; den kaldes *varmeenergi*. – Den elektriske strøm kan dreje en motor; strømmen har *elektrisk energi*. – Antændes knaldluft, der er indesluttet i en flaske, ryger proppen af, eller flasken sprænges; knaldluft har *kemisk energi*. – I et lommeur drives urværket af en spændt fjeder, i et stueur er det loddet, der udfører arbejdet; fjederen og loddet har *potentiel energi*. Om loddet – og om alle andre ting, der er hævet til vejrs – bruger man også det udtryk, at de har *beliggenhedsenergi*.

En energiform kan omsættes til en anden eller til flere andre. Når f. eks. en sten falder, har den bevægelsesenergi, indtil

den standses af jorden; bevægelsesenergien er nu forsvundet, men samtidig er stenen og jorden blevet lidt varmere; bevægelsesenergien er altså omdannet til varmeenergi. – I glødelampen omdannes elektrisk energi til varme. – I en kakkelovn omdannes kullets kemiske energi til varme. – I et galvanisk element, hvis poler er forbundne med en metaltråd, opløses zinken af svovlsyren, når strømmen går, selv om zinken er amalgameret; kemisk energi omsættes her væsentlig til elektrisk energi (lidt af den også til varme i elementet); i ledningen omsættes den elektriske energi til varme.

Mennesker og dyr kan udføre arbejde, frembringe energi; herved mister de selv energi, som erstattes gennem fødemidlerne.

Mangfoldige forsøg har godtgjort, at det altid går således; de enkelte energiformer kan vel forandre størrelse, men deres sum bliver stadig den samme. Denne sætning, som kaldes *energisætningen*, kan udtrykkes således: *Summen af alle energimængder i hele verden er uforanderlig.*

## LYDEN

Hænger vi et lille stykke kork op i en sytråd, anslår en stemmegaffel og holder dens ene gren hen til korkstykket, ser vi, at det stødes bort. Stemmegaffelens grene svinger frem og tilbage og sætter luften i bevægelse; når bevægelsen træffer trommehinden, kommer denne i svingninger, og vi hører en tone. Stemmegaffelens grene svinger frem og tilbage mellem de to yderstillinger *abc* og *xyz*; de stillestående punkter *A* og *B* kaldes knudepunkter. Skaftet *S* kommer derved til at bevæge sig op og ned; sættes det mod bordpladen, kommer denne i svingninger; der sættes mere luft i bevægelse end før, og tonen lyder stærkere. En almindelig stemmegaffels grene svinger 440 gange frem og tilbage i et sekund (kammertonen).

En firkantet plade er på midten fastgjort til et skaft; strør vi tørt fint sand på pladen og stryger randen med en violinbue, høres der en tone, og sandet kommer i bevægelse. Sandet slynges bort fra de svingende dele af pladen og samler sig i de stillestående dele, der kaldes *knudelinier*. Fig. 88 viser, hvordan sandet ordner sig, når man berører de med *a* mærkede punkter og stryger med violinbuen ved *b*. De figurer, som sandet danner, kaldes *klangfigurer*.

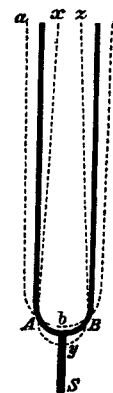


Fig. 87

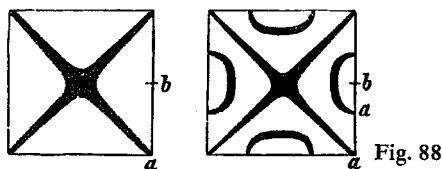


Fig. 88

Fylder man et vinglas (krystalglas) omtrent til randen med vand, fugter fingeren og fører den med et let tryk rundt langs glassets rand, fremkommer der snart en tone, og man ser vandet kruse sig. Glasset er kommet i svingninger, som sætter vandet i bevægelse. Vandets bevægelse bliver stærkest, når man stryger et punkt af randen med en violinbue, der er gnedet godt ind med harpiks.

*En lyd opstår i reglen ved, at faste legemer kommer i svingninger, er svingningerne regelmæssige, fremkommer en tone.*

Fra det svingende legeme forplanter lyden sig oftest til øret gennem luften, men den kan også gå gennem andre stoffer. Fiskene kan høre i vandet. Et slag på vandrøret kan høres gennem hele huset. Lægger man øret til jorden, kan man høre et tog langt borte. Lyden kan ikke gå gennem det tomme rum; et ringeapparat, der er anbragt inde i luftpumpens klokke, ringer svagere, når luften pumpes ud.

Vi kan få en forestilling om, hvorledes lyden forplanter sig gennem luften, ved at tænke os stemmegaffelens ene gren  $G$  svingende frem og tilbage. Svinger  $G$  til højre, bliver luften ved  $a$  presset sammen; der opstår en *fortætning* ved  $a$ . I det luften i denne fortætning udvider sig, presser den den luft, der er lidt længere til højre (ved  $b$ ), sammen; der opstår en for-

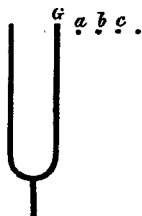


Fig. 89

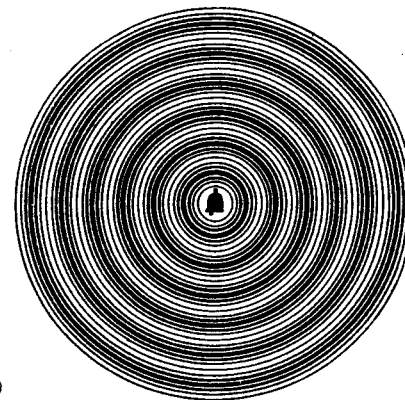


Fig. 90

tætning ved  $b$ , mens fortætningen ved  $a$  taber sig. Kort efter har fortætningen ved  $b$  på samme måde flyttet sig til  $c$  o. s. v.

Når  $G$  svinger til venstre, suges luften ved  $a$  med til venstre; der opstår en *fortynding* ved  $a$ . Nu strømmer luften fra  $b$  hen til  $a$ , fortyndingen ved  $a$  taber sig, mens der opstår en fortynding ved  $b$ . Kort efter er fortyndingen på samme måde nået til  $c$  o. s. v. *Fra det svingende legeme udgår der altså en række fortætninger og fortyndinger.*

I ovenstående beskrivelse har vi antaget, at der kun sker fortætninger og fortyndinger langs en ret linie. I virkeligheden udbreder fortætningerne og fortyndingerne sig i alle retninger, som det antydes i fig. 90.

En sådan bevægelse kaldes en *bølgebevægelse*; det ejendommelige ved denne er, at de enkelte luftdele svinger omkring en ligevægtstilling, samtidig med at selve bevægelsen breder sig udefter.

Ved en *bølgebevægelse* ( $b$ ) forstås den vej, lyden går, samtidig med at lydgiveren udfører en svingning. *Svingningstallet* ( $n$ ) er det antal svingninger, lydgiveren udfører i ét sekund. Kaldes lydens hastighed  $v$ , har man derfor  $v = nb$ .

Når en fortætning træffer trommehinden, buer denne sig lidt ind; når en fortynding træffer den, svinger den udad. Svinger stemmegaffelens grene 440 gange frem og tilbage i et sekund,

udgår der i løbet af et sekund 440 fortætninger og fortyndinger fra stemmegaffelen, og trommehinden svinger i samme tid 440 gange frem og tilbage. Det har vist sig, at øret kun får en lydforneemmelse, hvis legemet svinger mindst 16 og højst ca. 40,000 gange frem og tilbage i et sekund.

*Lydens hastighed.* Lydens hastighed er den vejlængde, som en fortætning eller fortynding skrider frem i et sekund; den er meget lille i sammenligning med lysets. Når et lokomotiv er langt borte, ser vi dampen strømme ud af dampfløjten, før vi hører den pibe. Står vi et par hundrede skridt fra en mand, der rammer en pæl i jorden, ser vi køllen træffe pælen, før vi hører slaget. Man har fundet lydens hastighed ved at affyre en kanon og langt borte iagttage, hvor mange sekunder der forløb fra det øjeblik, man så glimtet, til man hørte knaldet; afstanden mellem kanonen og iagttagelsesstedet var opmålt. *I luften er lydens hastighed ved  $0^\circ$  332 m i 1 sekund; den vokser godt  $\frac{1}{2}$  m for hver grad, temperaturen stiger.*

*Ekkoet* fremkommer ved, at lyden kastes tilbage fra en mur, en klippe eller lignende. Hvor langt må man stå fra muren, hvis man hører ekkoet gentage en stavelse et sekund efter, at den er udtalt?

*Strenginstrumenter.* Hvis legemets dele alle bruger samme tid til en svingning og stadig svinger lige hurtigt, kaldes lyden en *tone*. Når flere toner frembringes samtidig, lyder de kun godt, hvis forholdene mellem deres svingningstal er simple tal, f. eks.  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{4}{3}$  o. l. Enhver anden lyd end det, vi kalder toner, fremkommer ved, at de forskellige dele af legemet ikke svinger lige hurtigt, og er altså en blanding af en række forskellige toner med svingningstal, hvis forhold ikke er simple tal.

Vi spænder en klaverstreng ud fra en klemme *A* over en trisse *T* (fig. 91) og strammer strengen ved hjælp af loddet *P*. Ved at flytte klodsen *B* kan vi ændre strengens længde. Vi anslår strengen *AB* og mærker os, hvorledes tonehøjden ændres ved at forandre spændingen eller længden.

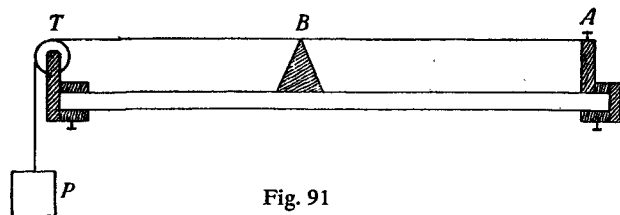


Fig. 91

*Jo kortere strengen er, jo højere er tonen.*

Vi ændrer strengens spænding ved at ombytte *P* med et andet lod.

*Jo stærkere spænding jo højere tone.*

Vi ombytter strengen med en tykkere klaverstreng uden at forandre spændingen eller længden.

*Jo tykkere streng jo dybere tone.*

Vi ombytter stålstrengen med en streng af mindre vægtfylde (tarmstreng) uden at ændre spændingen eller længden.

*Jo mindre vægtfylde jo højere tone.*

I orgelpiben er det en svingende luftøjle, der frembringer tonen.

# MAGNETISME

I flere lande findes der i jorden et jernholdigt stof, hvorefter enkelte stykker – de såkaldte naturlige magneter – har den egen- skab at kunne tiltrække jern, stål og nikkel; de var kendt alle- rede i oldtiden og fik navn efter byen Magnesia i Lilleasien, hvor de først blev fundet. Nu bruges magneter af stål, som er bedre end de naturlige.

Dyppes en magnet i jernfilspåner, hænger de ved magneten, dog kun i ringe mængde på midten af den. De steder, hvor der hænger flest ved, kaldes magnetens *poler*; der er i reglen to poler, men der kan være flere. En magnet har enten form som en stang eller en hestesko; når den ikke benyttes, lægges der over polerne et stykke blødt jern, *ankeret*, som bevirker, at magnetismen ikke så let taber sig.

Ophænges en magnetnål, d. v. s. en tynd magnet, på en spids, således at den kan dreje sig i et vandret plan, kaldes den en *kompasnål*; den indstiller sig af sig selv omtrent i ret- ningen nord-syd. Den ende, der vender mod nord, kaldes nordpolen, den anden sydpolen; et lodret plan gennem nålens midtlinie kaldes *stedets magnetiske meridianplan*. – Hvor må kompasnåle tyngdepunkt ligge i forhold til det punkt, hvor spidsen rører nålen?

Vi bestemmer to magnetnåles nord- og sydpoler ved at an- bringe dem på en spids; den ene lader vi blive siddende på spidsen, den anden tager vi i hånden og nærmer dens poler til den førstes poler. Vi ser da, at *ensartede poler frastøder hin- anden, uensartede tiltrækker hinanden*. To poler påvirker hin- anden med en kraft, der er omvendt proportional med afstan- dens kvadrat. Fjernes to poler fra hinanden, således at deres afstand f. eks. bliver 7 gange så stor, som den var fra først af, bliver kraften 49 gange mindre.

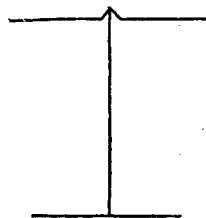


Fig. 92

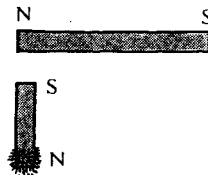


Fig. 93

Dyppes et stykke jern ned i filspåner, hænger der i reglen ingen ved, men nærmes en magnet til jernstykket (fig. 93), bliver det stærkt magnetisk og kan tiltrække filspånerne; fjer- nes magneten, mister jernet næsten hele sin magnetisme. Er det en nordpol, der fra oven nærmes til jernstykket, kan vi vise med kompasnålen, at det får nordpol forneden; foroven får det en sydpol, som dog ikke er let at påvise på grund af magnetens nærhed. – Gøres samme forsøg med et stykke stål, en synål eller en pen, bliver stålet kun meget lidt magnetisk, men beholder sin magnetisme, når magneten fjernes.

Hvorfor hænger spånerne ved en magnetpol, der stikkes ned i dem, hvor får de nordpol og sydpol?

En stång, f. eks. en strikkepind, magnetiseres stærkt ved at stryges med en magnet. Læg strikkepinden på bordet, sæt en nordpol på dens ene ende, stryg den langs hen ad strikkepinden og løft den af, når den er kommen til den anden ende af strikke- pinden; på denne måde stryges strikkepinden flere gange, stadig samme vej. Den får da sydpol i den ende, hvor nordpolen løftes af, nordpol i den anden ende.

Vil vi lave en magnet med 3 poler, stryges først den ene halv- del af en strikkepind og bagefter den anden, f. eks. med en

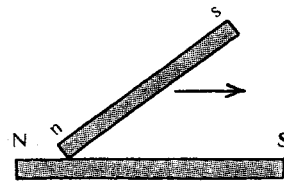


Fig. 94

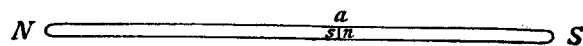


Fig. 95

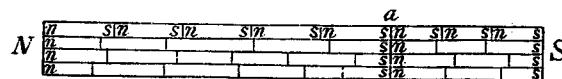


Fig. 96

nordpol; stryg fra midten af strikkepinden ud mod enderne. Med jernfilspåner og med kompasnålen kan vi nu vise, at den har sydpol i enderne og nordpol på midten.

*Magneters indre bygning.* Dypper vi en magnetiseret strikkepind ned i filspåner, hænger disse fast ved enderne af strikkepinden, men ikke på midten; *der synes kun at være magnetisme i enderne.* Brækkes strikkepinden over ved *a* (fig. 95), kan vi imidlertid med kompasnålen vise, at de to stykker er to magneter hver med sin nordpol og sydpol; *før strikkepinden blev brækket over, ophævede polerne n og s hinanden.* Brækker vi en af stumperne over, får vi atter to magneter hver med sin nordpol og sydpol, og så fremdeles.

Man antager derfor, at stål og jern består af en mængde småmagneter, som i magnetisk stål og jern er ordnede således, at de alle vender nordpolerne til den ene side, sydpolerne modsat vej. Fig. 96 viser, hvorledes småmagneterne må tænkes ordnede, hvis stålet eller jernet har poler i endefladerne. I et tværsnit *a* ophæver de små magneters nord- og sydpoler hinandens virkning udadtil, mens der ved stangens ender, *N* og *S*, findes to rækker poler, der ikke ophæves af andre poler.

I umagnetisk stål og jern ligger de små magneter i uorden; når en stang magnetiseres, drejes altså småmagneterne; når disse ligger som på fig. 96, siges stangen at være *mættet* med magnetisme og kan ikke magnetiseres stærkere. Da jern er lettere at magnetisere end stål, må småmagneterne være lettere at dreje i jernet; til gengæld kommer de her let i uorden, d.v.s. jern mister let sin magnetisme.

Tegn småmagneterne i en hesteskomagnet med anker; hvor får ankeret nordpol og sydpol, og hvorfor taber magneten ikke sin magnetisme, når den har anker på?

## Jordmagnetismen

*Hældningsnålen* (inklinationsnålen) er en magnetnål, der kan dreje sig om en vandret akse *a b* gennem tyngdepunktet og bæres af en messingbøjle, som hænger i en snor. Nålen indstiller sig af sig selv i det magnetiske meridianplan og står hos os skråt med nordpolen nedefter; nålens midterlinie danner med det vandrette plan en vinkel på ca.  $70^\circ$ , som kaldes *hælden*. På halvøen Boothia-Felix i det nordlige Nordamerika stiller hældningsnålen sig lodret med nordpolen nedad; omtrent på det diametralt modsatte sted af jorden, syd for Australien, stiller den sig ligeledes lodret, men med sydpolen nedad. I en linie rundt om jorden omtrent midt mellem disse to steder står den vandret; denne linie kaldes *den magnetiske Ækvator*. Alle

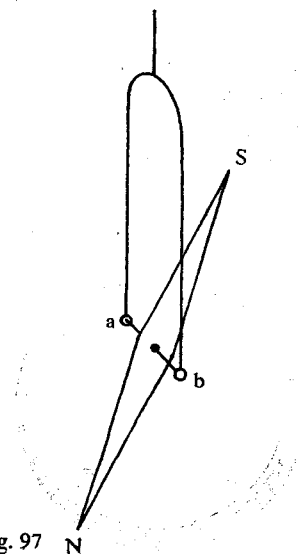


Fig. 97



andre steder står hældningsnålen skråt; nord for den magnetiske Ækvator vender nordpolen nedad, syd for den vender sydpolen nedad, og hældningen bliver desto større, jo mere man fjerner sig fra den magnetiske Ækvator mod nord eller syd.

Jorden forholder sig altså i hovedtrækkene, som om den var en stor magnet med sydpol i Bothia-Felix og nordpol syd for Australien. Som følge heraf har lodret stående jerngenstande hos os en sydpol foroven, hvad vi kan vise ved at nærme kompasnålen sydpol til den øverste ende af et forsøgsstativ eller en kakkellov; hvorfor kan det ikke påvises med kompasnålen nordpol?

Når hældningsnålen er i ro, angiver dens stilling retningen af de jordmagnetiske kræfter på stedet.

*Kompasnålen* nordpol peger hos os ikke lige mod nord, men lidt til vest. Vinklen mellem nålens midterlinie og retningen nord-syd er ca.  $2\frac{1}{2}^\circ$ ; man siger, at vi har  $2\frac{1}{2}^\circ$  vestlig *misvisning* (deklinations). Misvisningen er 0 i en linie, der går gennem de magnetiske poler, mod vest går den gennem Nord- og Sydamerika, mod øst gennem Rusland (omtrent gennem Leningrad); denne linie deler jorden i to dele, hvoraf den ene har vestlig, den anden østlig misvisning. — I tidernes løb forandrer misvisning og hældning sig på samme sted. For omtrent 300 år siden var misvisningen her i landet 0, blev så vestlig og voksede, til den i begyndelsen af forrige århundrede blev  $18\frac{1}{2}^\circ$ ; siden den tid aftager den stadig. I løbet af døgnet foregår der også små forandringer i misvisning og hældning, idet de snart

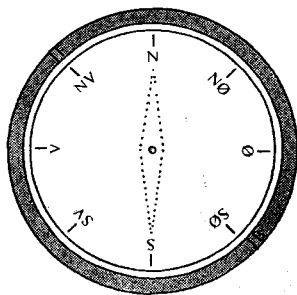


Fig. 98

vokser, snart aftager; disse forandringer kan blive ret betydelige, når der optræder nordlys.

I egnene mellem Nordpolen og Boothia-Felix peger kompasnålen nordpol mod syd; hvorfor? Hvorfor har misvisningen ingen bestemt værdi ved de geografiske poler, hvorfor har den ingen bestemt værdi ved de magnetiske poler?

Sømændene bruger kompasnålen til at se, hvad retning de sejler i. På skibskompassets nål er der fastgjort en rund skive, hvorpå verdenshjørnerne er afsat. Skiven ligger oven på nålen og drejer sig sammen med denne. *N* og *S* står lige over nålens poler. Linierne *F* og *B* er to stykker af linien fra skibets forstavn til bagstavnen, som er malet på kompassets rand; står skiven således, som tegningen viser, styrer skibet mod nord-vest.

Nutildags er de fleste skibe helt af jern. Hvis de under bygningen har stået med forstavnen mod nord, har de fået nordpol her og sydpol i bagstavnen. Når kompasset bringes om bord, viser det derfor helt forkert. For at ophæve skibets magnetisme, anbringer man flere magneter i nærheden af kompasset, i reglen i dets fodstykke, og flytter på dem, indtil kompasset viser rigtigt.

# ELEKTRICITET

Gnider man en lakstang med en tør ulden klud, kan den tiltrække lette ting som hår og små stykker papir; man siger, at den er blevet elektrisk. Alle stoffer kan blive elektriske ved gnidning. Allerede i oldtiden vidste man, at rav kan blive elektrisk; ordet elektricitet kommer af det græske navn på rav (elektron).

Vi gnider en ebonitstrimmel med en ulden klud og efter at have overbevist os om, at den er elektrisk, ved at nærme den til små papirstykker, anbringer vi den på lignende måde som en kompasnål (fig. 99). Derefter gnider man en ebonitstang og nærmer den til strimlen, vi ser da, at de to legemer frastøder hinanden. Derefter prøver vi med glas gnedet med uldkluden; når glasset er blevet elektrisk, vil det tiltrække ebonitstrimlen.

Prøv på samme måde med rav og svovl.

*To elektriske legemer, der frastøder hinanden, siges at have samme slags elektricitet, to, der tiltrækker hinanden, har modsat.*

Den elektricitet, ebonit får ved gnidning med en ulden klud, kalder man *negativ*, den glas får ved gnidning med uld *positiv*.

Prøv at nærme den uldne klud til ebonitstrimlen, efter at glasstangen er gnedet med den.

Kluden og strimlen frastøder hinanden. Det viser sig altid,

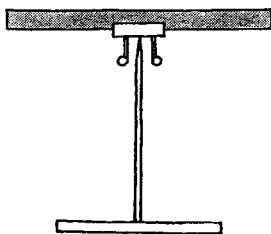


Fig. 99

at af to legemer, der bliver elektriske ved at gnides mod hinanden, bliver det ene positivt og det andet negativt.

Prøv at gnide en metalstang og nærm den til små papirstykker, nærm den derefter til ebonitstrimlen. Vi ser, at den tiltrækker strimlen, hvorledes dette kan forklares, vil fremgå af det følgende.

*To elektricitetsmængder påvirker hinanden med en kraft, der er omvendt proportional med afstandens kvadrat. (Samme regel, som gælder for magnetpoler).*

## Elektrisk fordeling. Gode og dårlige ledere

Tidligere antog man, at positiv og negativ elektricitet var to stoffer, som i uelektriske legemer er blandede sammen og op hæver hinandens virkninger; denne teori var opgivet i en lang årrække, men de senere års opdagelser har bevirket, at man nutildags har lignende anskuelser om elektricitetens væsen (se under elektronteorien). Nærmer man altså en gnedet ebonitstang til et uelektrisk legeme, vil den negative elektricitet frastødes, hvorfor den ende af legemet, der er nærmest ebonitstangen får overskud af positiv elektricitet. Ved forsøg kan vi prøve, om dette finder sted.

Stik en metalstang *s* gennem hullet i en gummiprop og klem proppen fast i forsøgsstativet (fig. 100). I den ene ende af stangen hænger et par hyldemarvskugler i bløde bomuldstråde; stangens anden ende rører ved elektroskopet *E*, således som figuren viser (et elektroskop er en metalstang, som foroven ender i en metalknop og forneden bærer to tynde guldblade eller aluminiumblade, det sidder i en flaske med en ebonitprop).

Gnid nu en ebonitstang (*S* på figuren) med en varm, ulden klud og nærm den til hyldemarvskuglerne; de slår over mod ebonitstangen og må altså være positiv elektriske.

Elektroskopets aluminiumblade slår også ud; vi skal nu finde, hvilken slags elektricitet de har. Mens ebonitstangen *S* stadig holdes, som figuren viser, skyder vi elektroskopet bort

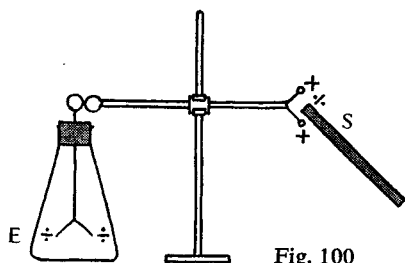


Fig. 100

fra den vandrette metalstang; aluminiumbladene bliver ved at slå ud. Nærmer vi nu fra oven en gnedne glasstang til elektrooskopets knop (ikke for nær), falder aluminiumbladene sammen, mens en gnedne ebonitstang får dem til at slå stærkere ud; elektrooskopet må altså være negativ elektrisk. Hvordan ville det være gået med aluminiumbladenes udslag, hvis de havde været positiv elektriske?

*Nærmes et elektrisk legeme til en metalstang, opstår der elektricitet i den. Den ende, der er nærmest legemet, får elektricitet af modsat art, den anden elektricitet af samme art som legemet. Man siger, at metalstangen er bleven elektrisk ved fordeling.*

Vi stiller igen apparaterne sammen som på fig. 100 og nærmer den gnedne ebonitstang til hyldemærkuglerne. Berører vi nu et sted af metalstangen *s* med fingeren, falder aluminiumbladene sammen; den negative elektricitet er gået gennem fingeren ned i jorden, mens den positive bliver på sin plads. Den elektricitet, der går bort, kaldes *fri*; den, der bliver, kaldes *bunden*.

Erstattes metalstangen *s* med en stang af glas, lak eller ebonit, slår elektrooskopets aluminiumblade ikke ud, når vi gør forsøget. Stængerne må være lange, rene og *tørre*. I disse stoffer kan elektriciteten dårlig bevæge sig; de kaldes *dårlige ledere*, mens stoffer, der kan blive elektriske ved fordeling, kaldes *gode ledere*. *Alle metaller, kul, vand, det menneskelige legeme, fugtigt papir og alle fugtige ting er gode ledere. Lak, glas, por-*

*celæn, rav, gummi, ebonit, tørt papir, silke og luft er dårlige ledere.*

Enhver ting er overtrukket med en tynd hinde af vand, som skriver sig fra vanddampene i luften. Derfor er det så vigtigt, at papir, klude og glas opvarmes, når de skal bruges til elektriske forsøg.

Gode ledere stilles på glasfodder, hvis elektriciteten ikke må gå bort fra dem; men kalder det at *isolere* dem; de må ikke have skarpe kanter eller spidser, da elektriciteten ellers går ud i luften. Foruden glas benyttes ofte gummi, ebonit og porcelæn som isolationsmateriale. Hvorfor er metalstangen *s*, fig. 100, stukket gennem en gummiprop? Hvorfor kan man ikke påvise, at en metalstang bliver elektrisk ved gnidning, når man holder den i hånden?

Hvorfor tiltrækker en metalstang ebonitstrimlen? Fig. 99.

## Elektrisk spænding

*En leders elektriske tilstand er bestemt ved dens spænding, og spændingen måles ved udslaget på et elektrometer.*

Et elektrometer er i hovedsagen et elektrooskop. I stedet for det ene aluminiumblad har man en lodret messingstang gennem proppen. Det andet aluminiumblad kan dreje sig på en vandret akse. Når apparatet ikke er ladet, rører bladet ved stangen; lades det, gør bladet et udslag, der måles på en gradbue. Elektrometret er anbragt i en metalkasse; udslaget iagttages gennem en rude af glas. Man kan med god tilnærmelse sætte spændingen ligefrem proportional med udslaget.

Under forsøgene skal elektrometret være fjernet så langt fra lederen, at dennes elektriske ladning ikke kan påvirke dette gennem luften, og kassen skal være i ledende forbindelse med jorden.

Til undersøgelse af spændingen vil vi benytte to hule metalcylindre A og B, der kan skydes ind i hinanden (fig. 101).

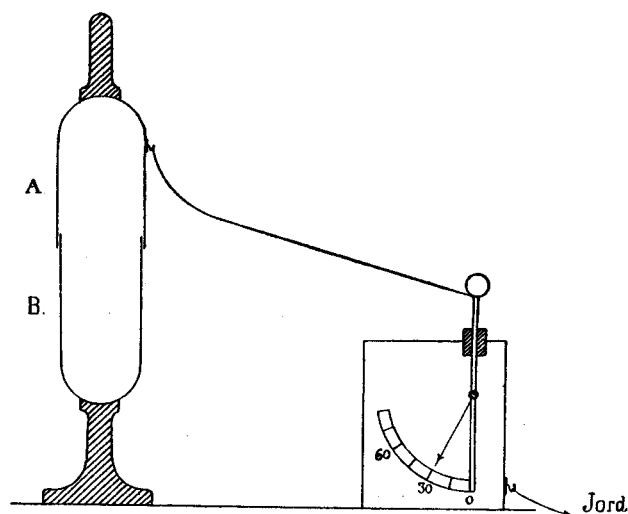


Fig. 101

B står på en isoleret fod, og A er forsynet med et isolerende håndtag.

Forbindes A med elektrometret og oplades, gør aluminiumbladet et udslag. A fjernes fra B og udlades ved berøring med en finger. Sættes A og B atter sammen, gør elektrometret mindre udslag. Skydes A ned over B, bliver den samlede overflade mindre, og elektrometret gør større udslag.

Disse to forsøg viser, at *spændingen aftager med elektricitetsmængden og vokser, når overfladen bliver mindre.*

Elektrometret forbindes ledende med en metalstang med ebonithåndtag. Cylinderen lades med elektricitet og berøres med metalstangen. *Spændingen viser sig at være ens overalt på lederen.* Dette er altid tilfældet, når elektriciteten er i hvile. Et positivt ladet legeme siges at have højere spænding end et negativt. Jordens spænding er nul.

*Forholdet mellem den elektricitetsmængde, der tilføres en leder, og den spænding, lederen derved får, kaldes lederens kapacitet.*

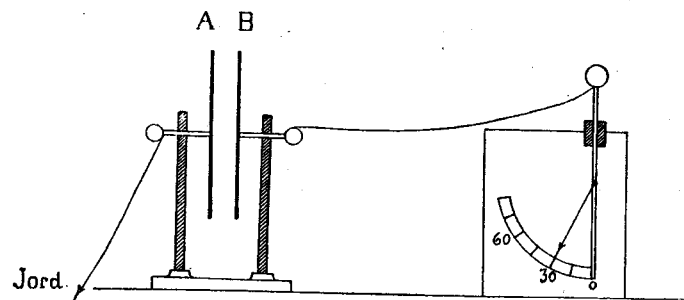


Fig. 102

Af det foregående forsøg ser man, at en leders kapacitet vokser med overfladen.

Kaldes kapaciteten C, spændingen V og elektricitetsmængden Q har man

$$\frac{Q}{V} = C$$

En isoleret metalskive B forbindes med elektrometret (fig. 102) og oplades. Nærmer man en anden metalplade A, der er afledet til jorden, til B, bliver spændingen mindre på B. Da elektricitetsmængden er uforandret, må B's kapacitet være vokset. Årsagen hertil er at der opstår fordeling i A, som atter virker tilbage på B.

Sættes pladerne tæt sammen, aftager spændingen, altså vokser kapaciteten, når afstanden aftager. Mellem A og B skal der være et isolerende lag, i dette tilfælde er det luft; men benytter også glas, glimmer, fernetis o. lign.

Et apparat som det beskrevne kaldes en pladekondensator. Pladen B kan optage stor elektricitetsmængde, uden at der opstår høj spænding. Fjernes A, aftager kapaciteten, og spændingen stiger. Kondensatorer finder stor anvendelse ved radio-telefoni og -telegrafi.

## Den elektriske strøm

1. Fig. 103 forestiller to kondensatorplader, mellem dem hænger i en silketråd en lille hylde-marvskugle overtrukket med staniol. Hvis de to plader A og B oplades med samme slags elektricitet og noget nær sammen spænding, vil kuglen hænge rolig mellem pladerne. Helt anderledes vil det gå, hvis den ene plade (B) afledes til jorden, hvorved den får spændingen nul. Kuglen vil da, efter at have berørt A, svinge frem og tilbage mellem pladerne, indtil A også får spændingen nul. Der er sket følgende: Ved kuglens berøring med B afgiver kuglen sin ladning, hvorefter den tiltrækkes af A, og således fortsættes, indtil A er afladet.

Der er altså ført elektricitet fra A til B, og man siger, at *der er gået en elektrisk strøm fra A til B*.

2. Kondensatorpladerne sættes i forbindelse med en elektrisermaskine og med et elektrometer (fig. 104). Mellem stik-kontaktens to poler er der en vis spændingsforskel. Hylde-marvskuglen vil nu efter berøring med den ene kondensator-plade svinge frem og tilbage mellem pladerne; men spændingen forandres ikke, fordi der stadig tilføres elektricitet fra elektrisermaskinen. – Afstanden mellem pladerne (fig. 104) skal være lille.

*Betingelsen for, at der kan gå en elektrisk strøm mellem to ledere, er, at der er en vis spændingsforskel mellem dem, og at der er noget, der kan transportere elektriciteten fra det ene legeme til det andet. Skal strømmen holdes i gang, må der stadig tilføres elektricitet fra en elektricitetskilde.*

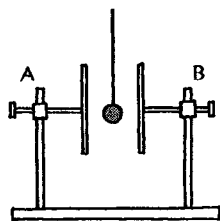


Fig. 103

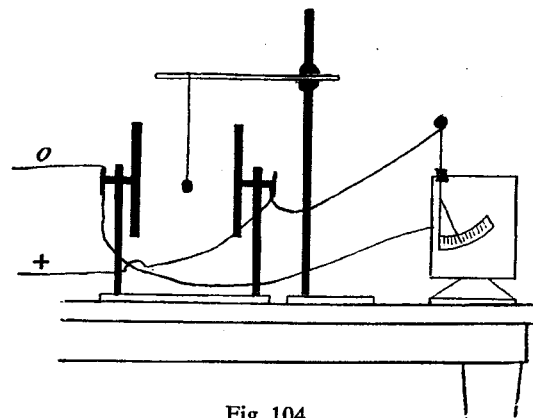


Fig. 104

En sådan elektricitetskilde har vi i det *galvaniske element*, opfundet af italieneren Volta 1794. Et galvanisk element består af to plader af forskellige metaller (eller en kulplade og en metalplade) stående i en ledende væske. Elektriciteten opstår på de steder, hvor væsken rører pladerne.

*Kromsyre-elementet* (fig. 105). I glasset står der en kulplade K og en zinkplade Z, som ikke rører hinanden. Væsken er fortyndet svovlsyre, hvori der er opløst et rødt stof, som kaldes tvekromsurt kali. På hver plade er der foroven fastgjort en klemmeskrue af messing; kulpladens klemmeskrue kaldes ele-

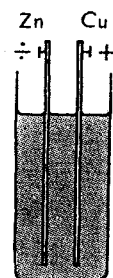


Fig. 105

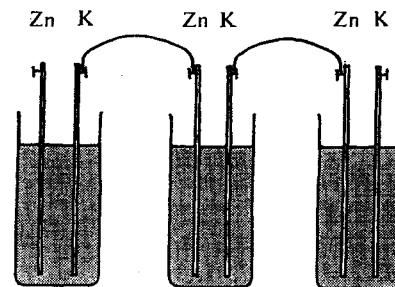


Fig. 106

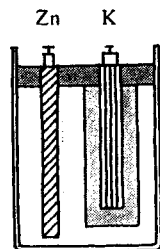


Fig. 107

mentets *positive pol*, zinkpladens den *negative pol*. Sætter vi flere elementer ved siden af hinanden og forbinder polerne med metaltråde, således som fig. 106 viser, har vi et galvanisk batteri; klemmeskruerne på de yderste plader kaldes batteriets poler.

Forbindes kul- og zinkpladen med en leder (metaltråd), vil der gå en elektrisk strøm fra den ene plade til den anden, og man siger, at strømmen går fra den positive pol gennem ledningen til den negative.

*Tørelementet* består af en kulstang *K* og en zinkcylinder, der omslutter kulstangen, men på figuren er tegnet som en stang *Zn*. Om kulstangen er der pulveriseret brunsten *B*, som holdes sammen af et stykke tøj og er gennemtrukket af en opløsning af salmiak i vand. Zinkcylinder og kulstang med brunsten står i en salmiakopløsning, der er gjort stiv ved tilsætning af forskellige stoffer (tidligere brugte man savsmuld).

Spændingen på polerne er så lille, at den ikke kan påvises ved et almindeligt elektrometer.

## Elektromagnetisme

I året 1820 påviste den danske fysiker *H. C. Ørsted*, at der fra en elektrisk strøm udgår magnetiske kræfter vinkelret på strøm-  
mens retning. Hans opdagelse fik grundlæggende betydning for de følgende opdagelser angående vekselvirkningen mellem elektricitet og magnetisme.

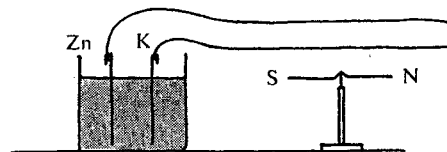


Fig. 108

*Ørsteds forsøg.* Forbind polerne på et batteri med en metaltråd og hold tråden over en kompasnål, således som figuren viser (fig. 108); vi ser, at nålen slår ud. Strømmen, der går gennem ledningen, har den egenskab, at den kan bevæge en magnet. Hold ledningen således, at strømmen går hen over kompasnålen i modsat retning; nålen slår nu ud til modsat side.

Forsøget viser, at der gælder følgende regel: *Hold højre hånd tæt ved strømmen med fingerspidserne i strømmens retning og vend håndfladen mod magneten; nordpolen slår da ud til tommelfingersiden.*

Undersøg hvilken indflydelse det får på magnetens udslag, hvis ledningens afstand fra magneten ændres.

Hvorledes vil de to ledninger på figuren påvirke magneten? Virker de lige stærkt på magneten? Hvilken indflydelse vil det få på udslaget, hvis magneten anbringes mellem de to ledninger?

Hvorledes forholder magneten sig, hvis strømmen går vinkelret på magnetens retning?

Når en strøm påvirker en magnetpol, vil en pol også påvirke en strøm, ifølge sætningen om aktion og reaktion. Dette kan påvises ved følgende forsøg: I et stativ er ophængt en tynd kobbertråd, der forneden ender i et søm, der dypper ned i en skål med kviksølv. Ledningen går ind mellem de to grene af en hestekomagnet.

Ledes en strøm ind ved *A* og ud ved *B*, vil ledningen bevæge sig til venstre (fig. 109). Man får følgende regel: *Lægges højre hånd således, at strømmen går ind ved håndroden og ud ved fingerspidserne, og håndfladen er vendt mod nordpolen, vil ledningen bevæge sig i retning mod lillefingeren.*

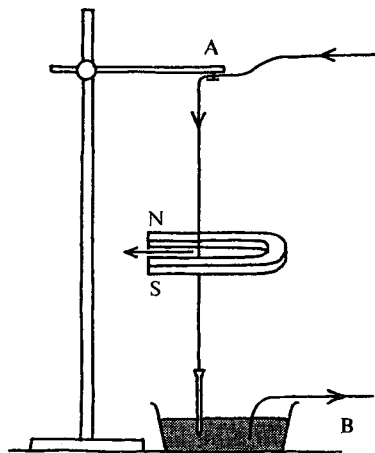


Fig. 109

**Elektromagneter.** En elektromagnet er en stang af blødt jern, hvorom der er viklet isoleret kobbertråd. Fig. 110 viser, hvordan en hesteskoformet elektromagnet ser ud; læg mærke til, hvordan den isolerede kobbertråd går over fra elektromagnetens ene gren til den anden oppe ved *a*.

Send en elektrisk strøm gennem kobbertråden og dyp elektromagnetens ender ned i jernfilspåner; vi ser, at den er blevet stærkt magnetisk. Afbrydes strømmen, mister den næsten hele sin magnetisme. Vi prøver med kompasnålen, hvilke poler den har, når strømmen går, og ser, at man kan bestemme dens poler ved hjælp af følgende regel: *Tag omkring elektromagneten med højre hånd, således at fingerspidserne peger i strømmens retning; elektromagneten får nordpol i den ende, som tommelfingeren vender hen imod, sydpol i den anden ende.*

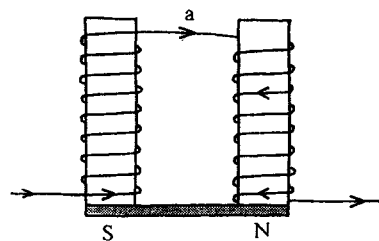


Fig. 110

Hvorfor skal elektromagnetens kobbertråd være isoleret? Hvilke poler vil elektromagneten få, hvis kobbertråden var viklet således om den højre gren, at den ved *a* gik for om elektromagneten i stedet for bag om?

Elektromagnetens styrke vokser med vindingernes antal og med strømstyrken, indtil jernet er „mættet med magnetisme“.

Rul en kobbertråd om en blyant og træk blyanten ud af rullen; vi har nu en spiralførm kobbertråd. Send en strøm gennem den og vis med kompasnålen, at den forholder sig som en svag magnet; dens poler findes ved hjælp af samme regel, som vi brugte ved elektromagneten.

Stik en stang af blødt jern ind i rullen og vis, at elektromagneten bliver meget stærkere.

## Strømmens kemiske virkninger

**Vandets sønderdeling.** Gennem bunden på karret *A* går der to platintråde, som foroven bærer to små platinplader og forneden ender i to klemmeskruer *N* og *P*. I karret hældes vand, hvortil der sættes lidt svovlsyre. Klokkerne *B* og *I* fyldes med vand og anbringes over platinpladerne med munden under vandet i karret, således som figuren viser. Hvorfor løber vandet ikke ud af klokkerne? *P* forbindes med den positive, *N* med den negative pol på et batteri; strømmen løber altså gennem vandet fra den ene platinplade til den anden.

Pladen, hvor strømmen går ind i vandet, kaldes *anoden*, og hvor den går ud, *katoden*.

Ved platinpladerne danner der sig luftblærer, som stiger til vejrs og samler sig øverst i klokkerne; *B* fyldes *dobbelt så hurtigt som I*. Når vandet er drevet ud af klokken *B*, tager vi den af krogen, holder den med munden nedad og sætter en brændende tændstik til munden; vi ser, at luften i *B* brænder med svagt lysende flamme. Når klokken *I* er fuld, tager vi den af, holder den med munden opad og lader en træpind, der

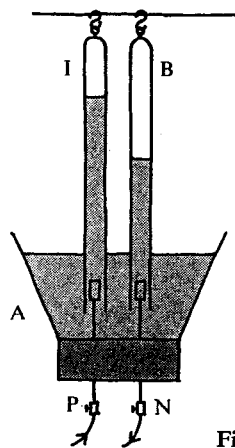


Fig. 111

gløder i spidsen, falde ned i den; træpinden bryder i brand. Der dannes ilt ved anoden og brint ved katoden.

Pladerne er af platin for ikke at angribes af ilten. Vi måtte først holde den ene klokke med munden nedad, den anden med munden opad, fordi brint er lettere end luften, ilt tungere.

Vi fylder igen den ene af klokkerne med vand og holder den først over den ene platinplade, så over den anden, således at to tredjedele af klokken fyldes med brint, resten med ilt; blandingen af ilt og brint kaldes *knaldluft*. Antændes denne, hører man et knald; det er ilten og brinten, der forener sig og danner vand.

**Galvanisering.** Vi opløser noget kobbervitriol i vand; stikker vi en knivspids ned i væsken, kan vi se, at der er kobber i den. Sendes der en strøm igennem den på lignende måde, som vi før gjorde gennem vandet, udskilles der kobber på katoden.

Der udskilles stoffer af alle ledende væsker (undtagen kviksølv), når der sendes en strøm gennem dem. Indeholder væsken et metal, udskiller metallet sig altid på katoden. Dette benytter man f. eks. til at forsøve kaffekander o. lign.

I et kar hælder man en sølvopløsning; som anode anvender man en sølvplade og som katode den ting, der skal forsølves. Når strømmen går gennem opløsningen, udfældes der sølv på katoden, og sølvpladen opløses efterhånden i opløsningen, så denne stadig er lige sølvholdig.

## Måling af strømstyrke

Jo mere brint der udvikles i hvert minut i vandadskillelsesapparatet, jo stærkere siger man, at strømmen er.

Man siger, at *strømstyrken er 1 ampère*, når der i et minut udskilles  $7\frac{1}{2}$  cm<sup>3</sup> brint (kun nøjagtigt, når temperaturen er 20° C. og brintens tryk 76 cm); dannes der 15 cm<sup>3</sup> brint i 1 minut, er strømstyrken 2 amp. o. s. v. Vi kan altså beregne strømstyrken, når vi iagttager, hvor længe brintglasset er om at fyldes med brint, og måler dets rumfang med et måleglas.

Der dannes lige meget brint pr. minut, hvad enten vandadskillelsesapparatet indskydes ved batteriets positive eller negative pol, eller det anbringes midt i den ydre ledning; *strømstyrken er den samme overalt i ledningen*. Et vandadskillelsesapparat, der særlig er beregnet på måling af strømstyrke, kaldes et *voltameter*.

Det er ubekvemst at måle strømstyrker med voltametret, særlig fordi det tager lang tid. Man har derfor konstrueret forskellige apparater, som straks viser, hvor stærk strømmen er; de kaldes med et fælles navn *galvanometre*.

De bedste galvanometre er konstrueret efter Deprez d' Arsonvals princip. *N* og *S* (fig. 112) er polerne på en kraftig stål-magnet, *C* er en faststående jerncylinder, *ab* er en rulle tynd kobbertråd, der er viklet om en aluminiumramme; på figuren er der for oversigtens skyld kun tegnet halvanden vinding, og aluminiumrammen er udeladt. Rullens stive trånder hviler i taplejerne *a* og *b*, så at rullen kan dreje sig om *ab* som akse; viseren *V* er fastgjort på enden af *ab*.



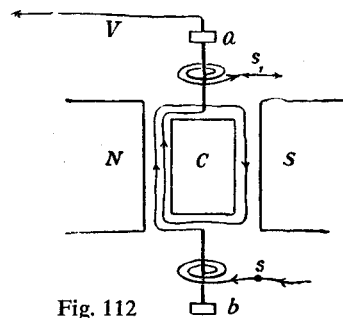


Fig. 112

$s$  og  $s_1$  er to spiralfjedere, der står vinkelret på papirets plan; enderne  $s$  og  $s_1$  er fastgjort på apparatets grundbræt, de andre på akse  $ab$ . Spiralfjedrene holder rullen i en sådan stilling, at viseren peger på skalaens nulpunkt, når der ingen strøm går gennem apparatet. Den strøm, der skal måles, går ind i rullen gennem fjederen  $s$  og bort gennem  $s_1$ , således som pilene viser; ifølge reglen side 112 går rullens venstre side ind i papiret, dens højre side ud fra papiret, og jo stærkere strømmen er, desto mere spændes fjederen, desto større bliver viserens udslag.

Fig. 113 viser apparatets konstruktion, når jerncylinderen ses fra enden. Trådrullens to sider bevæger sig i de to overalt lige smalle mellemrum mellem stålagnetens poler og jerncylinderen; apparatet er indrettet således, at trådrullens sider ikke kommer ud af dette mellemrum. Derved opnås, at strømstyrken er proportional med viserens udslag, så at skalaens inddelinger er lige store.

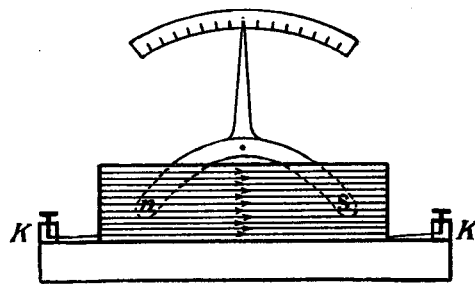


Fig. 114

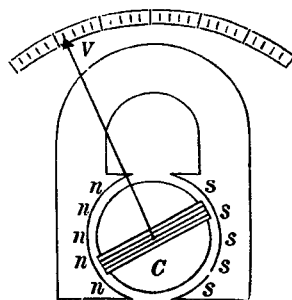


Fig. 113

Galvanoskoper bruges til at påvise svage strømme, men egner sig ikke til måling af strømstyrker. Galvanoskopet fig. 114 består af en bøjet stålagnet  $ns$ , som er anbragt i en trådrulle, hvis ender er lodret til klemmeskruerne  $K$ . Stålagneten kan dreje sig om en vandret akse, der går gennem dens midtpunkt; på magneten sidder der en viser, der peger på en inddelt skala. Går der en strøm gennem rullen i pilenes retning, går  $n$  ifølge højrehåndsgenreglen opad; viseren flytter sig altså. Magneten er bøjet, da dens tyngdepunkt skal ligge under akse.

Galvanoskoperne giver synligt udslag for strømme på omkring  $\frac{1}{5000}$  ampère; den store følsomhed skyldes de mange vendinger.

## Måling af modstand

Fra elementet  $E$  (fig. 115) går der en strøm gennem metaltråden  $M$  og galvanometret  $G$ . Erstatte vi efterhånden  $M$  med metaltråde, der har forskellig længde og tværsnit eller er af forskellige stoffer, viser galvanometret, at strømstyrken forandrer sig; man siger, at trådene har forskellig *modstand*. At to ledninger har samme modstand, vil sige, at galvanometret gør samme udslag, hvad enten den ene eller den anden ledning anbringes på  $M$ 's plads. Man siger, at en ledning, der frembringer mindre udslag end en anden, har større modstand end den anden. Forsøget gøres med fire metaltråde.

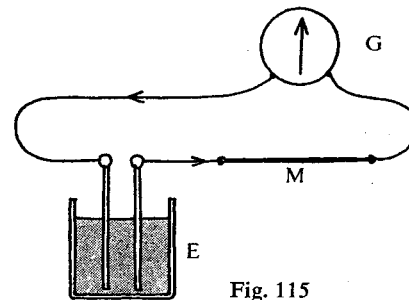


Fig. 115

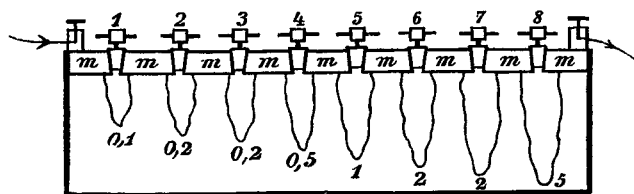


Fig. 116

1. en nikkelintråd 1 m lang, 0,5 mm tyk
2. en nikkelintråd 1 m — 0,25 mm —
3. en jerntråd 1 m — 0,25 mm —
4. en jerntråd  $\frac{1}{2}$  m — 0,25 mm —

1 og 2 viser tykkelsens indflydelse på strømmen, 2 og 3 stoffets, 3 og 4 længdens indflydelse.

Lange, tynde metaltråde har størst modstand, nikkelin har større modstand end jern. Modstanden i en leder afhænger altså af tre ting: længden, tværsnittet og stoffet.

Modstanden forandrer sig også med temperaturen. Vi kan vise det med en jerntråd (ca. 1 m lang, diam.  $\frac{1}{4}$  mm), som vikles op til en spiral og anbringes på *M*'s plads (fig. 115); galvanometrets udslag aflæses, jernspiralen opvarmes med en spritlampe, og udslaget aflæses igen; det bliver mindre, altså modstanden større.

Modstande måles i ohm. *En ohm er modstanden i en 0° varm kviksølvspøje, der er 106,3 cm lang, og hvis tværsnit er 1 mm<sup>2</sup>; modstanden i en kviksølvspøje med samme tværsnit og temperatur, men dobbelt så lang, er 2 ohm o. s. v. At modstanden i en metaltråd f. eks. er 1 ohm, vil sige, at galvanometret (fig. 113) gør samme udslag, hvad enten man på *M*'s plads anbringer metaltråden eller den først nævnte kviksølvspøje.*

Modstandskassen er en trækasse (fig. 116), på hvis låg der sidder en række messingstykker *m*, som kan forbindes med hinanden med messingpropper (1–8). Hvert messingstykke er forbundet med det følgende ved metaltråde, hvis modstande kan

være som anført på figuren (0,1 ohm, 0,2 ohm o. s. v.). Er alle propperne sat i, er modstanden mellem kassens to klemmeskruer så lille, at den kan sættes lig 0; tages alle propperne ud, er modstanden 11 ohm. Med den anførte modstandskasse kan alle modstande fra 0 til 11 ohm fremstilles med een decimal; skal modstanden f. eks. være 7,3 ohm, udtages propperne 1, 2, 7 og 8.

**Modstandsmåling.** Den metaltråd, hvis modstand vi vil måle, anbringes på *M*'s plads (fig. 115), og galvanometrets udslag aflæses. Metaltråden tages bort, en modstandskasse anbringes på *M*'s plads, og vi tager propper ud af modstandskassen, indtil galvanometret (så vidt muligt) gør samme udslag som før. Er det propperne 2, 3, 4 og 6, vi har taget ud, har vi indskudt 2,9 ohm; den søgte modstand må altså også være 2,9 ohm.

Måles modstandene i de fire metaltråde (forsøget fig. 115), ser man, at *modstanden er omvendt proportional med tværsnitarealet* (1 og 2) og *ligefrem proportional med længden* (3 og 4). (Denne lov er dog ikke let at påvise, fordi trådene ikke nøjagtigt har de af fabrikanten opgivne tykkelser).

Er trådens længde *l* m og tværsnitareal *t* mm<sup>2</sup>, har man

$$m = k \cdot \frac{l}{t},$$

*m* = *k* for *l* = 1 m og *t* = 1 mm<sup>2</sup>. *k* kaldes stoffets specifikke modstand.

## Måling af spændingsforskel og elektromotorisk kraft

Dersom der gennem ledningen *AB* går en elektrisk strøm fra *A* mod *B*, vil der som tidligere omtalt være en spændingsforskel i punkterne *A* og *B*.

Det viser sig, at spændingsforskellen er ligefrem proportional med modstanden i ledningen og med strømstyrken.

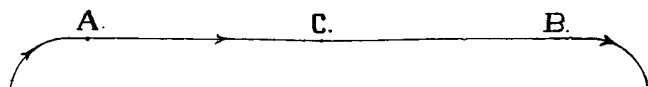


Fig. 117

Kaldes strømstyrken  $s$ , modstanden  $m$  og spændingsforskellen  $v$ , har man

$$v = sm$$

Spændingsforskellen mellem to punkter af en leder er lig produktet af strømstyrken og modstanden i lederstykket. Denne lov, der kaldes Ohms lov, er fremsat af den tyske fysiker G. Ohm.

Hvis der i en ledning er indskudt to eller flere parallelle ledninger, vil strømmen gennemløbe dem alle, og strømstyrken i

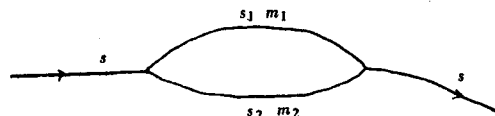


Fig. 118

de enkelte ledninger står i omvendt forhold til modstanden. Lad strømstyrken (fig. 118) i de to ledninger være  $s_1$  og  $s_2$  og modstanden  $m_1$  og  $m_2$  samt spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$  være  $v$ , man har da

$$s = s_1 + s_2$$

$$\text{og } v = s_1 \cdot m_1 = s_2 \cdot m_2$$

$$\text{eller } \frac{s_1}{s_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Er strømstyrken 1 amp. og modstanden mellem to punkter 1 ohm, siger man, at spændingsforskellen er 1 volt.

Hvis man kender modstanden mellem to punkter  $A$  og  $B$  i en ledning, er man i stand til ved hjælp af Ohms lov at måle spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$ . Man indskyder et eller andet sted i ledningen et ampèremeter med ringe indre modstand, derved vil den strøm, der går i ledningen, ikke ændres

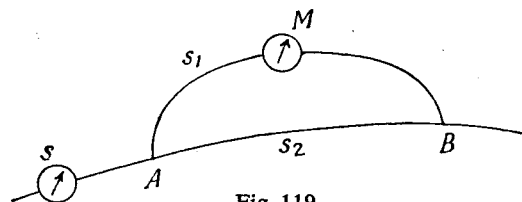


Fig. 119

mærkbart, og man har da  $v = s \cdot m$ ; da man kender  $s$  og  $m$ , kan  $v$  beregnes. Fig. 119.

Til måling af spændingsforskellen mellem to punkter  $A$  og  $B$  på en ledning benytter man imidlertid et *voltmeter*, dette er indrettet som et ampèremeter, dog med den forskel, at det har meget stor indre modstand. Hvis  $AB$  er en strømførende ledning, og man vil måle spændingsforskellen mellem  $A$  og  $B$ , indskydes voltmeteret i en stikledning (shunt) mellem  $A$  og  $B$ . Strømmen  $s$  vil da ved  $A$  dele sig i 2 dele, hvoraf den ene del  $s_1$  vil gå op igennem voltmeteret og den anden del  $s_2$  gå videre gennem  $AB$ . Er modstanden i voltmeteret  $M$ , har man  $v = s_1 \cdot M$ . Da voltmeters modstand er konstant, behøver man blot at multiplicere den konstante modstand med den strømstyrke, der går gennem voltmeteret. Multiplikationen er udført på instrumentet, så tallene angiver ohm. Da strømmen gennem  $AB$  så nær som muligt skal være den samme, hvad enten voltmeteret er indskudt eller ej, må strømmen gennem voltmeteret være så lille som muligt, hvilket opnås ved, at der er stor modstand i voltmeteret.

*Elektromotorisk kraft.* Strømmen fra et element  $E$  sendes gennem en modstandskasse  $M$ , som sammen med tilledningstrådene  $a$  og  $b$  danner den såkaldte ydre ledning; elementets poler sættes desuden i forbindelse med voltmeteret  $V$ . Vi kan nu ved at tage en prop ud af modstandskassen indskyde f. eks. 0,2 ohm i den ydre ledning og aflæse polernes spændingsforskel på voltmeteret. Vi indskyder derpå større modstand og aflæser igen polernes spændingsforskel o. s. v. Det viser sig, at

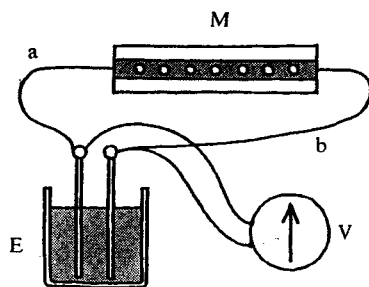


Fig. 120

jo større modstand der er i den ydre ledning, jo større er polernes spændingsforskel. Tager vi til sidst modstandskassen og forbindelsestrådene *a* og *b* bort, gør voltmetret størst udslag.

Ved et elements elektromotoriske kraft forstår vi spændingsforskellen mellem polerne, når disse ikke er forbundet med hinanden med en ydre ledning. Man kan derfor få en praktisk talt rigtig værdi for et elements elektromotoriske kraft ved at måle spændingsforskellen mellem polerne med et voltmeter, der har så stor modstand, at strømmen gennem det er meget ringe.

Måler vi flere elements elektromotoriske kræfter, og sammensætter vi derefter elementerne til et batteri ved at forbinde kulstangen i den ene med zinkstangen i det næste o. s. v., kan vi ved at måle batteriets elektromotoriske kraft vise, at batteriets elektromotoriske kraft er lig summen af elementernes elektromotoriske kræfter.

**Eksempel 1.** Et stykke af en ledning har modstanden 0,1 ohm; strømstyrken er 5 amp. Hvor stor er spændingsforskellen mellem stykkets endepunkter?

$$5 = \frac{e}{0,1}, \text{ hvoraf } e = 0,5 \text{ volt.}$$

**Eksempel 2.** Glødetråden i en glødelampe kræver en strøm på  $\frac{1}{4}$  amp. for at blive glødende; spændingsforskellen mellem glødetrådens endepunkter er 220 volt. Hvor stor er modstanden i glødetråden?

$$\frac{1}{4} = \frac{220}{m}, \text{ hvoraf } m = 880 \text{ ohm.}$$

## Galvaniske elementer II

**Polarisation.** I vandadskillelsesapparatet (fig. 111) borttages glassene *B* og *I*, der hældes fortyndet svovlsyre i karret *A*, og apparatets klemmeskruer sættes i forbindelse med et galvanometer (voltmeter eller galvanoskop); dettes viser rører sig ikke, da to ens plader i en ledende vædske ikke kan virke som galvanisk element.

Galvanometret fjernes, og strømmen fra et batteri sendes gennem vædsken; som sædvanlig udvikles der ilt og brint. Derpå fjernes batteriet, og vandadskillelsesapparatets klemmeskruer forbindes atter med galvanometret, hvis viser nu gør et udslag, som snart hører op; apparatet har altså i kort tid virket som et galvanisk element. Grunden er følgende: da strømmen gennem apparatet blev afbrudt, blev der lidt brint siddende på den ene platinplade, lidt ilt på den anden; pladerne er ikke længere ens. Forbindes apparatets klemmeskruer med en ydre ledning, opstår der derfor en såkaldt polarisationsstrøm, som inde i apparatet går i modsat retning af batteristrømmen. Ligesom denne adskiller polarisationsstrømmen vædsken i ilt og brint, men denne gang dannes der ilt, hvor der før blev dannet brint, og omvendt. Ved de to platinplader forener ilten og brinten sig til vand, og når den ilt og brint, der sidder på platinpladerne, er opbrugt, hører polarisationsstrømmen op.

I stedet for platin kan man benytte to kulstænger i fortyndet svovlsyre.

**Kemiske processer i elementer.** Det første element blev opfundet af italieneren Volta i slutningen af det attende århundrede; det bestod af en kobberstang og en zinkstang i fortyndet svovlsyre. Forbindes polerne, går strømmen i elementet fra zink gennem vædske til kobber og adskiller den fortyndede svovlsyre i ilt og brint; mellem ilten, zinken og svovlsyren foregår der kemiske processer, som bevirker, at zinken lidt efter lidt opløses i vædsken, mens brinten sætter sig på kobberet. Brinten er skyld i, at elementets elektromotoriske kraft hurtigt

svækkes, hvad vi kan overbevise os om ved f. eks. at måle den elektromotoriske kraft med et voltmeter.

For at få gode elementer må man sørge for, at brinten ikke sætter sig på den positive polplade. I kromsyre-elementet forhindrer man det ved som vædske at benytte fortyndet svovlsyre, hvori der er opløst tvekromsurt kali; dette stof indeholder nemlig meget ilt, som forbinder sig med den af strømmen udskilte brint til vand, og herved er brinten gjort uskadelig. I tørrelementet er det brunstenen, der er det iltholdige stof, som forhindrer salmiakkens brint i at sætte sig på kulpladen.

Jo større pladerne er i et element, jo nærmere de står ved hinanden, og jo højere vædsken står i glasset, desto mindre er elementets modstand; i et kromsyre- eller tørrelement af mellemstørrelse er modstanden ca.  $\frac{1}{10}$  ohm, i akkumulatoren er den i reglen meget mindre, fordi pladerne er meget store.

Et elements elektromotoriske kraft beror *kun* på, hvad pladerne er af, og hvilket vædske elementet indeholder; for et nyt tørrelement er den 1,5 volt, for et kromsyre-element 2 volt.

Den stærkeste strøm, et element kan give, beregnes således: Lad elementet være et tørrelement på 1,5 volt og 0,1 ohms modstand; tænkes polerne forbundne med en kort, tyk kobbertråd, hvis modstand kan sættes lig 0, får man ifølge Ohms lov

$$S = \frac{1,5}{0,1} = 15 \text{ ampère.}$$

Lod man elementet give en så stærk strøm, blev det ødelagt i løbet af ganske kort tid.

**Akkumulatoren.** I et glas med fortyndet svovlsyre anbringes to blyplader; strømmen fra et batteri sendes nogen tid gennem væsken fra den ene blyplade til den anden. Væsken adskilles som sædvanlig i ilt og brint; brinten bobler op ved den blyplade, hvor strømmen går bort fra akkumulatoren, mens ilten går i forbindelse med den anden blyplade, som overtrækkes med et lag af blyoverilte. Pladerne er nu ikke længere ens, og

man siger, at akkumulatoren er ladet. Fjerner vi batteriet og sætter blypladernes klemmeskruer i forbindelse med voltmeteret, kan vi måle akkumulatorens elektromotoriske kraft; den er ca. 2 volt, når akkumulatoren er fuldt ladet.

Forbindes akkumulatorens poler med en ydre ledning, går strømmen inde i akkumulatoren i *modsat retning af ladningsstrømmen*. Vædsken adskilles atter i ilt og brint, men nu dannes brinten ved blyoveriltepladen og forbinder sig med pladens ilt til vand, mens den anden plade iltes, så at akkumulatoren efter nogen tids forløb må lades igen, for at der kan dannes nyt blyoverilte.

## Elektromagneters anvendelse

**Telegraf.** På modtagerstationen ser vi skriveapparatet. Det består af en elektromagnet *E*; oven over den er der et anker *A*. Det sidder på enden af en stang, der kan dreje sig om en tap. På stangens anden ende sidder der en spids *s*. Lige over spidsen er der en lang papirstrimmel, som af et urværk føres forbi spidsen. Fjederen *S* holder stangen vandret.

På afsenderstationen er der et batteri og en nøgle. Batteriets ene pol er i forbindelse med en metalplade, der er gravet ned i fugtig jord. Fra nøglen går der en ledning af jerntråd hen til

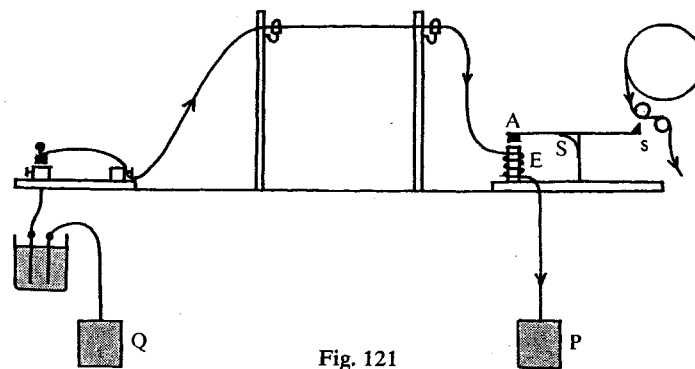


Fig. 121

modtagerstationen, hvor den er sat i forbindelse med den ene ende af elektromagnetens kobbertråd. Kobbertrådens anden ende er sat i forbindelse med en metalplade, der også er gravet ned i fugtig jord.

Når telegrafisten på afsenderstationen skal telegrafere, trykker han på nøglens knap. Fra batteriets ene pol strømmer der elektricitet (f. eks. positiv) gennem nøglen ud i den ledning, der bæres af telegrafpælene. Når den kommer til modtagerstationen, går den gennem elektromagnetens kobbertråd ned til jordpladen *P* og fra denne ned i jorden. Fra batteriets anden pol strømmer elektriciteten (den negative) ned til jordpladen *Q* og fra denne ned i jorden. Vi ser, at et batteri ikke alene kan give strøm, når polerne forbindes, men også når de begge afledes til jorden.

Elektromagneten bliver nu magnetisk og trækker ankeret *A* ned. Spidsen *s* går op og ridser i papiret. Slipper telegrafisten straks nøglen, afbrydes strømmen også straks. Elektromagneten bliver umagnetisk, og fjederen trækker spidsen bort fra papiret; den har kun sat en prik. Holder han nøglen nede lidt længere, ridser spidsen en streg på papiret. Det telegrafiske alfabet består af prikker og streger.

Ledningen, der forbinder de to stationer, er gjort fast på porcelænsklokker, der sidder på telegrafpælene, ellers ville en del af strømmen gå gennem pælene ned i jorden.

*Telefonen.* Skal man telefonere fra et sted til et andet, må der på afsenderstationen være en mikrofon, på modtagerstationen en telefon.

*Mikrofonens* hylster er af træ. *MM* er en tynd metalplade,

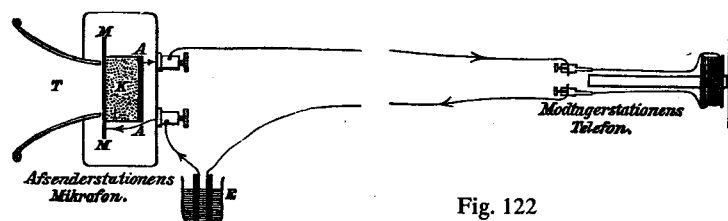


Fig. 122

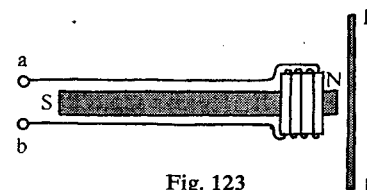


Fig. 123

hvis rand er klempt fast i hylsteret. *AA* er en kulplade. Mellemrummet mellem pladerne er fyldt med kulpulver.

*Telefonen* består af et rør af træ eller ebonit. Indeni ligger en stålmagnet (*NS*) (fig. 123), som ender i en elektromagnet; ledningens ender går hen til et par klemmeskruer (*a* og *b*). Lige foran magneten sidder der en tynd jernplade (*PP*), hvis rand er klempt fast i hylsteret. På grund af magnetens tiltrækning er midten af jernpladen bøjet lidt ind mod magneten.

Strømmen går fra elementet *E* (fig. 122) hen til pladen *MM*, gennem kulpulveret og pladen *AA* hen til mikrofonens øverste klemmeskrue. Herfra går den gennem en kobbertråd hen til modtagerens telefon, omkring dennes vindinger og gennem en anden kobbertråd tilbage til elementet.

Når afsenderen taler ind i tragten *T*, sætter han luften i bevægelse, og pladen *MM* kommer til at svinge frem og tilbage. Når pladen svinger ind, presses kulpulveret lidt sammen og gør mindre modstand mod strømmen end før. Når den svinger ud, rører kulkornene ikke hinanden så godt som før, og modstanden vokser. Efter som strømmen møder større eller mindre modstand, forandres dens styrke, polen *N* bliver svagere eller stærkere, og telefonens tynde jernplade kommer til at svinge frem og tilbage.

Hver gang *MM* gør en svingning, må telefonens plade også gøre en svingning, og luften ved den må bevæge sig nøjagtigt på samme måde som luften foran mikrofonens plade. Den, der holder øret til telefonen, hører derfor, hvad der er blevet sagt i mikrofonen.

For at der kan telefoneres modsat vej, må stationen til højre have en mikrofon, stationen til venstre en telefon.

## Grundforsøg over induktionsstrømme

Anbringes en jernstang  $AB$  mellem to magnetpoler  $N$  og  $S$  (fig. 124), opstår der i jernstangen polerne  $nn$  og  $ss$ , og de korte linier mellem  $nn$  og  $ss$  angiver småmagneternes retninger; jernstangen er her magnetiseret på tværs. Anbragte man nu polerne  $N$  og  $S$  ud for jernstangens ender  $A$  og  $B$ , ville småmagnetene dreje sig i retningen  $AB$ ; man siger at *magnetiseringsretningen* er blevet forandret. Når magnetiseringsretningen forandrer sig, forandrer også polerne plads i jernstykket.

*I.*  $AB$  (fig. 125) er en lille jernstang, om hvis midte der er viklet en lille rulle kobbertråd; kobbertrådens ender fastgøres i klemmeskruerne på et galvanoskop  $G$ . Jernstangen lægges hurtigt på polerne af en hesteskomagnet eller bedre en elektromagnet  $E$ ; galvanoskopet gør nu et udslag som tegn på, at der er opstået en strøm i rullen. Strømmen kaldes en *induktionsstrøm*; den ophører, så snart jernstangen er anbragt på polerne. – Føres jernstangen bort fra magneten, opstår der i kobbertråden en induktionsstrøm, der går i modsat retning af den første.

Når jernstangen lægges på polerne, opstår *polerne*  $n$  og  $s$  i den, og galvanoskopet viser, at induktionsstrømmen går i en sådan retning, at den stræber at *tilintetgøre disse poler*; induktionsstrømmen går altså i den retning, som pilene på fig. 125 viser.

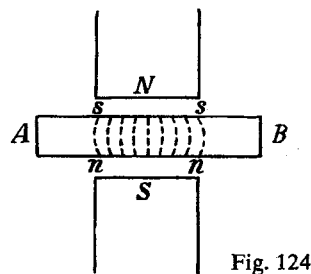


Fig. 124

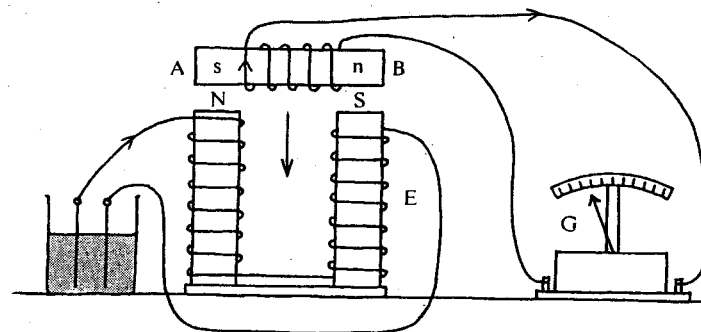


Fig. 125

Når jernstangen fjernes fra magneten, *forsvinder polerne*  $n$  og  $s$  og induktionsstrømmen, der nu går i modsat retning, stræber at *forhindre disse poler i at forsvinde*.

*II.* Forsøg *I* gentages med den forandring, at jernstangen  $AB$  føres op og ned således, at den er vinkelret på forbindelseslinjen mellem magneternes poler  $N$  og  $S$ . På fig. 126 forestiller  $N$  og  $S$  magnetens poler set fra oven.  $AB$  magnetiseres her på tværs, og galvanoskopet viser, at der *ikke* fremkommer nogen induktionsstrøm.

*III.* Forsøget gentages på den måde, at jernstangen lægges ned på magnetens poler  $N$  og  $S$ , hvorved den selv får polerne  $n$  og  $s$  (fig. 127). Når galvanoskopet er kommet i ro, *drejes* jernstangen om i stillingen  $A_1B_1$ . Før drejningen var jernstangen magnetiseret på langs; efter drejningen er den magnetiseret på tværs, og polerne  $n$  og  $s$  er forsvundet. Galvanoskopet vi-

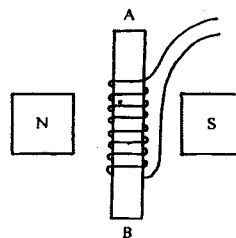


Fig. 126

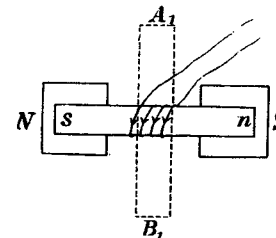


Fig. 127

ser, at der i rullen opstår en induktionsstrøm, der stræber at forhindre, at  $n$  og  $s$  forsvinder.

Drejes jernstangen tilbage til sin oprindelige stilling, opstår polerne  $n$  og  $s$  igen, og der fremkommer en induktionsstrøm, der stræber at tilintetgøre  $n$  og  $s$ .

Resultaterne af de tre forsøg kan udtrykkes således: Når en rulle metaltråd omslutter en jernkerne, opstår der i rullen en induktionsstrøm,

1. hvis jernet magnetiseres, eller
2. hvis jernet taber sin magnetisme, eller
3. hvis magnetiseringsretningen forandrer sig.

Der opstår dog ingen induktionsstrøm i tilfældene 1. og 2., hvis magnetiseringsretningen går parallelt med vindingerne (forsøg II).

Induktionsstrømmen går i en sådan retning, at den stræber at tilintetgøre opstående magnetisme og holde på forsvindende magnetisme. — Den inducerede elektromotoriske kraft bliver desto større, jo stærkere magnetiseringen er, jo hurtigere forandringen i magnetismen foregår, og jo flere vindinger der er.

Induktionsstrømme er påvist af Michael Faraday 1831.

Induktionsapparatet består af en elektromagnet  $E$  (fig. 128) med få, tykke vindinger;  $A$  er et jernanker, der sidder på fjederen  $F$ .  $M$  er et messingstykke med en skrue, hvis spids berører fjederen. Strømmen fra et batteri, hovedstrømmen, går gennem  $M$  over på fjederen  $F$  og gennem elektromagnetens kobbertråd tilbage til batteriet. Elektromagneten bliver mag-

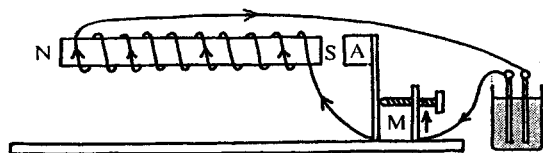


Fig. 128

netisk og tiltrækker ankeret, som trækkes bort fra skruen, hvorved strømmen afbrydes. Elektromagneten bliver nu umagnetisk, fjederen springer tilbage og berører skruen, hvorved strømmen igen slutes o. s. v. Jernstangens poler  $N$  og  $S$  vil altså skiftevis opstå og forsvinde.

Uden om elektromagneten er der anbragt en rulle af meget lang, tynd kobbertråd, induktionslederen, hvis ender er fastgjort til de to klemmeskruer oven på rullen (fig. 129). Vi vil antage, at der i klemmeskruerne er fastklemt to messinghåndtag, som en mand holder i hænderne; manden er altså den ydre ledning.

Hver gang hovedstrømmen slutes, opstår polerne  $N$  og  $S$ , og i induktionslederens vindinger induceres der en strøm, hvis retning bestemmes derved, at den stræber at tilintetgøre disse poler; når hovedstrømmen afbrydes, forsvinder  $N$  og  $S$ , og der induceres en induktionsstrøm, som stræber at forhindre polerne i at forsvinde.

Hver gang hovedstrømmen slutes eller afbrydes, opstår der altså elektricitet i hver af induktionslederens vindinger, idet positiv elektricitet drives til den ene side, negativ modsat vej. Hver vinding svarer til ét element, og da induktionslederen indeholder mange tusinde vindinger, svarer den til et batteri på flere tusinde elementer. Induktionsstrømmene har derfor en meget stor elektromotorisk kraft; den kan være mange tusinde volt. Da induktionslederen og manden, der holder i håndtagene, har meget stor modstand, bliver strømmen alligevel temmelig svag.

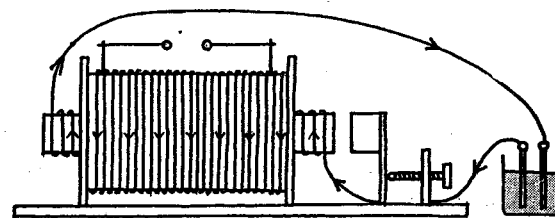


Fig. 129



Batteriet i hovedledningen består af få elementer. Hovedledningens elektromotoriske kraft er derfor kun nogle få volt; men da dens modstand er lille, er hovedstrømmen temmelig stærk. *Induktionsapparatet er altså en transformator, der omdanner stærk strøm med en lille elektromotorisk kraft til en svag strøm med stor elektromotorisk kraft.*

I det praktiske liv anvendes små induktionsapparater til elektrisering, f. eks. mod gigt; de større induktionsapparater, hvor spændingsforskellen mellem induktionslederens klemmeskrue er så stor, at der kan springe lange gnister over mellem metaltråde, der er fastgjort til klemmeskrueene, anvendes til frembringelse af røntgenstråler.

At induktionsstrømmen er en højspændt vekselstrøm, kan påvises ved hjælp af en glimlampe. Sættes glimlampen direkte ind på ensrettet bystrøm, vil den ene af lampens elektroder lyse; skiftes strømretning, lyser den anden elektrode. Måles lampens strømforbrug, viser dette sig at være ca. 0,015 amp. Prøver man derefter at koble lampen ind i drivstrømmen til induktionsapparatet (den primære ledning), lyser lampen ikke; spændingen er for lille. Indskydes lampen derefter i induktionslederen (den sekundære ledning), lyser begge elektroder, følgende er strømmen en vekselstrøm.

*En vekselstrøm kan gå gennem en kondensator.* Indskydes i den sekundære ledning en kondensator i række med glimlampen, vil lampen lyse. I det øjeblik den ene pol på induktionsapparatet bliver positiv, vil den tilsvarende kondensatorplade lades med positiv elektricitet; derved fremkaldes fordeling i den anden kondensatorplade, således at der bindes negativ elektricitet ind mod det isolerende lag, medens den positive bevæger sig hen mod induktionsapparatets negative pol, og på denne måde løber der altså positiv elektricitet gennem hele ledningen. Når polerne skifter fortegn, skifter strømmen retning.

Sættes en lille hammer på ankeret *A* (fig. 128), således at den kan slå på en klokke, har vi et ringeapparat.

## Dynamomaskinen

(Grammes maskine)

*Grammes ring.* Fig. 130 forestiller en jernring, der er magnetiseret af de to poler *N* og *S* og kan dreje sig om akse *A*; ringen har sydpol foroven ( $s_1 s_1$ ) og nordpol forneden ( $n_1 n_1$ ). De små streger i ringen angiver småmagneternes retning; de vender nordpolerne nedefter, sydpolerne opefter. Tænker vi os ringen drejet rundt i pilens retning, og betragter vi et kort stykke *abcd* af den, ser vi, at *abcd* i stillingerne 1 og 3 har sydpol foroven, nordpol forneden, og at magnetiseringsretningen forandrer sig, efterhånden som *abcd* passerer stillingerne 2, 3 og 4 og når tilbage til stilling 1. Læg nøje mærke til magnetiseringsretningerne i stillingerne 1, 2, 3 og 4.

Dynamomaskinen (fig. 131) bruges til at frembringe stærke induktionsstrømme. *N* og *S* er polerne på en hesteskoformet elektromagnet (*N* er nordpol, *S* sydpol). Mellem dem er der en jernring, der kan drejes om en akse. (Grammes ring). Om-

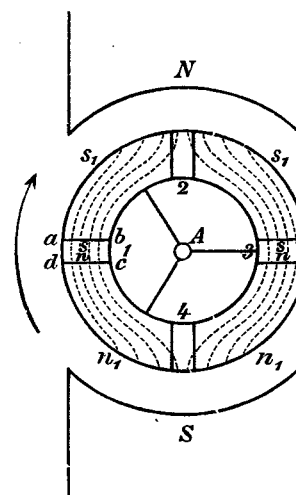


Fig. 130

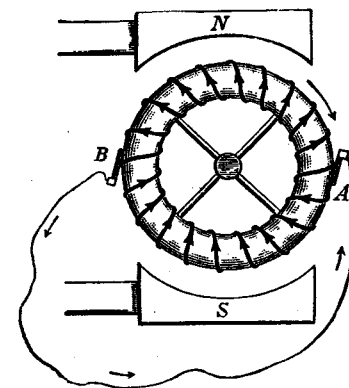


Fig. 131

kring jernringen er der viklet en i sig selv tilbageløbende kobbertråd; den danner altså en spiral, hvis ender er loddet sammen. Kobbertrådens vindinger er blanke på ydersiden, men de er isoleret fra hinanden indbyrdes og fra jernringen; der er i virkeligheden flere vindinger end på tegningen, og de ligger tæt op til hinanden.

*A* og *B* er to kobberfjedre, som trykker mod kobbertrådens blanke yderside; de er fastgjorte på opstandere og bliver altså på deres plads, når ringen drejes rundt. Den ledning, som strømmen skal gennemløbe, går fra den ene kobberfjeder til den anden.

Vi skal nu se, hvordan vi kan finde strømmens retning i jernringens kobbertråd, når ringen drejes rundt i den retning, som den store pil viser. Først ser vi på ringens øveste halvdel (fig. 132). *I*, *II*, *III* forestiller 3 forskellige stillinger af et stykke af jernringen. Polerne *N* og *S* magnetiserer jernringen således, at det stykke, som vi betragter får sydpol *s* nærmest *N* og nordpol *n* nærmest *S* i stillingerne *I* og *III*, mens magnetiseringsretningen i stilling *II* er helt anderledes (se fig. 130).

Mens jernstykket bevæger sig fra *I* til *II*, forandres magnetiseringsretningen, og polerne *n* og *s* i jernstykkets endeflader taber sig.

Derved opstår der i kobbertråden en induktionsstrøm, som stræber at bevare polerne *n* og *s* og altså må gå i den retning, som pilene i stilling *I* viser.

Mens jernstykket bevæger sig fra *II* til *III*, forandres atter magnetiseringsretningen i jernstykket, i hvis endeflader polerne *n* og *s* opstår. Induktionsstrømmen søger at tilintetgøre disse poler og må altså gå i den retning, som pilene i stilling *III* viser.

Vi ser nu på ringens nederste halvdel.

På samme måde som før ser vi, at polerne *n* og *s* taber sig under bevægelsen fra *I* til 2. Induktionsstrømmen, som stræber at bevare disse poler, må gå i den retning, som pilene i stilling *I* viser.

Under bevægelsen fra 2 til 3 opstår polerne *n* og *s*; induk-

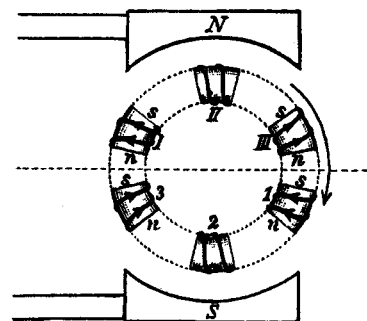


Fig. 132

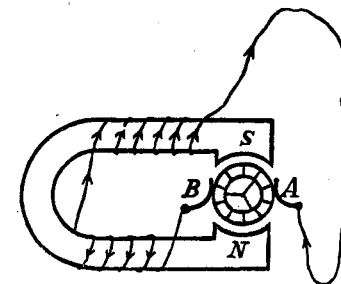


Fig. 133

tionsstrømmen, som søger at tilintetgøre disse poler, må gå i den retning, som pilene i stilling 3 viser.

Sammenligner vi nu fig. 132 med fig. 131, ser vi, at strømretningen i ringens kobbertråd må være således som fig. 131 viser. Når dynamoens jernring drejes rundt, opstår der induktionsstrømme i de to dele af kobbertråden, som er viklet om ringens øverste og nederste halvdel. Begge steder løber strømmen hen mod fjederen *B* og bort fra fjederen *A*.

Dette kan vi også udtrykke således: Fra de to dele af kobbertråden, som er viklet om ringens øverste og nederste halvdel, strømmer der positiv elektricitet hen til fjederen *B*, negativ til fjederen *A*.

*B* er dynamoens positive pol, *A* dens negative pol. Fra polerne strømmer elektriciteten ud i den ydre ledning; pilene langs ledningen (fig. 131) viser den positive strøms retning.

Dynamoens jernring drejes i reglen rundt af en dampmaskine. Elektromagneten magnetiseres af den strøm, som dynamoen selv frembringer; fig. 133 viser én af de måder, på hvilke dette kan ske. Strømmen går fra fjederen *B* gennem elektromagnetens vindinger og gennem den ydre ledning til fjederen *A*.

Når dynamoen standses, forsvinder ikke al magnetisme i polerne *N* og *S*. Når den igen sættes i gang, begynder den derfor med at give svag strøm, som forstærker polerne *N* og *S*,

og jernringen magnetiseres stærkere; herved vokser også strømmen, så atter magnetismen o. s. v., indtil jernet er mættet med magnetisme.

## Vekselstrømmaskiner

Mens Grammes maskine giver ensartet strøm, d. v. s. strøm, som i den ydre ledning stadig går i samme retning, benyttes ofte maskiner, hvor strømmen stadig skifter retning; de kaldes *vekselstrømmaskiner*. Som vi senere ved omtalen af elektrisk kraftoverføring får at se, er det undertiden nødvendigt at benytte dynamoer, der giver meget høj spænding (f. eks. 10000 volt), og dertil egner Grammes maskine sig ikke af følgende grund: idet jernringen drejes rundt, glider dens kobbevindinger stadig forbi kobberfjedrene, og hver gang en vinding ophører at berøre en fjeder, ser man en gnist springe over mellem vindingen og fjederen; var dynamoen nu konstrueret til høje spændinger (d. v. s. stor dynamo med mange vindinger), ville gnisterne blive så store, at de hurtigt ville ødelægge fjedre, vindinger og isolation; vi får at se, at dette undgås ved vekselstrømmaskinen. I denne skifter strømmen hyppigt retning, f. eks. 100 gange pr. sekund, så at vekselstrømmene godt kan anvendes til belysning, da lamperne ikke kommer til at flimre, når strømretningen skifter så tit; vekselstrømmen kan også anvendes til motorer, når disse er særligt konstruerede til dette brug.

A, fig. 134, er en jernstang (en jernkerne), som er omviklet med isoleret kobbertråd, hvis ender forbindes med et galvanoskop; I, II og III er tre forskellige stillinger af en stål magnet  $n s$ , der føres forbi jernkernen. Mens  $n s$  føres fra stilling I til stilling II, opstår der i jernkernen en sydpol forneden, hvorved der i dens vindinger induceres en strøm, der stræber at tilintetgøre sydpolen og altså går i den retning, som pilene på kobbertråden viser. Mens  $n s$  føres fra stilling II til stilling III, forsvinder jernkernens sydpol, og der induceres i dens vindinger

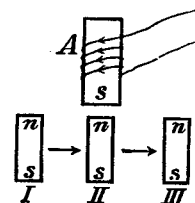


Fig. 134

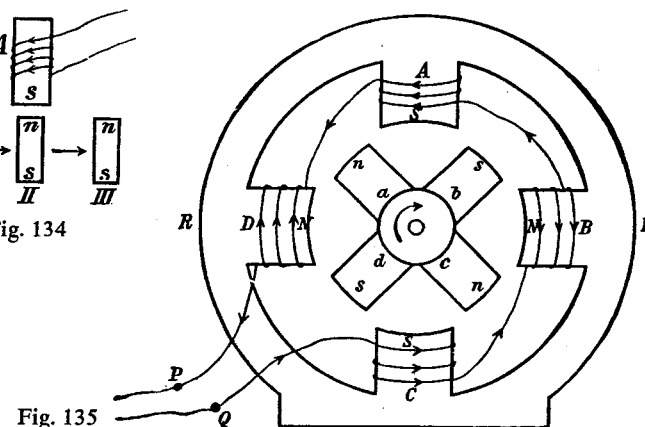


Fig. 135

en strøm, der søger at holde på sydpolen og altså går i modsat retning af pilene. Når en magnetpol føres forbi en jernkerne, der er beviklet med isoleret kobbertråd, opstår der i kobbertråden to induktionsstrømme, der går i modsatte retninger; der opstår altså vekselstrømme.

Fig. 135 viser, hvordan vekselstrømmaskinen kan indrettes. R R er en faststående jernring, som bærer 4 jernkerner A, B, C og D, der er beviklede med isoleret kobbertråd. Om A og B er tråden viklet i modsat retning; når altså den tråd, der går fra A til B forlader A på forsiden, begynder den med at gå bag om B, således som figuren viser; det samme gælder for B og C o. s. v.; a, b, c og d er fire stål magneter, der sidder på en akse; a har nordpol yderst, b sydpol, c nordpol og d sydpol. Drejes aksens 90° i den store pils retning, kommer a hen på b's plads, dens nordpol føres altså forbi jernkernen A; b kommer hen på c's plads, dens sydpol føres altså forbi jernkernen B o. s. v. Når stål magneterne drejes rundt, opstår der altså vekselstrømme i de fire jernkerners beviklinger; fra maskinens poler P og Q føres vekselstrømmene ud i den ydre ledning.

Vi mangler endnu at vise, at induktionsstrømmene i de fire jernkerners beviklinger i et bestemt øjeblik alle går i samme retning; gik de i modsatte retninger, ville de ophæve hinanden.

Vi tænker os, at stålmagneterne står i samme stilling som på fig. 135, og at de drejes  $45^\circ$  i den store pils retning; *a* kommer altså lige ud for *A*, *b* lige ud for *B* o. s. v. I *A* opstår sydpolen *S*, og strømmen i *A*'s bevikling må altså gå i den retning, som pilene viser. Samtidig opstår i *B*, *C* og *D* polerne *N*, *S* og *N*, og strømmene i beviklingerne må altså gå i de retninger, som pilene viser. I det betragtede øjeblik sender alle beviklingerne positiv elektricitet til polen *P*, negativ elektricitet til polen *Q*. Drejes magneterne atter  $45^\circ$ , går induktionsstrømmene modsat vej; nu er *P* den negative pol, *Q* den positive. Under en drejning på  $90^\circ$  skifter strømmen retning én gang; under en hel omdrejning skifter den 4 gange retning.

Som man ser, skal vekselstrømme ikke – således som strømmen ved Grammes maskine – føres ud i den ydre ledning gennem kobberfjedre; den før omtalte skadelige gnistdannelse er altså undgået ved vekselstrømmaskiner. Disse kan ikke alene konstrueres til stærke strømme med lille spænding (få, tykke vindinger om jernkernerne), men også til svage strømme med høj spænding (mange, tynde vindinger om jernkernerne). På fig. 135 er der kun tegnet 4 jernkerner; på de store maskiner er der mange, og magneterne er ikke, således som vi foreløbig har tænkt os, stålmagneter, men elektromagneter, der gennemløbes af ensrettet strøm, der kan komme fra en lille Grammes maskine, som har fælles akse med vekselstrømmaskinen.

*Vekselstrømmens transformation.* I induktionsapparatet er det batteristrømmen, der transformeres til højspændt vekselstrøm; det er altså en *ensrettet strøm*, der transformeres. Er det strømmen fra en vekselstrømmaskine, der skal transformeres, bliver transformatoren noget simplere. Fig. 136 forestiller en transformator til vekselstrømme. Den består af to jernkerner *A* og *B* forbundet med to tværstykker af jern. Omkring *B* er viklet en tyk ledning med få vindinger (hovedlederen), omkring *A* er viklet en tynd ledning med mange vindinger (induktionslederen).

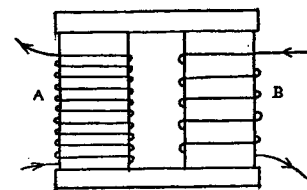


Fig. 136

Sendes en vekselstrøm gennem hovedlederen, vil der i jernkernen *B* opstå magnetisme, der stadig skifter retning; men derved induceres magnetisme i jernkernen *A*, der ligeledes skifter retning, hvorefter følger, at der i induktionslederen induceres en vekselstrøm.

(Tegningen viser strøm- og magnetiseringsretningen i et givet øjeblik).

*Hvis nu induktionslederen har flere vindinger end hovedlederen, transformeres hovedstrømmen til en vekselstrøm med højere spænding og mindre strømstyrke (ligesom i induktionsapparatet); har induktionslederen færre vindinger end hovedlederen, transformeres hovedstrømmen til en vekselstrøm med mindre elektromotorisk kraft og større strømstyrke.* Havde hoved- og induktionsleder lige mange vindinger, ville hovedstrømmen og den transformerede strøm i en godt konstrueret vekselstrøm-transformator have meget nær samme elektromotoriske kraft og strømstyrke.

Som vi senere får at se, benyttes vekselstrømmaskiner i forbindelse med vekselstrømstransformatorer ved elektriske anlæg, hvor forbrugerne bor langt fra elektricitetsværket.

## Den trefasede vekselstrøm

Ved vekselstrømanlæg benyttes oftest *trefaset* vekselstrøm (maskinen fig. 135 kaldes enfaset); anlæg af den art findes nu mange steder her i landet. På fig. 137 forestiller *A*, *B* og *C* tre fuldstændig ens enfasede maskiner, som i virkeligheden kombineres til een maskine derved, at de roterende magneter (*ro-*

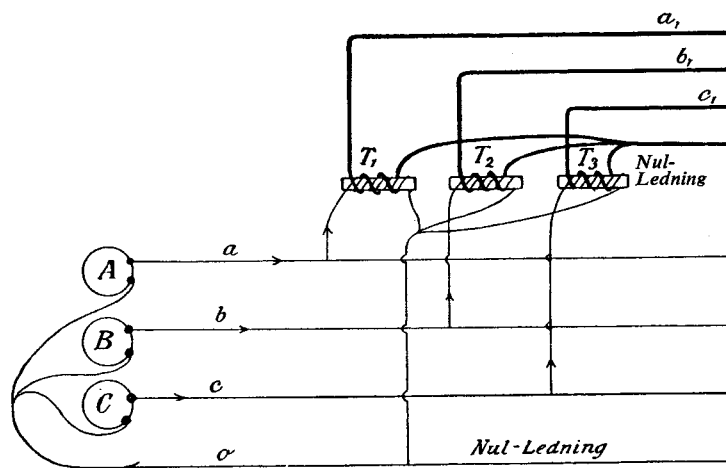


Fig. 137

tor) er fælles, og at de beviklede jernkerner sidder på samme jernring. De fra *A*, *B* og *C* udgående 6 ledninger ses på fig. 137, tre af dem forenes til een ledning (*o*). Lad os tænke os, at *A*'s, *B*'s og *C*'s rotorer har samme stilling, inden de sættes i bevægelse, og at *B*'s rotor først sættes i gang, når *A*'s rotor har drejet sig  $120^\circ$ , og at *C*'s rotor sættes i gang, når *B*'s rotor har drejet sig  $120^\circ$ . I *a*, *b* og *c*, faseledningerne, er strømforholdene altså ikke ens samtidig; man siger, at *a* og *b* har en faseforskel på  $120^\circ$ , ligeledes *b* og *c*; *o* gennemløbes åbenbart af tre vekselstrømme med faseforskellen  $120^\circ$ , og om disse kan det bevises, at de ophæver hinanden; *o* kaldes derfor nul-ledningen. Spændingsforskellen mellem *a* og *b*, mellem *b* og *c* samt mellem *a* og *c* kan f. eks. være 6000 eller 10000 volt.

Billedet (fig. 138) viser en trefaset vekselstrømmaskine bestående af 3 fuldstændig ensbyggede enfasede maskiner, der er indrettet således, som det fremgår af fig. 135. Maskinerne har fælles rotor, og da denne er en elektromagnet, må den have strøm fra et batteri på f. eks. 3 volt.

Foran på billedet ses 6 klemmeskrue, der to og to står i forbindelse med hver sin maskine (*P* og *Q* i fig. 135). En

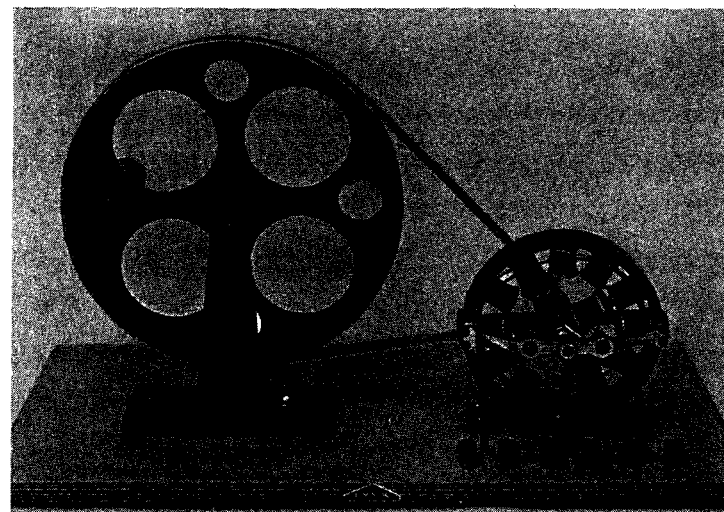


Fig. 138

klemmeskrue i rækkefølge fra hver maskine forbindes med en faseledning, og de tre andre klemmeskrue forbindes til et nulpunkt (se diagrammet fig. 137). I hver faseledning indskydes en glødelampe (4 volt, 0,5 amp.), og faseledningerne forbindes til et nulpunkt. De to nulpunkter forbindes med en ledning, hvori der er indskudt et galvanometer (et jævnstrømgaltvanometer kan bruges).

1. Apparaterne er nu stillet sammen til forsøg, og vi drejer på håndsvinget, indtil lamperne lyser. Der går ingen strøm gennem nulledningen. Vi fjerner nulledningen og drejer på svinget. Lamperne lyser lige så godt som før. Nulledningen kan undværes.
2. Vi ændrer rotors magnetstyrke ved kun at bruge et element. Ved samme omdrejningshastighed lyser lamperne svagere. Vi forøger rotors hastighed, lamperne lyser kraftigere. Strømstyrken gennem lamperne og dermed den spænding, maskinen kan yde, vokser med rotors magnetstyrke og rotors hastighed.

3. I den ene faseledning indskyder vi en transformator i række med glødelampen ( $T_1$  i fig. 137). Den primære ledning er den med de få vindinger. Den sekundære ledning forbindes med en glimlampe (220 volt, ca. 0,01 amp.). Vi drejer på håndsvinget, og glimlampen lyser kraftigt. At det er en vekselstrøm vi har, kan vi se af, at begge elektroder lyser.

Gennem transformatoren har vi forandret spændingsforskellen og strømstyrken fra ca. 4 volt og 0,5 amp. til ca. 220 volt og 0,01 amp. Forsøget falder ikke sammen med det, der sker i praksis, hvor man som oftest transformerer høj spænding til lav spænding (jfr. teksten side 123 nederst); vi må ved forsøget gå den omvendte vej, fordi vor maskine kun kan yde ringe spænding.

Ved en gruppe huse, hvor elektriciteten skal benyttes, må den højspændte strøm transformeres til større styrke (lavere spænding). I transformatorhuset er der tre transformatorer som fig. 136; på fig. 137 kaldes de  $T_1$ ,  $T_2$  og  $T_3$ . Transformatorernes hovedledninger står, som fig. 137 viser, i forbindelse med een af faseledningerne samt med nulledningen. Fra transformatorernes induktionsledninger, hvor den stærke, lavspændte strøm dannes, udgår atter tre faseledninger  $a_1$ ,  $b_1$  og  $c_1$ , mens de andre tre trådender fører hen til en nul-ledning ligesom ovenfor;  $a_1$ ,  $b_1$  og  $c_1$  får faseforskellen  $120^\circ$  ligesom  $a$ ,  $b$  og  $c$ . Lamperne indskydes altid mellem nul-ledningen og een af faseledningerne; spændingsforskellen mellem en faseledning og nul-ledning er i reglen 220 volt (mellem to faseledninger er den 380 volt).

*Det foregående viser, at der på de master, der bærer ledningerne, må være 4 tråde; af disse er nul-ledningen den tyndeste, fordi den kun fører svag eller slet ingen strøm, og er i reglen anbragt øverst. Til hvert hus hører der to stikledninger, een fra nul-ledningen og een fra den ene af de tre faseledninger. Er der i huset installeret en vekselstrømmotor, er der indført 3 faseledninger.*

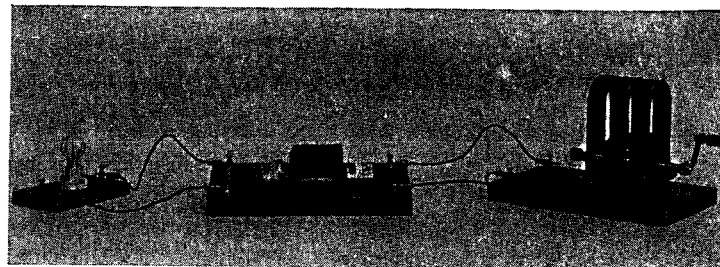


Fig. 139

Til et andet forsøg over vekselstrømme kan benyttes en lille enfaset vekselstrømdynamo, som ses på billedet (fig. 139). Vi indskyder en glimlampe (220 volt, ca. 0,01 amp.) og drejer på håndsvinget; vi kan da få lampen til at lyse, hvorefter vi slutter, at dynamoen frembringer høj spænding. Da begge elektroder lyser, må det være en vekselstrøm, vi har frembragt. Ombytter vi glimlampen med en lille glødelampe (3 volt, ca. 0,5 amp. ved normal lysstyrke), lyser lampen ikke. Strømmen er for svag. Videre ser vi på billedet en transformator. Dynamoen forbindes med spolen med de mange vindinger (den primære spole) og glødelampen med spolen med få vindinger (den sekundære spole). Vi kan nu få lampen til at lyse, fordi transformatoren har sat strømstyrken op. Sættes glimlampen ind i stedet for glødelampen, lyser den ikke, fordi spændingen er for lav. Transformatoren har sat spændingen ned.

Vi forbinder dynamoen og transformatoren med to konstantanledninger, hver godt 1 m lange og diameter 0,5 mm. Vi drejer på håndsvinget, og lampen lyser. Indsætter vi derimod konstantanledningerne mellem transformatoren og glødelampen, kan vi ikke få den til at lyse. I første tilfælde har vi i kredsløbet transformatorens store modstand, hvorfor denne ikke ændres synderlig ved at konstantanledningen indskydes. I den sekundære spole er modstanden derimod ringe, så de to konstantantråde betyder en væsentlig forøgelse af modstanden, hvorfor strømmen svækkes så meget, at lampen ikke kan lyse.

## Elektrisk belysning

Når en ledning gennemløbes af en strøm, opvarmes ledningen. Opvarmningen vokser med modstanden, med strømstyrkens kvadrat og med tiden.

I *glødelampen* er der en metaltråd (glødetråden) f. eks. osram med stor modstand. Dens ender er gjort fast til to platintråde, som går gennem væggen på den glasbeholder, der omslutter glødetråden; den ene platintråd fører til messingstykket *m*, den anden til skruegangen *S*, der ligeledes er af messing. *S* og *m* er adskilt fra hinanden ved et isolerende stof, f. eks. gips (schatteret på figuren). I lampefoden *L* er skruegangen og pladen *n* af messing og isolerede fra hinanden. Skrues lampen i lampefoden, rører *m* og *n* hinanden; pilene angiver, hvilken vej strømmen føres gennem lampen.

Glasbeholderen kan være pumpet lufttom, dels for at glødetråden ikke skal brænde, dels for at varmen ikke skal ledes gennem luften ud til glasset, hvorved glødetråden ville afkøles og lyse mindre stærkt.

Ved den høje temperatur forstøves glødetråden, hvorved

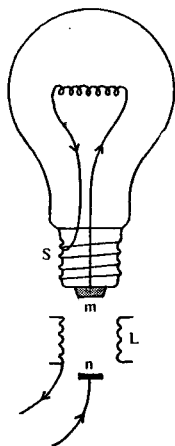


Fig. 140

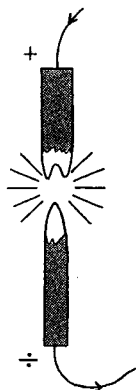


Fig. 141

dennes levetid forkortes, og lampens lysstyrke nedsættes, fordi de forstøvede metaldele sætter sig fast på den indvendige glasvæg og sværter denne.

Forstøvningen kan imidlertid omtrent undgås, hvis man fylder lampen med luftarten argon. Ganske vist ledes noget varme bort fra tråden; men det spiller ringe rolle, da argons varmeledningsevne er lille, og den varmemængde, der ledes bort, er yderst ringe i forhold til den udstrålede ved den høje temperatur.

Glødetråden skal være af metal med højt smeltepunkt, og da den i en almindelig glødelampe er ret lang og tynd, må den bæres af et stativ eller rulles op i en spiral.

I *buelampen* (fig. 141) er der to kulstænger, hvis ender fra først af berører hinanden. En strøm, der sendes gennem kulstængerne, vedbliver at gå, selv om de fjernes lidt fra hinanden, dog kun hvis spændingsforskellen mellem stængerne er over 40 volt; i så fald fyldes nemlig mellemrummet med en blanding af luft og hede kuldampe, der leder elektriciteten. Kulstængernes ender gløder og lyser stærkt, mens blandingen af luft og kuldampe, den såkaldte *lysbue*, lyser svagt. Er kulstængernes spændingsforskel mere end 40 volt, kan lysbuen blive længere, men lampen lyser ikke stærkere og brænder tilmed uroligt; i praksis nøjes man derfor med en spændingsforskel på ca. 45 volt og en lysbue på nogle få millimeter.

Efterhånden som lampen brænder, fortæres kulstængerne, og når mellemrummet er blevet for stort, går lampen ud. Den må derfor indrettes således, at kulstængerne automatisk indstilles således, at de har en passende afstand fra hinanden.

Den elektriske strøms varmekirning anvendes foruden til lys tillige til kogning, til opvarmning af værelser og strygejern; da ledningen består af tykke ledningstråde, er modstanden lille og strømstyrken stor, hvorfor denne anvendelse af den elektriske strøm er dyr i drift, hvor elektricitetspriserne er høje. (Se eks. 1 og 2 side 153).

## Lampernes anbringelse i ledningen

Fra ledningsnettet på gaden fører en tilførende og en fraførende ledning ind i huset, og lad os antage, at spændingsforskellen mellem de to ledninger er 220 volt, og at der er 6 lamper inde i huset, der hver kræver en strøm på 0,1 amp. (fig. 142); der går da 0,6 amp. gennem ledningerne. Ved *a* går 0,1 amp. gennem den første lampe, medens 0,5 amp. går videre, ved *b* går 0,1 amp. gennem den anden lampe, medens 0,4 amp. går videre og så fremdeles som angivet på figuren.

Gennem den fraførende ledning går strømmen tilbage til gadenettet; ved *c* træder 0,1 amp. fra den sidste lampe ind i ledningen, så at strømmen på strækningen *cd* er 0,1 amp., ved *d* forener denne sig med strømmen fra den næstsidste lampe, så at strømmen på strækningen *df* er 0,2 amp. o. s. v. I den tilbageførende ledning er strømstyrken i de forskellige stykker altså lig strømstyrkerne i de tilsvarende stykker af den tilførende ledning.

Hvorfor vil strømmen i punkt *a* dele sig således, at 0,1 amp. går gennem den første lampe og 0,5 i retning *ab*?

Hvorfor vil der kun gå 0,1 amp. gennem nettet, når man slukker 5 lamper?

Medens metaltrådslampen anbringes i ledningen, således som det er forklaret ovenfor, er forholdet lidt anderledes med bue-

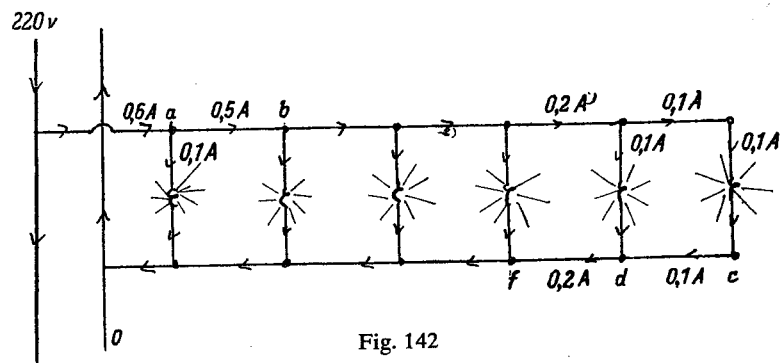


Fig. 142

lampen. I denne må spændingsforskellen mellem kulstængerne som omtalt ikke være mere end ca. 45 volt, eller – som man også kan sige – spændingsfaldet gennem lampen skal være ca. 45 volt; blev buelampen anbragt som de andre lamper, ville spændingsfaldet gennem den være 220 volt, altså for stort. Man anbringer derfor 4 buelamper i række mellem ledningerne samt en modstand af nysølv, den såkaldte *formodstand*. Gennem formodstanden falder spændingen fra 220 volt til 180 volt, og derefter er der et spændingsfald gennem hver af lamperne på 45 volt.

Hvis anlægget var på 180 volt, behøvede der ikke at være nogen formodstand; dette ville dog ikke være heldigt, da lamperne brænder roligere med formodstand. Desuden er modstanden i lamperne meget lille, når de tænder, fordi kulspidserne i dette øjeblik rører hinanden, og uden formodstand ville strømstyrken blive så stor, at den kunne ødelægge lamperne.

Selvfølge kan een eller flere af lamperne erstattes af en passende modstand; men elektricitetsforbruget bliver det samme.

Kommer den positive og den negative ledning på en eller anden måde til at røre hinanden, eller forbindes de med hinanden med en lille modstand, bliver strømmen så stærk, at ledningen kan smelte; man siger, at der er sket en *kortslutning*. For at undgå dette indskyder man forskellige steder i ledningerne en *smeltesikring* (fig. 143), som består af en lille porce-

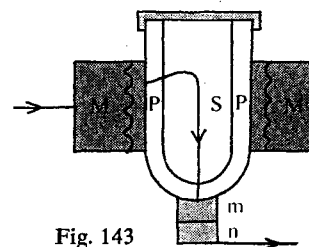


Fig. 143



lænsbeholder *PP*, der udvendig har en skru. gang af messing, som er skruet fast i møtrikken *MM*. Strømmen går ind gennem møtrikken, gennem sølvtråden *S* til messingstykket *m*, derfra over til messingstykket *n* og videre. Bliver strømmen for stærk, smelter sølvtråden, og ledningen er afbrudt.

## Elektromotorer

*Elektromotoren* er en maskine, der frembringer drivkraft ved hjælp af en elektrisk strøm; den er indrettet nøjagtigt som dynamomaskinen (fig. 131); samme maskine kan altså virke både som motor og dynamo. Lad os antage, at der træder en strøm (drivstrømmen) ind ved fjederen *A* (fig. 144); strømmen deler sig her i to dele, hvoraf den ene løber gennem kobbertråden om jernringens øverste halvdel, den anden om den nederste halvdel. Ved fjederen *B* forener de to dele sig igen og forlader jernringens bevikling. Betragter vi nu ringens øverste og nederste halvdel som to halvcirkelformede elektromagneter, ser vi ved hjælp af „reglen med højre hånd“, at de begge får nordpol ved *n* og sydpol ved *s*. Det ses let, at elektromagnetens poler *N* og *S* frastøder og tiltrækker *n* og *s* således, at jernringen løber rundt. Skal motoren f. eks. drive en sporvogn, er der på jernringens aksel anbragt tandhjul, som griber ind i tandhjul, der er fastgjort på vognhjulenes aksel.

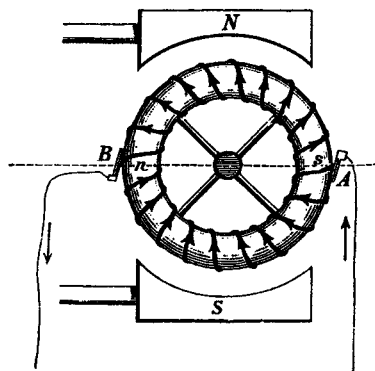


Fig. 144

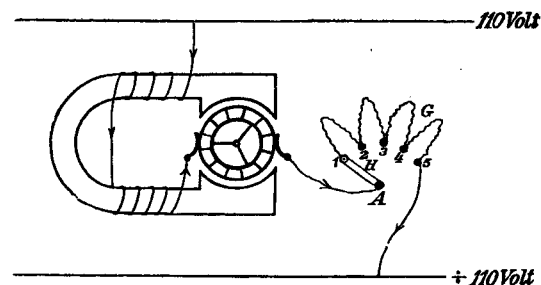


Fig. 145

Da drivstrømmen får motorens jernring til at løbe rundt, virker motoren samtidig som dynamo og frembringer en strøm, modstrømmen, der går i modsat retning af drivstrømmen og svækker denne; går jernringen langsomt rundt, er modstrømmen svag; går den hurtigt, er modstrømmen stærk. Dette forhold er en heldig egenskab ved motoren; skal en sporvogn f. eks. køre op ad en bakke, bevæger den og motoren sig langsommere, modstrømmen bliver svagere, drivkraften altså større; omvendt, når sporvognen kører ned ad bakke. — Påvis, at modstrømmen går i modsat retning af drivstrømmen.

Elektromotoren anbringes i ledningen på samme måde som elektriske lamper. Fig. 145 viser, hvorledes drivstrømmen går fra anlæggets positive ledning gennem elektromagnetens og jernringens kobbertråd, gennem en modstand *G*, der kaldes „gangsætningsmodstanden“, og videre til den negative ledning. Gangsætningsmodstanden består af nogle messingknopper (1, 2, 3, 4, 5), der er forbundne med hinanden med metaltråde, således som fig. 145 viser; *H* er et håndtag af messing, der kan drejes om akslen *A*. Står håndtaget som på figuren, går strømmen gennem hele gangsætningsmodstanden, drejes håndtaget efterhånden hen på knopperne 2, 3 og 4 gennemløber strømmen en mindre del af modstanden, og drejes det hen på knop 5, er hele gangsætningsmodstanden udskudt.

Gangsætningsmodstanden er kun indskudt, når motoren sættes i gang. I dette øjeblik er der ingen modstrøm, fordi jern-

ringen står stille, og hvis modstanden  $G$  ikke var indskudt, ville strømmen blive så stærk, at motoren blev ødelagt; er motorens modstand f. eks. 0,5 ohm og anlægget på 220 volt, ville strømmen ifølge Ohms lov blive  $\frac{220}{0,5}$  amp., d. v. s. 440 amp. Kom-

mer motoren først i gang, frembringer den en kraftig modstrøm og kan tåle hele anlæggets spænding; modstanden skal altså kun benyttes, når motoren sættes i gang, og dette sker ved at dreje håndtaget langsomt fra knop 1 hen på knop 5.

Kan den ovenfor beskrevne motor drives af en vekselstrøm?

## Elektrisk energi

Elektrisk energi er genstand for køb og salg i det daglige liv, idet elektricitetsværket (sælgeren) frembringer elektrisk energi ved hjælp af dynamo og dampmaskine, mens forbrugeren (køberen) benytter den elektriske energi til belysning eller drivkraft. Vi skal nu se, hvad det er, der bestemmer salgsprisen for elektrisk energi.

*Det elektriske energiforbrug i et stykke af en ledning er 1 watt-time, når stykket i 1 time gennemløbes af en strøm på 1 amp., og spændingsforskellen mellem stykkets endepunkter er 1 volt. 1 hektowatt-time = 100 watt-timer; 1 kilowatt-time = 1000 watt-timer.*

Gennemløbes et lederstykke i 3 timer af en strøm på 5 amp., og er spændingsforskellen mellem lederstykkets endepunkter 100 volt, er energiforbruget i lederstykket  $3 \cdot 5 \cdot 100$  watt-timer.

Er strømstyrken i et lederstykke, f. eks. tråden i en glødelampe,  $S$  ampère, spændingsforskellen mellem trådens endepunkter  $e$  volt, forbruges i  $t$  timer energien

$$E = S \cdot e \cdot t \text{ watt-timer.}$$

*Forbrugeren af elektricitet betaler for antallet af watt-timer (volt-ampère-timer), som han har brugt.*

*Forbrugeren skal altså betale for spændingsforskel, strømstyrke og tid. Man kunne tro, at forbrugeren kun skulle betale for den strømstyrke, han bruger (og for tiden). At dette ikke ville være rimeligt, ses dog let af et eksempel. To glødelamper indeholder lige tykke metaltråde, hvoraf den ene,  $A$ , er tre gange så lang som den anden,  $B$ . De lyser begge ved samme strømstyrke, fordi metaltrådene er lige tykke; men da  $A$  er tre gange så lang som  $B$ , udsender den tre gange så meget lys som  $B$ , men kræver samtidig tre gange så stor spændingsforskel mellem sine endepunkter. Lampe  $A$  lyser altså tre gange så stærkt som lampe  $B$ , men den koster også tre gange så meget at bruge, fordi den kræver tre gange så stor spændingsforskel.*

Eksempel 1. Hvor meget koster en glødelampe i timen, når anlægget er på 220 volt, og strømstyrken i lampen er 0,1 amp.? 1 kilowatt-time koster 50 øre.

$$220 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot \frac{50}{1000} \text{ øre} = 1,1 \text{ øre.}$$

Hvor stor er modstanden i lampen?

$$\text{Af formlen } s = \frac{e}{m} \text{ får vi } 0,1 = \frac{220}{m}; m = 2200 \text{ ohm.}$$

To lamper som ovenfor indskydes parallelt i ledningsnettet. Hvor stor er lampernes samlede modstand?

Eksempel 2. Hvor meget koster det at anvende et elektrisk strygejern en time, når energiforbruget er 300 watt, og prisen på 1 kilowatt-time er 50 øre?

$$300 \cdot 1 \cdot \frac{50}{1000} \text{ øre} = 15 \text{ øre.}$$

En watt er den i et lederstykke i 1 sekund forbrugte energi, når strømstyrken er 1 amp., og spændingsforskellen mellem lederstykkets endepunkter er 1 volt. Er strømstyrken  $S$  amp. og spændingsforskellen  $e$  volt, er energiforbruget  $S \cdot e$  watt. En metaltrådslampe i et anlæg på 220 volt kræver en strømstyrke, der beror på lampens lysstyrke; er strømstyrken f. eks.  $\frac{1}{10}$

amp., siger man, at lampen er på  $220 \cdot \frac{1}{10}$  watt (22 watt). Er lampen på 22 normallys, kræver den altså 1 watt pr. normallys, og dette er det almindelige for metaltrådslamper. Man må passe på ikke at forveksle watt-timer og watt; den nævnte lampe på 22 watt kan jo forbruge lige så mange eller få watt-timer, det skal være; det kommer an på, hvor længe den brænder.

Halv wattlampen er kun på  $\frac{1}{2}$  watt pr. normallys og er derfor billig at bruge. Pæren er ikke lufttom, men indeholder en luftart, f. eks. argon. Lysstyrken angives oftest i dekalumen. Spændingsforskellen, energiforbruget og lysstyrken er ofte angivet på lampen. F. eks. 220 volt, 80 watt, 100 dekalumen.

## Elektrisk kraftoverføring

Når energi, der frembringes på eet sted, på en eller anden måde overføres til et andet sted, siger man, at der er sket en *kraftoverføring*. Et eksempel på en sådan overføring har vi i den elektriske sporvogn; på elektricitetsværket frembringes der elektrisk energi, der gennem ledningstrådene føres til sporvognens elektromotor, som kommer i bevægelse og drejer vognens hjul rundt. Der har her efterhånden fundet en række energiomdannelser sted. På elektricitetsværket omdannes – ved forbrænding af kul i dampkedelens fyrsted – kullet kemiske energi til varme, der ved hjælp af dampmaskinen omdannes til bevægelse. Bevægelsesenergien omdannes ved hjælp af dynamoen til elektrisk energi, som ved hjælp af sporvognens motor atter omsættes til bevægelsesenergi.

Den energi, der i et sekund går gennem ledningsnettet, kan sendes enten med høj spænding og lille strømstyrke ( $E, s$ ) eller med lav spænding og stærk strøm ( $e, S$ ), og man har  $Es = eS$ .

Når der går en strøm gennem en ledning, opvarmes denne, hvorved en del af den elektriske energi omdannes til varme; *den i et sekund udviklede varmemængde er ligefrem propor-*

*tional med kvadratet på strømstyrken og med modstanden i ledningen (Joules lov).*

Da den i ledningen udviklede varme er spildt energi, gælder det om at gøre varmeudviklingen så lille som muligt; dette kan gøres enten ved at gøre ledningsmodstanden lille (tykke kobberledninger) eller gøre strømstyrken lille; men tykke kobberledninger er kostbare og som følge deraf bliver anlægskapitalen så stor, at kraftoverføringen ikke vil kunne betale sig på lange afstande. Man vælger derfor at sende energien i form af en svag strøm med høj spænding.

Mærk altså:

1. For at ledningerne ikke skal blive for svære, benyttes svage strømmen (med høj spænding).
2. Disse strømmen kan kun frembringes ved vekselstrømmaskiner, fordi en Grammes maskine med høj spænding ville give for store gnister ved fjedrene (side 138).
3. Når den højspændte, svage strøm kommer til forbrugstedet, må den transformeres til stærk strøm (med ringe spænding), fordi lamper og motorer kræver stor strømstyrke.

*Eksempel.* Et elektricitetsværk forsyner en fjernere liggende by med strøm. Fra omtalen af buelampen ved vi, at byens transformatorstation skal nedsætte spændingen til f. eks. 220 volt. Lad os antage, at byen har brug for 5000 ampère. Wattforbruget er altså  $5000 \cdot 220$  watt = 1100000 watt (= 1100 kilowatt). Dette forbrug kan overføres til byen på mange forskellige måder, blot skal  $S \cdot e$  være 1100000 watt; f. eks. kan elektricitetsværket levere 100 ampère med spændingen 11000 volt. Ledningerne mellem værket og byen fører således en strøm, der er 50 gange mindre end den strøm, byen bruger, og da varmeudviklingen i ledningen er ligefrem proportional med strømstyrkens kvadrat, bliver den 2500 gange mindre for samme ledninger. Varmeudviklingen (energitabet) kan altså formindskes og ledningerne gøres tynde, hvorved anlægskapitalen formindskes; de tyndere ledninger bevirker dog, at energitabet ikke bliver 2500 gange mindre.

## Elektriske strømme gennem luft

### Elektronteorien

Når der springer gnister over mellem to legemer, må spændingsforskellen mellem dem være temmelig stor; er spændingsforskellen f. eks. 500 volt, er gnisten kun synlig i mikroskop. På det sted, hvor gnisten viser sig, går der en elektrisk strøm gennem luften; det, der lyser, er dels metaldampe – hvis legemerne er af metal – dels luften.

En elektrisk strøm gennem fortyndet luft viser sig ikke som en gnist, men hele luftmassen lyser. Man ser det i et gejslersk

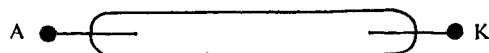


Fig. 146

rør (fig. 146), hvor noget af luften er pumpet ud, så at trykket f. eks. er  $\frac{1}{500}$  atmosfære. I rørets ender er der indsmeltet platintråde, som ender i øskener, der sættes i forbindelse med induktionsapparatets poler. Er der almindelig luft i røret, bliver den rødlig på det sted, hvor strømmen træder ind (ved anoden), blålig i den anden ende (ved katoden). Skønt induktionsapparatet giver vekselstrømme, er strømmen gennem røret dog ensrettet; det ligger i, at den induktionsstrøm, der opstår, når hovedstrømmen afbrydes, har størst elektromotorisk kraft, og kun den er i stand til at sende strøm gennem røret.

I stærkt fortyndet luft skifter udladningen karakter; man plejer at vise det med et rør som fig. 147. På enden af katoden K sidder der en plade af aluminium, på enden af anoden A et kors. Når strømmen går, lyser luften i røret næsten ikke; der-

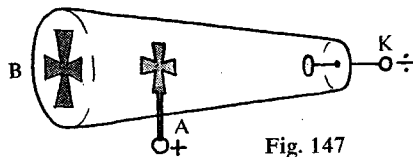


Fig. 147

imod lyser glasset stærkt med grønlig farve særlig ved B. Ved B ser man en skarp skygge af korset. Heraf slutter man, at der fra aluminiumpladen udgår stråler; de kaldes *katodestråler*. Nærmer man en magnet til røret, flytter korsets skygge sig; katodestråler påvirkes af magnetisme, hvad almindeligt lys ikke gør. Katodestrålerne udgår vinkelret fra katoden, de består af små negativ elektriske partikler, der kaldes *negative elektroner* og er identiske med selve den negative elektricitet. En elektron vejer næsten  $10^{23}$  gange mindre end et gramlod og ca. 2000 gange mindre end brintatomet, der er det letteste af alle grundstoffernes atomer. Et positiv eller negativ elektrisk legeme, anbragt nær ved katodestrålerne, vil henholdsvis tiltrække eller frastøde dem, hvad der viser sig ved, at korsets skygge flytter sig.

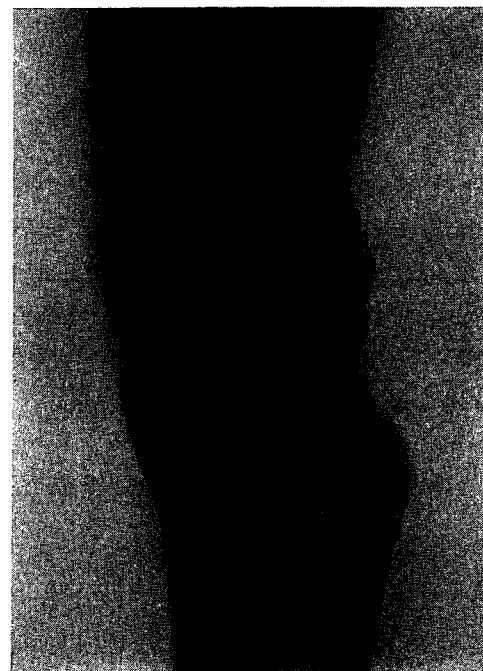


Fig. 148

I modsat retning – hen mod katodepladen – bevæger der sig i røret positiv elektriske småpartikler, positive ioner; er katodepladen gennemhullet, går de positive ioner gennem hullerne ind i rummet bag katodepladen, hvor man på lignende måde som ovenfor kan vise, at de virkelig er positiv elektriske; de positive ioner er ikke identiske med den positive elektricitet, men luftmolekyler, der har mistet elektroner.

Fra det lysende glas (særlig fra den ende, der lyser stærkest) udgår der i luften en anden slags stråler, der kaldes *røntgenstråler*. Når de træffer en papskærm, der er oversmurt med gul bariumplatincyaniür, lyser skærmen med grøn farve. Holder man hånden mellem skærmen og røret, dannes der på skærmen et *skygebillede* af håndens knogler; strålerne går nemlig meget lettere gennem kød end gennem ben. Røntgenstråler går let gennem papir, træ og kød, men i ringe mængde gennem ben og glas; de kan kun gå gennem meget tynde metalplader. Røntgenstråler påvirker en fotografisk plade på lignende måde som lysstråler, så at man kan lave røntgenfotografier. Fig. 148.

Til praktiske anvendelser benyttes særlig konstruerede røntgenrør, et sådant (nu forældet) er vist på fig. 149. Katoden har form som et hulspejl; derved koncentrerer katodestrålerne, disse rammer en metalplade, der er anbragt på anoden. Fra denne metalplade udgår røntgenstrålerne.

Røntgenstrålerne bevæger sig i rette linier ligesom katodestrålerne; men de påvirkes ikke af magneter eller elektrisk ladede legemer. Strålerne er af en ganske anden art end katode-

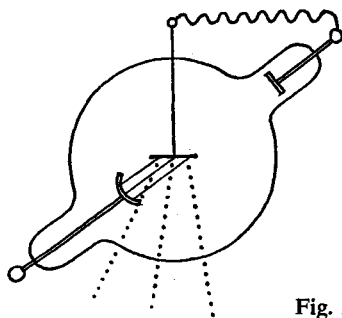


Fig. 149

strålerne, disse består af materielle smådele, elektroner, hinde af elektromagnetiske bølger med lille bølgelængde, (ca.  $10^8$  på 1 mm). De hårde stråler har den mindste bølgelængde.

Røntgenstrålerne har fået stor anvendelse, f. eks. anvender lægerne dem til undersøgelse af benbrud, indvendige svulster o. l.; de meget hårde stråler kan anvendes til påvisning af støbefejl i støbegods, dårlig udført svejsning o. s. v.

*Elektronteorien.* Ethvert atom består af en *positiv elektrisk kerne*, hvorom der kredser negative elektroner; et atoms vægt skyldes næsten udelukkende de positive kerner vægt, da elektronerne er så lette. I et neutralt atom ophæves kernens positive elektricitet af de negative elektroner. Mister atomet en eller flere elektroner, bliver der overskud af positiv elektricitet, og atomet er blevet til en *positiv ion*. Om det neutrale brintatom ved man, at det består af en positiv kerne, omkredset af 1 negativ elektron; bliver denne løsrevet fra atomet, får vi altså en positiv ion, der kun består af brintatomets kerne. Heliumatomet består af en positiv kerne, der indeholder dobbelt så meget positiv elektricitet som brintkernen og omkredsdes af to elektroner; fjernes disse, får vi heliumionen, som altså er identisk med heliumkernen.

Alle andre neutrale grundstofatomer indeholder mere end to elektroner; fjernes de alle eller nogle af dem, er atomet spaltet i negative elektroner og en positiv rest. Man siger, at atomet er *ioniseret*. Man kan ionisere luftarter på forskellig måde:

Den atmosfæriske luft er i almindelighed en isolator; men under visse omstændigheder kan den spaltes i positive og negative ioner. Den ene af de to kondensatorplader (fig. 150) sættes i forbindelse med et elektrometers aluminiumblad og den anden med elektrometerhusets metaldele. Oplades den ene kondensatorplade, vil elektrometret gøre et udslag; men tændes et lille lys mellem de to plader, ophører udslaget; der er da gået en elektrisk strøm mellem pladerne. Luften i mellemrummet er blevet ioniseret af flammen, og det er luftionerne, der i dette tilfælde er elektricitetsbærere.

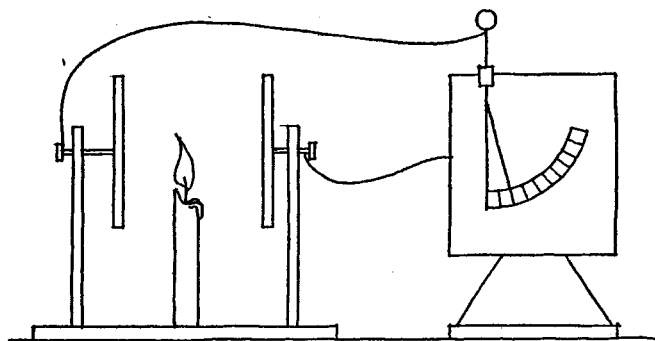


Fig. 150

Røntgenstråler vil ved at gå gennem atmosfærisk luft spalte en mængde ilt- og kvælstofatomer i positive iltioner, positive kvælstofioner og elektroner. Man kan vise dette ved at sende røntgenstråler hen mod et ladet elektroskop; er dette f. eks. positivt elektrisk, går den ioniserede lufts elektroner ind i elektroskops metalstang og ophæver den positive elektricitet, så at bladene falder sammen.

Vi vil nu nævne, hvad der foregår, når der går en elektrisk strøm gennem en ledning, f. eks. en kobbertråd. De positive kobberkerner flytter sig ikke på grund af strømmen; strømkildens elektromotoriske kraft driver derimod negative elektroner fra den negative pol til den positive. *En elektrisk strøm i en ledning er altså en bevægelse af negative elektroner i modsat retning af den, som vi plejer at kalde strømmens retning.* — Nærmer man en gnedet ebonitstang til elektroskopet og sætter fingeren på elektroskopstangen, stødes negative elektroner ned i jorden gennem fingeren; fjerner man nu først fingeren, derpå ebonitstangen, har elektroskopet underskud af negative elektroner og er positivt elektrisk. Ved sammen forsøg, men med en gnedet glasstang, trækkes negative elektroner op i knoppen, og negative elektroner fra jorden strømmer ind i elektroskopstangen og dækker underskuddet i stangens nederste ende; fjernes finger og glasstang, er elektroskopet negativt elektrisk. At et legeme er positivt elektrisk betyder altså, at der er under-

skud af negative elektroner; at det er negativt elektrisk betyder, at der er overskud af negative elektroner.

*Audionrøret* (elektronrøret). Man kan frembringe negative elektroner på anden måde end ved røret med korset. Får man således en metaltråd til at gløde ved hjælp af en elektrisk strøm, bryder der negative elektroner ud gennem trådens overflade. Dette kan vises ved følgende forsøg: Til polerne på et batteri på ca. 4 volt (f. eks. to akkumulatorer) fastgøres to kobbertråde, hvis fri ender renses og forbindes med en platintråd ( $\frac{1}{4}$  mm tyk) ved at vikles dennes ender om kobbertrådene; det ca. 2 cm lange stykke af platintråden, der er mellem kobbertrådernes ender, gløder. Nærmer den glødende platintråd til et ladet elektroskops knop, falder bladene sammen, fordi der fra platintråden går negative elektroner ud i luften og ioniserer denne, hvorved elektroskopet udlades.

I audionrøret benytter man de fra en glødende tråd udgående elektroner til at transportere elektriciteten.

Audionrøret består af en stærkt udpumpet glasbeholder, som indeholder en glødetråd *K* (katoden), som bringes i glød af batteriet *A*. Desuden er der en anode *P* og et gitter *G* (af metal). Sørger man nu for, at anoden bliver positivt elektrisk, tiltrækker den de ved *K* dannede elektroner, således at der går en elektronstrøm fra *K* gennem gitterets åbninger til *P*. Ved en

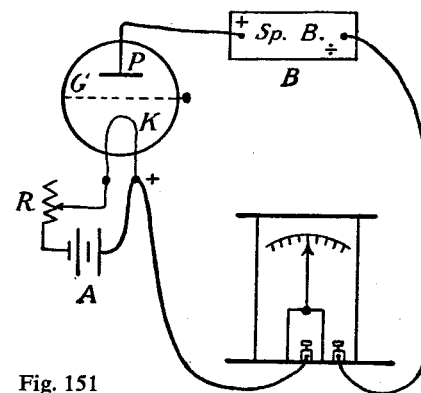


Fig. 151

ændring af 1) *glødetrådens temperatur*, 2) *anodespændingen* eller 3) *gitterspændingen* er man i stand til at ændre anodestrømmen.

Forøges glødetrådens temperatur, udgår der flere elektroner fra denne, og strømmen vokser. Det er dog inden for ret snævre grænser, en sådan forøgelse kan finde sted, da tråden er udsat for at brænde over.

Forøges anodespændingen, trækkes flere elektroner over, og strømmen bliver stærkere i kredsløbet; når alle elektroner, der udgår fra glødetråden, er trukket over, har strømmen nået sin højeste værdi. *Gitteret* har i almindelighed form som en spiral omkring glødetråden. Gitteret har til opgave at spærre for eller fremme elektronernes bevægelse fra katoden til anoden. Gitteret kan gives positiv eller negativ spænding fra en batteri (ikke vist på fig. 151). Er gitteret negativt, vil det frastøde de elektroner, der kommer fra glødetråden, hvorved anodestrømmen svækkes eller måske bliver nul. Ganske vist tiltrækker anoden stadig de negative elektroner; men da gitteret er nærmere ved glødetråden end anoden, vil en ringe negativ spænding på gitteret virke langt stærkere på elektronerne end anoden, der er langt stærkere positiv ladet, men i større afstand. Omvendt vil en ret svag positiv spænding på gitteret virke stærkt på elektronerne, så de farer over mod anoden; nogle indfanges naturligvis af gitteret; men det er kun en ringe brøkdel, fordi gitterets overflade er så lille. Gitterets betydning ligger altså deri, at man med ringe forandring i gitterspændingen kan frembringe store forandringer i anodestrømmen.

Af audionrørets virkemåde fremgår, at det kun tillader elektrisk strøm at gå igennem i een retning. Det kan derfor bruges til at omforme en vekselstrøm til ligestrøm.

## Elektriske udladninger i atmosfæren

På varme sommerdage bliver jorden og luftlaget ved jorden stærkt opvarmet, hvorfor der fremkommer stærke opadstigende luftstrømme. I de højere liggende luftlag er lufttrykket lavt og

temperaturen lav. Vanddampene i luftstrømmen vil fortættes, og der dannes den slags skyer, som kaldes klodeskyer. Hvis skyen er nået i en sådan højde, at temperaturen er omkring  $-10^{\circ}$ , dannes der iskrystaller. Idet vanddråber og iskrystaller begynder at falde, opstår der elektricitet ved gnidning mod luften, og der kan da ske udladninger (lyn) enten inde i skyen, mellem to skyer eller mellem skyen og jorden.

Det der sker ved lynnedslag er meget indviklet, lynet starter som regel midt inde i skyen. Både opad og nedad dannes en forgrenet kanal af luft (ledestrålen), der leder den elektriske strøm. Hvis een af grenene tilfældig kommer ned i retning af jordoverfladen, sker en elektrisk fordeling i jorden, og elektricitet fra jorden slår op mod ledestrålen. De fleste lyn slår i virkeligheden opad og ikke ned.



Fig. 152

Det egentlige lyn varer kun nogle få hundrede tusindele af et sekund og kan have en længde af 2–3 km, undertiden mere.

Den omgivende luft opvarmes til flere tusinde grader. Der foregår en slags eksplosion, hvorved luften med uhyre kraft slynges til siderne i et vældigt brag, vi kalder torden.

For at beskytte en bygning mod lynnedslag kan man slutte bygningen ind i et net af metaltråd med metalspidser foroven, og forneden er nettet sat i forbindelse med et vandførende lag i jorden; selvom maskerne i nettet er meget store, er boligen helt beskyttet. Ting der er helt eller delvis omgivet af metal er beskyttet mod elektriske kræfter.

## Elektriske svingninger

Figur 153 forestiller en elektrisk svingningskreds. Den består af en kondensator  $C$ , en trådrulle  $L$  og et gnistgab  $AB$ .

Oplades kondensatorpladen på en eller anden måde, således at den øverste plade bliver positiv og den nederste negativ, vil der, når tilstrækkelig høj spænding er nået, slå en gnist over mellem  $A$  og  $B$ . Der går da en elektrisk strøm i pilenes retning. Luften mellem  $A$  og  $B$  bliver ioniseret, og modstanden mellem  $A$  og  $B$  bliver da meget ringe. Idet elektriciteten strømmer gennem ledningen, udlades kondensatoren, men oplades atter af den strømmende elektricitet, således at den nederste plade bliver positiv og den øverste negativ. Denne ladning vil give anledning til en strøm i modsat retning. Elektronerne vil svinge frem og tilbage mange gange, idet kondensatorpladerne stadig skifter fortegn. Dette kan man iagttage ved, at en kasse, hvis sideflader består af spejle, sættes i roterende bevægelse foran

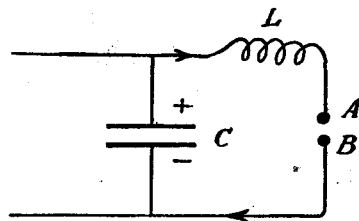


Fig. 153

gnistgabets  $AB$ ; man ser da, at den enkelte gnist opløses i en hel række gnister.

Elektronernes svingningstid er afhængig af kondensatorens størrelse og antallet af vindinger i trådrullen  $L$ .

Svingningerne ophører imidlertid efter kort tids forløb, da den elektriske energi omdannes til varmeenergi i svingningskredsen. Der må derfor stadig tilføres ny elektrisk energi, og dette kan ske ved, at svingningskredsen forbindes med en induktor.

Da den elektriske energi omdannes til varmeenergi, vil svingningerne blive svagere og svagere og til sidst dø hen, man siger, at svingningerne er dæmpede. Fra svingningskredsen udgår i rummet elektromagnetiske bølger med lysets hastighed. ( $3 \cdot 10^{10}$  cm/sek.).

For de bølger, der bruges til trådløs telegrafi og telefoni, varierer bølgelængden fra flere kilometer til ca. 40 cm. Tyskeren Heinrich Hertz påviste, at disse bølger følger de samme love som lysstrålerne; de kan f. eks. kastes tilbage og brydes. Træffer bølgerne en ledningstråd, sætter de elektronerne i denne i svingninger, hvorved der opstår meget svage vekselstrømme, der er en nøjagtig kopi af strømmene i afsenderens svingningskreds.

Da den modtagne elektriske energi er meget ringe, må man benytte meget følsomme modtagerapparater for at kunne modtage de fra afsenderen udsendte signaler.

Betingelsen for, at et modtagerapparat kan optage de fra afsenderen udsendte signaler, er, at det indeholder en svingningskreds, der kan afstemmes efter afsenderens svingningstal. Apparatet (fig. 154) har både afsender og modtager. Afsenderens svingningskreds består af to metalkugler (gniststedet), en trådrulle og en kondensator. Til modtagerens svingningskreds hører en trådrulle og en glimlampe; parallel med lampen er indskudt en drejekondensator. Afsenderens svingningskreds forbindes med en induktor. Sættes induktoren i gang, opstår der elektriske svingninger i kredsen; men lampen lyser ikke, der er altså ikke frembragt svingninger i modtagerkredsen.



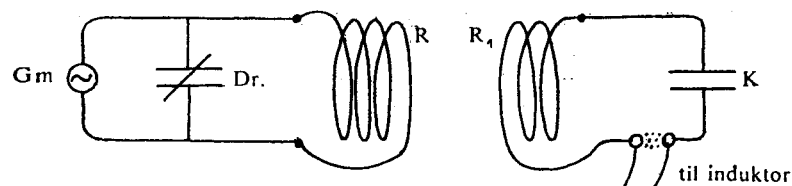


Fig. 154

Drejer vi nu langsomt på kondensatoren, finder vi en stilling, hvor lampen lyser, og de to svingningskredse har da samme svingningstal; de er afstemt til samme bølgelængde. *Svingningstallet er altså afhængig af svingningskredsens kapacitet.* Ombytter vi trådrullen med en anden, der har færre vindinger, må vi dreje kondensatoren således, at den får større kapacitet for at få lampen til at lyse. *En svingningskreds svingningstal og dermed også bølgelængden retter sig efter antallet af vindinger i trådrullen og kondensatorens kapacitet.*

De to svingningskredse siges at være lukkede; fra en lukket svingningskreds er virkningen ud i rummet meget ringe. Skal virkningen mærkes på store afstande, må svingningskredsene være åbne, dette opnås ved at indskyde antenner i kredsene. Antennen består som regel af en vandret metaltråd, der føres ned til svingningskredsen og derfra til jord. Hvis der til hver af de to trådruller R og R<sub>1</sub> (fig. 154) kobles en antenne på ca.  $\frac{1}{2}$  m uden jordforbindelse, kan virkningen mærkes i en afstand på et par meter.

**Modtagerapparatet.** Som allerede nævnt gælder det om at opfange de elektromagnetiske bølger ved hjælp af en *modtager*. En sådan modtager består af en antenne og et audionrør. Antennen er koblet til gitteret, og til anodekredsen er koblet en telefon eller en højttaler (fig. 155). (Svingningskredsen er imidlertid langt mere indviklet, men det kan vi ikke komme ind på her).

Ved hjælp af en drejekondensator og en variabel trådrulle (spole) kan modtagerens svingningskreds afstemmes efter senderens. Når bølgetoget rammer modtagerens antenne, sættes

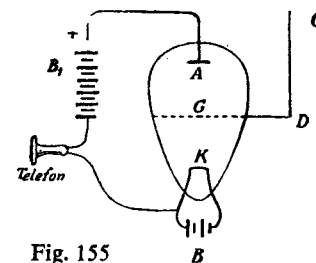


Fig. 155

elektronerne i denne i svingninger, hvorved gitterets spænding varierer og dermed også anodestrømmen. Da audionrøret kun tillader, at der går strøm i een retning, vil strømmen i anodekredsen være ensrettet.

De elektromagnetiske bølger har imidlertid et meget højt svingningstal, hvorfor variationerne i anodestrømmen vil foregå så hurtigt, at telefonmembranen ikke vil kunne følge med. Ved særlige anordninger må svingningstallet derfor sættes ned. Telefonmembranen vil da svinge i takt med mikrofonmembranen, men med et svingningstal så lavt, at svingningerne kan opfattes af øret.

De bølger, der frembringes ved hjælp af en gnistinduktor, kan ikke bruges i telefoni, fordi der er lange døde mellemrum. Ved hjælp af audionrør er man imidlertid i stand til at frembringe en uafbrudt række af ens svingninger (kontinuerte bølger). I afsenderstationens svingningskreds indsættes en mikrofon; taler man så i mikrofonen, forandres modstanden i denne, og derved forandres både svingningstallet og styrken i de udsendte bølger i overensstemmelse med mikrofonmembranens svingninger. Tilsvarende ændringer vil da opstå i modtagerapparatets svingningskreds, hvorfor telefonen vil gengive, hvad der tales i mikrofonen.

# LYSLÆRE

## Skyggedannelse

Falder der sollys ind gennem et vindue eller et nøglehul, belyses støvpartiklerne i luften, og vi ser, at *lyset bevæger sig efter rette linier*.

Når et i sig selv mørkt legeme er synligt for os, kan det ligge i, at lysstrålerne fra et selvlysende legeme, f. eks. solen eller en lampe, træffer det mørke legeme og kastes tilbage fra det. Men det i sig selv mørke legeme kan så igen kaste lys på andre mørke legemer og gøre dem synlige. Således forholder det sig f. eks. med månen, der tilbagekaster solens lys og derfor kommer til at forholde sig, som om den var selvlysende. I en stue, hvor der ikke falder sollys direkte ind, belyses tingene af solstrålerne, der kastes ind i stuen fra en mur, fra træer eller fra luften uden for stuen, idet luftdelene ligeledes tilbagekaster sollys; de forskellige ting i stuen belyser desuden hverandre gensidig.

Når solstrålerne rammer en ting, f. eks. en stolpe, standses strålerne af stolpen og trænger ikke ind i rummet bag den; stolpen kaster en *skygge*. Ser vi nærmere på denne, viser det sig, at den er lysere i randen; den mørke del kaldes *slagskyggen* eller kerneskyggen, den lysere *halvskyggen*. På figuren forestiller *AB* et stykke af jordens overflade, *CD* er stolpen. Til solen *S*, der sidder langt borte til venstre, trækker vi tangenten fra *C* og forlænger dem til de skærer jorden i *E* og *B*;  $\angle v = \angle BCE$ . Solens synsvinkel er  $\frac{1}{2}^\circ$ , hvor på jorden vi end opholder os. Rummet *CDE* er stolpens slagskygge, og i dette rum kan ingen solstråle trænge ind direkte fra solen, men nok fra genstande eller fra luften til højre for stolpen, hvorfor slagskyggen ikke er helt sort. Stolpens slagskygge ses på jorden fra *D* til *E*, mens *EB* bliver halvskygge. Betragter vi nemlig punk-

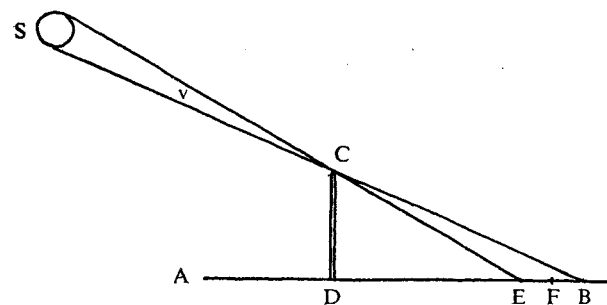


Fig. 156

tet *F* og trækker en ret linie fra *F* gennem *C* til solen, ser vi, at solens øverste del belyser *B*. På samme måde ser vi let, at alle punkter mellem *E* og *B* belyses af en del af solen, og jo længere punktet ligger hen mod *B*, jo større del af solen sender lys til punktet, så at *halvskyggen bliver lysere og lysere ud mod randen*.

Var stolpen *CD* lavere, ser vi ved at tegne de samme linier som før, at halvskyggen *EB* bliver smallere, skyggen altså skarpere. *Jo nærmere en skygge giver er ved den flade, hvorpå dens skygge ses, jo smallere er halvskyggen, jo skarpere altså slagskyggen*.

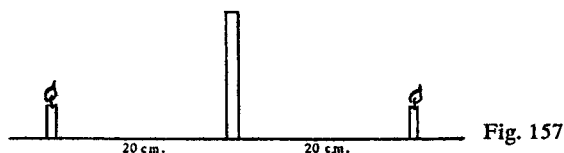
Det er ikke alene stolpens øverste del, der kaster halvskygge, ethvert punkt ned langs stolpens sider forholder sig på samme måde, så at hele slagskyggen er omgivet af en halvskygge og skarpest forneden.

Spiler vi fingrene ud og lader håndens skygge danne sig på en solbelyst væg eller på et stykke papir, der belyses af en lampe, ser vi på samme måde fingrenes slagskygge omgivet af en halvskygge, som svinder mere og mere ind, når vi nærmer hånden til væggen eller papiret.

På fig. 156 kan vi se, at skyggen af stolpen bliver desto kortere, jo højere solen er oppe på himlen; ved middagstid er skyggen altså kortest, mens den henad solnedgang bliver meget lang.

## Lysets tilbagekastning

Når lysstråler træffer en glasplade, går de fleste gennem den, nogle kastes tilbage. Stiller vi et tændt stearinlys foran en glasplade og holder øjet på samme side af pladen, ser vi to (eller flere) spejlbilleder af lyset. Det forreste er det tydeligste og



fremkommer ved lysets tilbagekastning fra glaspladens forreste flade, det næste fremkommer ved lysets tilbagekastning fra den bageste flade (de øvrige ved gentagen tilbagekastning mellem de to flader). Stil glaspladen lodret på en målestok, således at den forreste flade f. eks. står på mærket 20 cm, sæt et tændt lys, der kun er nogle få cm højt, lidt foran glaspladen, anbring et utændt lys midt i det forreste spejlbillede og mål afstanden fra glassets forreste flade til lysets midte og til billedets midte; forsøget viser, at *spejlbilledet dannes lige så langt bag den spejlende flade, som lyset står foran den.*

Fig. 158 viser gangen af de stråler, som udgår fra lyset  $L$  og efter tilbagekastningen fra den spejlende flade  $SS$  går ind i øjet, som om de kom fra billedet  $B$ .  $LB$  er vinkelret på  $SS$  og  $LE = EB$ . Da strålerne i virkeligheden ikke udgår fra  $B$ , kaldes billedet *indbildt*.

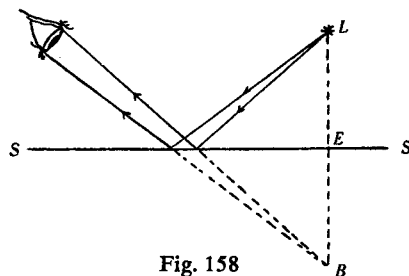


Fig. 158

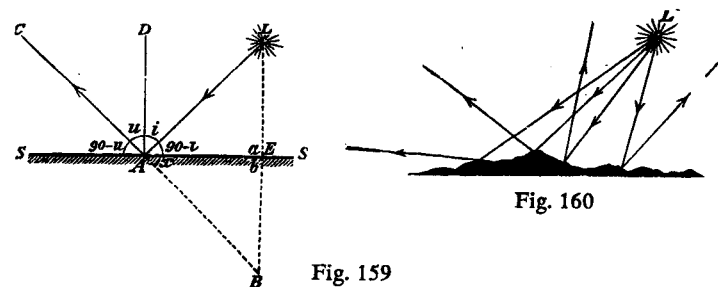


Fig. 159

Fig. 160

Et almindeligt spejl består af en glasplade, som på bagsiden er belagt med sølv. Da næsten alt lys kastes tilbage fra sølvet, bliver billedet meget tydeligt. Holder vi et tændt lys foran et spejl, ser vi to billeder, et tydeligt og et utydeligt.

Det utydelige skyldes tilbagekastning fra glassets forside. Hvilket af disse billeder ligger længst bag ved spejlet?

$LA$  er en af de stråler, som udgår fra lyset,  $AC$  den tilbagekastede stråle.  $B$  er billedet,  $SS$  den spejlende flade, som står vinkelret på spejlet; linien  $DA$  er tegnet vinkelret på  $SS$ , den kaldes *indfaldsloddet*,  $i$  kaldes *indfaldsvinkel*,  $u$  *udfaldsvinkel*. Drejes  $\triangle ALE$  om  $AE$ , dækker den  $\triangle ABE$ , da  $LE = EB$  og  $\angle a = \angle b = 90^\circ$ ; altså er  $\angle 90 - i = \angle x$ . Da desuden  $\angle 90 - u = \angle x$  (topvinkler), har vi  $90 - u = 90 - i$ , eller  $u = i$ . *Indfaldsvinkel og udfaldsvinkel er lige store; den indfaldende stråle, den tilbagekastede stråle og indfaldsloddet ligger i samme plan.*

Når man står lidt fra bredden af en dam, kan man se ting på den anden side af dammen spejle sig i vandoverfladen, men ikke ting på samme side; hvorfor?

Ting kan ikke spejle sig i en ru overflade. Fig. 160 viser, at de stråler, som udgår fra  $L$ , ikke kastes tilbage, som om de kom fra samme punkt.

Betingelsen for spejling er altså, at stråler, der kommer fra samme punkt, efter tilbagekastningen har en sådan retning, at de forlænget baglæns skærer hverandre i samme punkt.

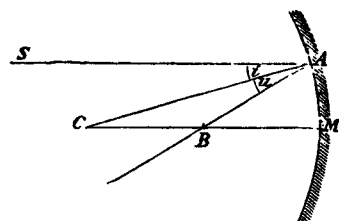


Fig. 161

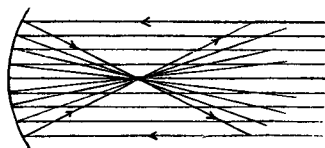


Fig. 162

Tegningen viser et *hulspejl*; det har form som en del af en kugleflade. Den linie, der går gennem spejlets midtpunkt *M* og kuglefladens centrum *C*, kaldes *aksen*. *SA* er en stråle, der falder ind parallel med akse. Radius *CA* er indfaldslod; strålen kastes tilbage i retningen *AB*, således at  $\angle i = \angle u$ . *CB* er lidt større end  $\frac{r}{2}$ . Alle stråler, der falder ind parallelle med *hulspejlets* akse går efter tilbagekastningen gennem et punkt af akse, der ligger omtrent midt mellem *hulspejlet* og centrum. *B* kaldes *brændpunktet*. *MB* *brændvidden*. Et plan gennem brændpunktet vinkelret på akse kaldes *brændplanet*. Vendes *hulspejlet* mod solen, er de stråler, som rammer spejlet, omtrent parallelle med akse. Fig. 162 viser strålerne gang før og efter tilbagekastningen. Holder vi et stykke papir i brændpunktet, ser vi en lysende plet på papiret; har vi i forvejen sværtet papiret med blæk, går der let ild i det.

Udgår der en stråle *BA* fra brændpunktet (fig. 161), bliver *u* indfaldsvinkel, *i* udfaldsvinkel. Anbringer man altså et lys i *hulspejlets* brændpunkt, kastes strålerne ud parallelle med akse. På denne måde anvendes *hulspejle* tit, f. eks. foran på lokomotiver og i fyrstårne.

Tegn de tilbagekastede strålers retning, når lyset stilles inden for brændpunktet.

## Lysets brydning

Vi lægger en mønt på bunden af en skål og holder øjet således, at vi lige skimter randen af mønten. Hælder vi nu vand i skålen, bliver mønten synlig; både den og karrets bund synes at være nærmere ved vandets overflade, end de i virkeligheden er. Grunden er den, at *lysstråler skifter retning, når de går fra et stof over i et andet*. Tegningen viser strålerne gang fra et punkt af mønten til øjet. De går ind i øjet, som om de kom fra et højere liggende punkt; billedet er *indbildt*.

Stikker man et penneskift skråt ned i vand, ser det ud, som om penneskiftet var brækket lige ved vandoverfladen; hvorfor?

Strålen *CcD* (fig. 164) går fra luften (*A*) ned i vand eller glas (*B*); ved *c* skifter den retning. Den punkterede linie er indfaldslod,  $\angle i$  er indfaldsvinklen,  $\angle b$  kaldes *brydningsvinklen*. Når en stråle går fra luft til vand eller glas, er *brydningsvinklen* mindre end *indfaldsvinklen*; omvendt, hvis strålen går fra vand eller glas til luft. Kommer der en stråle (*Dc*) fra vandet eller glasset, går den ud i luften i retningen *cC*; nu er *b* indfaldsvinkel, *i* *brydningsvinkel*. En stråle, der træffer vinkelret på overfladen, brydes ikke.

Når en stråle går gennem en glasplade, der er begrænset af to parallelle flader (f. eks. *rudeglas*), brydes den, både når den går ind i glasset, og når den igen går ud i luften. Tegningen (fig. 165) viser gangen af en stråle, som kommer fra *A*; den går ind i øjet, som om den kom fra *A<sub>1</sub>*. *AB* er parallel med *A<sub>1</sub>C*. Ser man på skrå gennem en rude, ses genstande på den anden side af ruden forskudt lidt fra deres virkelige plads.

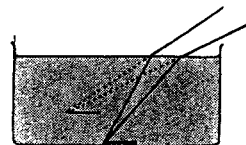


Fig. 163

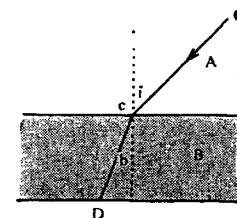


Fig. 164

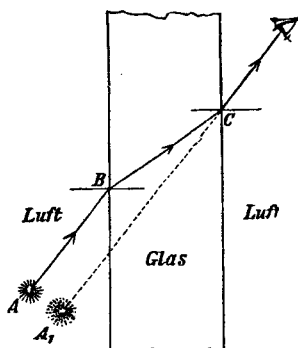


Fig. 165

Når vi tegner glaspladen tyndere og gør indfaldsvinklen ved  $B$  mindre, ser vi, at forskydningen bliver mindre; er indfaldsvinklen lille, er forskydningen umærkelig. Der gælder derfor følgende regel, som vi senere tit får brug for: *Når en stråle falder omtrent vinkelret ind på en tynd glasplade, der er begrænset af parallelle flader, går strålerne ubrudt gennem glaspladen.*

Fig. 166 viser en stråles gang gennem et glasprisme  $\angle i > \angle b$ ,  $\angle i_1 < \angle b_1$ . Skæringslinien mellem de to flader, gennem hvilke strålen træder ind i prismet og går ud af det, kaldes *prismets brydende kant*; af figuren ses, at strålen brydes bort fra den brydende kant.

På fig. 167 forestiller  $S$  et strålepunkt, som sender lys til et prisme. Strålerne fra  $S$  forandrer retning, når de træder ind i

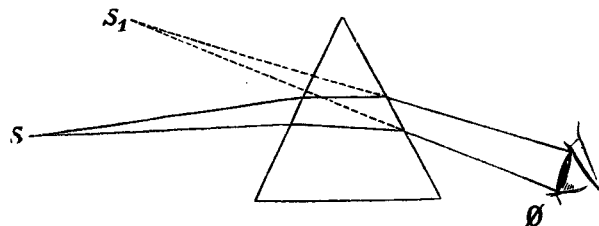


Fig. 167

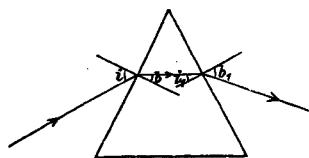


Fig. 166

prismet, og når de forandrer det. De stråler, der træder ind i øjet  $\emptyset$ , har retning, som om de udgik fra punktet  $S_1$ , hvor øjet altså ser et indbildt billede af  $S$ .

## Linser

En linse er en rund glasskive, hvis to sideflader er dele af kugleflader. Er linsen tykkest på midten, kaldes den en *samlelinse* (1 på tegningen); er den tyndest på midten, kaldes den en *spredelinse* (2). Den linie ( $AB$ ), som går gennem kuglefladernes centre, kaldes *aksen*.

Lader vi solstrålerne træffe en samlelinse, således at de er parallelle med linsens akse, brydes de både på det sted, hvor de træder ind i glasset, og hvor de træder ud. Efter brydningen krydser de hverandre i et punkt  $b$  på akse, således som fig. 169 viser. Holder vi her et stykke papir, ser vi en lys plet på papiret, og efter kort tids forløb går der ild i det. *Stråler, der er parallelle med samlelinsens akse, skærer alle efter brydningen akse i samme punkt, som kaldes brændpunktet. Dets afstand fra linsen kaldes brændvidden.* Linsen har to brændpunkter, eet på hver side; de to brændvidder er lige store.

Stråler, der kommer fra brændpunktet, er efter brydningen parallelle med akse.

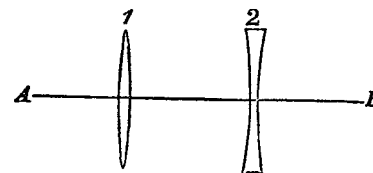


Fig. 168

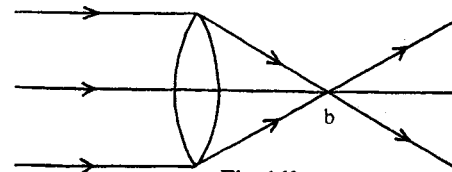


Fig. 169

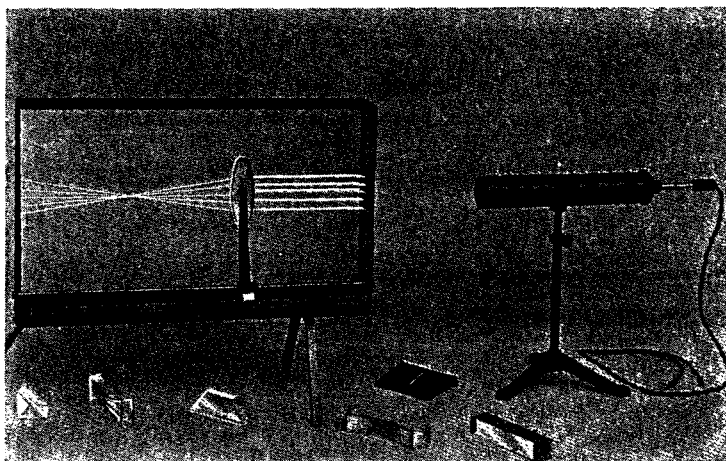


Fig. 170

*Jo stærkere linsen er krummet, desto mere brydes strålerne, desto mindre er altså brændvidden.*

Alle grundforsøgene over tilbagekastning og brydning udføres bedst med et optisk universalapparat som hosstående tegning (fig. 170).

## Billeddannelse ved linser

Stil et tændt stearinlys på den ene side af en samlelinse i en afstand, der er større end brændvidden, og før en skærm frem og tilbage på den anden side linsen. Vi ser, at der dannes et omvendt billede af flammen på skærmen, når den holdes i en bestemt afstand. Flytter vi lyset, dannes billedet et andet sted og har en anden størrelse.

Tegningen viser strålernes gang fra lysets øverste punkt  $L$  til det tilsvarende punkt  $L_1$  af billedet; alle de stråler fra  $L$ , der træffer linsen, krydser efter brydningen hverandre i  $L_1$ ;  $b$  og  $b_1$  er linsens brændpunkter. Punktet  $L_1$  kan konstrueres på følgende måde:

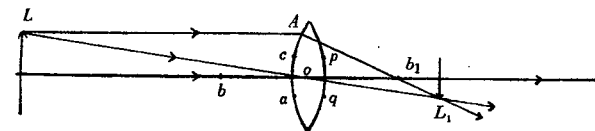


Fig. 171

I. Strålen  $LA$  trækkes parallel med akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet  $b_1$ . Strålen brydes egentlig på to steder; ved konstruktionen er vi nødt til at tænke os den brudt kun på eet sted, f. eks. ved linsens forreste flade. Den fejl, der herved fremkommer på tegningen, er meget lille.

II. Da de små flader  $a c$  og  $p q$  omtrent er plane, kan linsens midterste del  $a c p q$  betragtes som et stykke rudeglas (vi må tænke os  $a c$  og  $p q$  meget mindre end på tegningen). Når  $O$  er det punkt af akse, som ligger midt mellem linsefladerne, går strålen  $LO$  gennem linsen uden at brydes (se side 174).

Punktet  $L_1$  er skæringspunktet mellem forlængelsen af  $LO$  og  $Ab_1$ .

Fra hvert punkt af flammen udgår der stråler, som efter brydningen krydser hverandre i det tilsvarende punkt af billedet. Holder vi derfor øjet til højre for billedet, går der fra billedets forskellige punkter stråler ind i øjet, som om billedet var en virkelig genstand, der udsender stråler (dog kun til højre); vi kan se billedet svæve frit i luften. Holder vi en skærm der, hvor billedet er, kastes strålerne tilbage mod venstre; vi må nu holde øjet til venstre for skærmen for at se billedet. Da strålerne virkelig udgår fra billedet, kaldes det *virkeligt*.

Holder vi linsen op mod solen og finder brændpunktet ved hjælp af et stykke papir, kan vi måle brændvidden. Opfanger vi på papiret billeder af genstand uden for stuen og måler afstanden fra linsen til billedet, ser vi, at *billedet af fjerne genstande dannes i en afstand fra linsen, der er lig brændvidden*.

Foruden brændpunkterne får vi tit brug for de to punkter  $B$  og  $B_1$ , der ligger i linsens akse dobbelt så langt fra linsen som brændpunkterne.



Fig. 172

Vi bruger nu igen lyset som genstand og begynder med at stille det langt fra linsen. Ved at nærme lyset mere og mere ser vi, at der gælder følgende regler. Vi tænker os, at genstanden fra først af er langt til venstre (fig. 172).

I. Når genstanden nærmes til B, flytter billedet sig fra  $b_1$  hen mod  $B_1$  og vokser i størrelse, men er stadig mindre end genstanden.

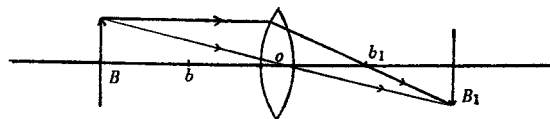


Fig. 173

II. Når genstanden kommer til B, dannes billedet ved  $B_1$  og er lige så stort som genstanden. (Genstand og billede ligger nu lige langt fra linsen).

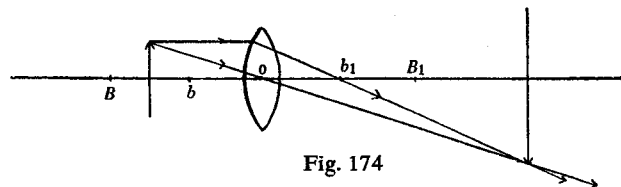


Fig. 174

III. Når genstanden flyttes fra B hen imod b, fjerner billedet sig hurtigt fra  $B_1$  til højre og vokser i størrelse; det er større end genstanden.

IV. Billedet er omvendt og virkeligt.

Når genstanden kommer til b, er billedet uendeligt langt borte og uendeligt stort, d. v. s. der dannes intet billede.

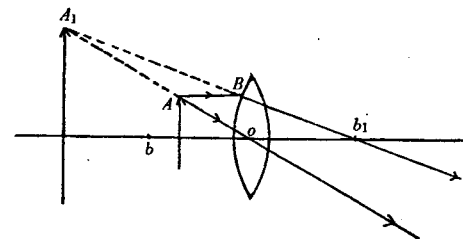


Fig. 175

At disse regler stemmer med konstruktionen, kan vi overbevise os om ved at tegne en genstand i forskellige afstande fra linsen og konstruere billedet:

Eksempel 1.

Genstandens afstand er dobbelt så stor som brændvidden.

Eksempel 2.

Genstanden ligger mellem B og b.

Når en samlelinse bruges som lup, skal genstanden ligge inden for brændpunktet. Tegningen viser gangen af de stråler, som udgår fra genstandens øverste punkt A. Fig. 175. Efter brydningen går de til højre, som om de kom fra punktet  $A_1$ . For at konstruere  $A_1$  tegner vi strålen AB parallel med linsens akse; efter brydningen går den gennem brændpunktet  $b_1$ . Strålen AO går ubrudt gennem linsens midte. Forlænges AO og  $Bb_1$  til venstre, skærer de hinanden i  $A_1$ .

Ligger genstanden inden for brændpunktet, dannes der et indbildt, opret, forstørret billede. En stærkt krummet linse forstørrer mest.

På hvilken side af linsen skal man holde øjet for at se billedet?

Flytter vi lupen, forandres genstandens afstand fra denne og dermed også billedets beliggenhed. Når vi vil se billedet skarpt uden at anstrenge øjet, må afstanden fra øjet til billedet have en bestemt størrelse, som kaldes den tydelige synsvidde.

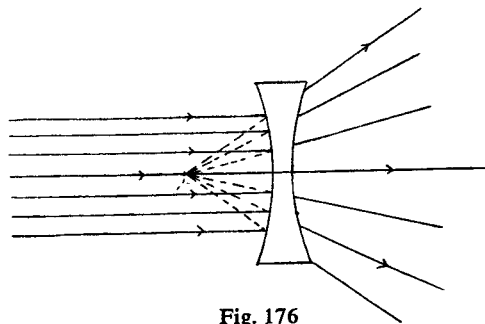


Fig. 176

**Spredelinse.** Ser vi på en ting gennem en spredelinse, er billedet altid formindsket, opret og indbildt; det kan altså ikke opfanges på en skærm. Tegningen viser gangen af stråler, som er parallelle med linsens akse. Efter brydningen spredes strålerne bort fra akse, som om de kom fra punktet *b*; *b* kaldes brændpunktet, det er indbildt. Kan der gå ild i stykke papir, som holdes i brændpunktet, hvis vi holder spredelinse op mod solen?

## Linsens anvendelse

**Fotografiapparatet og lysbilledapparatet.** Fotografiapparatet er en kasse, hvis ene væg er en matsleben glasplade. I den modsatte væg er der anbragt et rør med en samlelinse, som skydes frem og tilbage, indtil billedet af den ting, der skal fotograferes står skarpt på glaspladen. Denne erstattes nu med den fotografiske plade, som er overtrukket med bromsølv og påvirkes af lysstrålerne.

I et lysbilledapparat anbringes genstanden i en afstand fra linsen, der er lidt større end brændvidden. Der dannes da et omvendt, forstørret, virkeligt billede, som opfanges på en skærm. Genstanden er ofte en glasplade, hvorpå der er malet figurer; de må anbringes på hovedet, for at billedet kan blive opret, og belyses stærkt, for at billedet ikke skal blive for mørkt.

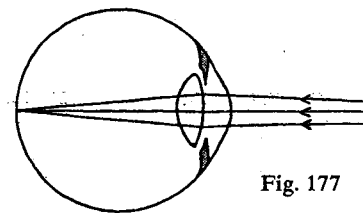


Fig. 177

**Øjet.** Øjet kan sammenlignes med et fotografiapparat.

Det lys, der træder ind i øjet, brydes både af hornhinden og af linsen, og når vi ser på en genstand, skal der dannes et billede af den på øjets baggrund. Vi vil tænke os, at vi først ser på en fjern genstand, og at billedet netop dannes på øjets baggrund. Ser vi nu på en nærmere genstand, dannes billedet af denne længere borte fra linsen, det vil sige bag øjet. Hvis linsen var uforanderlig, kunne øjet altså kun se fjerne genstande. Ved hjælp af de muskler, der bærer linsen er vi imidlertid i stand til at gøre den mere krum eller mere flad. Hvis vi i det omtalte tilfælde gør linsen mere krum, rykker dens brændpunkt nærmere hen til den. Billedet rykker med, og vi kan sørge for, at det netop dannes på øjets baggrund. Denne evne til at forøge øjelinsens krumning kaldes *akkomodations-evnen*.

Det er mindst trættende at se på ting, der er i en vis afstand fra øjet. Denne afstand kaldes som før nævnt *den tydelige synsvidde*; den er omtrent 25 cm for et normalt øje.

**Briller.** *A* og *B* er to samlelinser med fælles akse. *A* rammes af stråler, der er parallelle med akse; de ville krydse hverandre i *A*'s brændpunkt *b*, hvis *B* ikke var der. *B* samler strålerne mere, så at de krydser hverandre i *c*. *To samlelinser*,

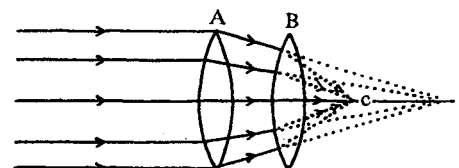


Fig. 178



der er nær ved hinanden, forholder sig som én samlelinse med kort brændvidde.

Erstatter vi  $B$  med svagt buet spredelinse spreder den strålerne lidt, så at de først krydser hverandre i et punkt, der ligger til højre for  $b$ . En samlelinse og en svagt buet spredelinse forholder sig som én samlelinse med en brændvidde, der er større end samlelinsens.

Nærsynede folks linse er for stærkt krummet, eller, hvad der er almindeligst, øjeaksen i vandret retning for lang; dens brændvidde er så kort, at billedet af fjerne genstande dannes foran øjets baggrund. For at få brændvidden længere må de bruge briller, hvis glas er spredelinses.

Langsynethed (gammelmandssyn) skyldes, at linsen med alderen har mistet noget af evnen til at akkomodere, hvorfor billedet af nære genstande dannes bag øjets baggrund. For at få brændvidden kortere, må der bruges briller, hvis glas er samlelinser.

Øvelse. Prøv formlerne  $\frac{1}{p} = \frac{1}{p_1} \pm \frac{1}{p_2}$ , hvor  $p_1$  og  $p_2$  er to samlelinsers brændvidder,  $-p_2$ , en spredelinses brændvidde. Sæt linserne tæt sammen under forsøget.

Den astronomiske kikkert. Når vi ser en genstand, f. eks. et træ, danner de to linier fra øjet til træets fod og top en vinkel, som kaldes genstandens synsvinkel; og jo nærmere man kommer til træet jo større synes man, at træet er. Kikkerten er et apparat, der tjener til at gøre synsvinklen større.

Den astronomiske kikkert består af to samlelinser,  $O$  og  $o$ , der er anbragt i enderne af et rør.  $O$  er en flad linse med stor brændvidde; den kaldes *objektivet*. Den danner et omvendt, formindsket, virkeligt billede ( $A_1 B_1$ ) af den fjerne genstand; det ligger i en afstand fra objektivet, der er lig dets brændvidde.

Om billedet  $A_1 B_1$  ved vi, at det forholder sig som en virkelig genstand, der sender stråler til højre; det kan derfor forstørres ved hjælp af en lup ( $o$ ), der kaldes *okularet*.  $A_1 B_1$  må

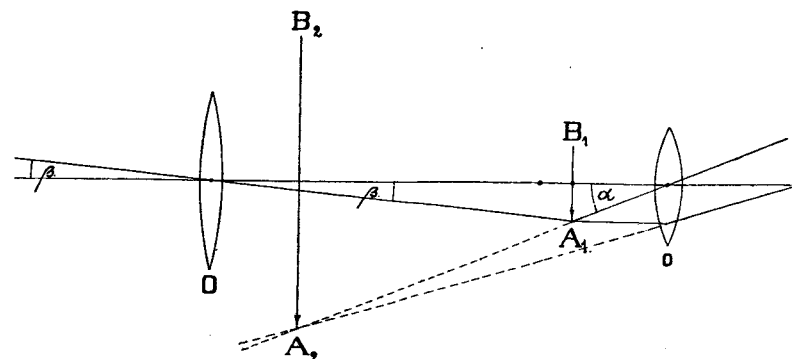


Fig. 179

ligge inden for okulalets brændpunkt. Efter brydningen i okulalet går strålerne til højre, som om de kom fra  $A_2 B_2$ . Afstanden fra øjet til  $A_2 B_2$  skal være lig den tydelige synsvidde; for at man kan opnå dette, er okulalet til at skyde frem og tilbage.

Hvorledes billedet konstrueres, fremgår af fig. 179.

Følg en vilkårlig stråle fra genstanden gennem  $A_1$  indtil den skærer okulalet, og find derefter dens retning efter brydningen.

Vinkel  $\beta$  er den fjerne genstands halve synsvinkel og  $\alpha$  den halve synsvinkel, hvorunder genstanden ses i kikkerten.

Da man i denne kikkert ser tingene omvendt, egner den sig kun til astronomisk brug. Den er opfundet af Kepler i året 1611.

## Newton's forsøg

I året 1704 offentliggjorde englænderen Newton følgende forsøg: I et mørkt værelse lod han et tyndt bundt stråler falde ind gennem et hul i væggen; de dannede en lille hvid plet på en med hvidt papir overtrukken skærm, som stod lige ud for hullet. Lod han strålerne træffe et glasprisme, brødes de opad; men i stedet for at se en hvid plet så han en aflang, farvet plet, som var rød forneden, violet foroven; farverne følger

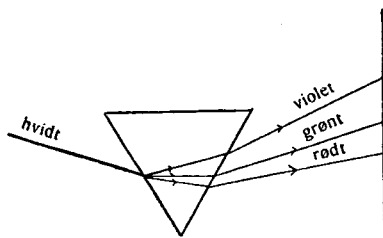


Fig. 180

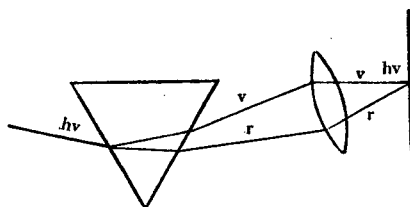


Fig. 181

efter hinanden i følgende orden: rødt, gult, grønt, blåt og violet. Den aflange plet kaldes et *solspektrum*.

Fig. 180 viser, hvorledes en hvid stråle spaltes af prismet.

Newtons forsøg viser, at *det hvide sollys indeholder stråler med forskellig farve og forskellig brydbarhed*; de kaldes røde stråler, gule stråler o. s. v. *De røde stråler brydes mindst, de violette mest*. De røde stråler brydes ikke alle lige meget og har ikke samme røde farve: *til en bestemt brydbarhed svarer en bestemt farve*. Det samme gælder for gult, grønt o. s. v.; *det hvide sollys indeholder altså uendelig mange farver*. Ved hjælp af en samlelinse mellem prismet og skærmen kan man atter samle strålerne til hvidt lys. Fig. 181 viser, hvorledes dette kan gøres.

## Farver

Vi kan efterligne Newtons forsøg ved at holde et glasprisme i et vindue, hvor der falder sollys ind. Ved at dreje prismet kan vi få spektret til at falde på loftet, på væggen eller på en

skærm, og blæser vi tobaksrøg ind mellem prismet og skærmen, bliver strålernes vej synlig. Holder vi et rødt glas foran prismet, forsvinder alle farverne undtagen den røde; rødt glas lader de røde stråler slippe igennem, men tilbageholder omtrent alle de andre. Holder vi et grønt glas foran prismet, bliver der kun grønt og noget rødt tilbage af spektret; glassets grønne farve er altså sammensat af grønt og noget rødt. *Et gennemsigtigt legemes farve beror på, hvilke stråler der kan gå gennem legemet*.

Når en uigennemsigtig ting, f. eks. en væg, er rød, tilbagekaster den de fleste røde stråler, men kun få af de andre. Er væggen brun, tilbagekaster den stråler af forskellig farve, som tilsammen danner væggens brune farve. En hvid ting tilbagekaster næsten alle lysstråler, en sort ting tilbagekaster næsten ingen. Grå genstande tilbagekaster omtrent lige meget af alle farver; tilbagekaster de lidt lys, er de mørkegrå, tilbagekaster de meget, er de lysegrå. *Uigennemsigtige legemer, der ikke er selvlysende, bliver synlige ved, at de tilbagekaster noget af det lys, der rammer dem. Legemets farve beror på, hvilke stråler det er i stand til at tilbagekaste*.

*En tings farve må desuden bero på beskaffenheden af det lys, der belyser tingen*. En tændt lampe udsender mange røde, gule og grønne stråler, særlig gule, men kun få blå og violette. Mørkeblåt tøj, som næsten kun kan tilbagekaste blå stråler, bliver sort ved lampelys, fordi dette næsten ingen blå stråler indeholder. Andre blå farver kan foruden blå tilbagekaste grønt i nogenlunde rigelig mængde; blå tøj kan derfor blive grønligt ved lampelys.

Når solen står op og går ned, er himlen rød, hvis der er mange vanddampe i luften; vanddampene lader sollysets røde stråler slippe igennem, men standser de fleste andre.

Af det sollys, der træffer jorden, kastes en del tilbage op i luften. Af det tilbagekastede lys kaster luften atter noget, særlig det blå, tilbage mod jorden; derfor er himlen blå.

## Strålevarme

*Lyse varmemstråler.* I solskin kan man mærke, at lysstråler varmer; går der en sky for solen, forsvinder varmen straks. Luften mellem skyen og jorden er ikke blevet opvarmet ved ledning, da ellers luften, som er en slet varmeleder, måtte holde sig varm i nogen tid. *Da lysstrålerne kan varme, kaldes de også varmemstråler;* de opvarmer ikke et legeme, når de kastes tilbage fra det eller går gennem det, men kun, når de bliver i det. I så fald siger man, at de *indsuges*.

Binder man et stykke sort tøj om beholderen på et termometer og hænger det i sollys, stiger det mere, end hvis man binder hvidt tøj om beholderen. Det hvide tøj tilbagekaster omtrent alle lysstrålerne; de kan altså ikke opvarme tøjet ret meget. Det sorte tøj *indsuger næsten alle lysstrålerne og bliver stærkt opvarmet. Om en ting opvarmes lidt eller meget af lysstråler, beror på tingens farve.* Hvorfor går man helst med lyst tøj om sommeren, hvorfor males tagene hvide på slagterier, og hvorfor maler man husets gavl sort, når der skal vokse frugttræer op ad den?

*Mørke varmemstråler.* Stiller man sig nær ved en meget varm kakkelovn, mærker man en hed, stikkende fornemmelse i huden; anbringer man en skærm mellem ansigtet og kakkelovnen, forsvinder denne fornemmelse straks, så at luften heller ikke er opvarmet i dette tilfælde; kakkelovnen udsender altså også varmemstråler. Skærmen kan godt være af glas, varmemstrålerne standses alligevel. *De varmemstråler, der udgår fra legemer, som ikke er selvlysende, kaldes mørke varmemstråler. De går gennem luften ligesom lysstrålerne, men kan næsten ikke gå gennem glas.* De kastes tilbage fra blanke metalflader ligesom lysstråler; kakkelovnsskærme overtrækkes derfor tit med stanniol på den side, der vender ind mod kakkelovnen.

De overflader, som kun i ringe grad *indsuger mørke varmemstråler*, – altså især blanke metalflader – *udstråler også kun mørke varmemstråler i ringe grad, mens de overflader – særlig ru overflader – der indsuger mørke varmemstråler godt, også*

*udstråler dem godt.* Et varmt legeme, der er beklædt med en blank, glat metalflade, f. eks. stanniol, afkøles altså langsomt, ligesom man ikke mærker nær så meget til strålevarmen fra en porcelænsovn som fra en ru og mørk jernkakkelovn.

Man har fundet, at der i spektret er *usynlige* stråler både uden for den røde og den violette ende; de kaldes *ultrarøde og ultraviolette stråler*. De ultrarøde stråler brydes mindre end lysstrålerne; de har kun svage kemiske virkninger, men varmer stærkt; det er dem, vi hidtil har kaldt mørke varmemstråler. De ultraviolette stråler brydes stærkere end lysstrålerne; de har stærke kemiske virkninger, men varmer kun lidt.

Opvarmer man et legeme, f. eks. et stykke jern, mere og mere, udsender det flere og flere mørke varmemstråler. Når jernet bliver over  $525^{\circ}$ , begynder det tillige at udsende røde stråler; det bliver rødglødende. Jo mere temperaturen stiger over  $525^{\circ}$ , jo flere stærkt brydbare stråler udsender det, indtil det til sidst bliver hvidglødende, nu udsender det stråler med alle brydbarheder. Alle faste eller smeltende stoffer bliver rødglødende ved  $525^{\circ}$ . Selvlysende legemer udsender altså både mørke og lyse varmemstråler.

## Spektroskopet

Apparater, der benyttes til at frembringe tydelige spektrer, kalder *spektroskoper*; i det følgende beskrives et af dem. Gennem en meget smal spalte *s* (fig. 182), der tænkes vinkelret på papirets plan, kommer der lys fra et eller andet lysende legeme, f. eks. fra en lampe, der står et stykke til venstre for spalten. Lyset træffer et prisme *P*, hvis brydende kant er parallel med spalten; men da de forskelligt farvede stråler, der findes i lampens hvide lys, brydes forskelligt, forlader de røde stråler prismet i en retning, som om de udgik fra *r*, mens de violette stråler, der brydes stærkere, forlader prismet, som om de udgik fra *v*. Figuren viser strålerne's gang. Holder man øjet på højre side af prismet, ser man altså i *r* og *v* et smalt rødt og et

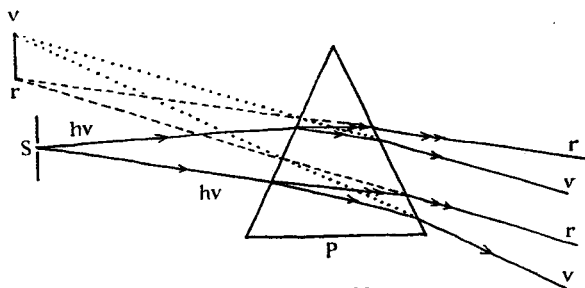


Fig. 182

smalt violet billede af spalten, der begge står vinkelret på papirets plan. Mellem  $r$  og  $v$  ses – vinkelrette på papirets plan – en række spaldebilleder, der skyldes de andre farver. Alle disse spaldebilleder danner tilsammen et spektrum af det lys, der udgår fra lampen.

Var spalten bred, ville de farvede billeder af den også være brede; de ville delvis dække hinanden, og spektret ville blive utydeligt.

Fig. 183 viser nærmere spektroskopets indretning. Spalten  $s$  sidder i den ene ende af et messingrør; det lys, der kommer ind gennem spalten, brydes af de to prismer 1 og 3, der begge vender den brydende kant opad og spreder lyset mere end eet prisme. Prismet 2 er af en stærkere brydende og stærkere spredende glassort end de to andre, vender den brydende kant nedad og bryder altså lysstrålerne opad. Herved opnås, at f. eks. de midterste stråler, de grønne, kommer ud af spektroskopet i en retning, der går omtrent i forlængelse af rørets akse, så at man kan sigte lige mod den genstand, hvis spektrum skal undersøges; dette spektroskop kaldes derfor *ligesigtende*. Samlelinsen  $S$  virker som lup for spalten.

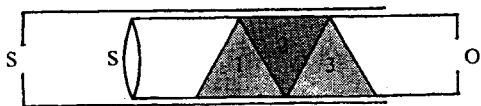


Fig. 183

*Det uafbrudte spektrum.* Rettes spektroskopet mod glødende, faste eller flydende legemer, fremkommer der et spektrum, som består af alle farver fra rødt til violet uden nogen afbrydelse. Jo varmere legemet er, desto tydeligere fremtræder den violette ende af spektret. En petroleumslampe eller en stearinlysflamme giver et uafbrudt spektrum, fordi det er de i flammen svævende, glødende kulparkler, der lyser.

*Spektret af lysende luftarter og dampe.* Anbringer man et lille stykke natrium eller et natriumsalt, f. eks. kogsalt, i en ikke lysende flamme (bunsens lampe, spritlampe), farves flammen gul. Rettes spektroskopet mod flammen, ses en gul linie, som i store spektroskoper viser sig at bestå af to gule linier tæt ved hinanden. Natriumdampe udsender altså kun gult lys. På samme måde fremstilles f. eks. spektrene af kalciumdampe og lithiumdampe ved at anbringe klorkalcium eller klorlithium i flammen; linierne skyldes udelukkende metaldampene, idet klorret ikke kan give spektrum på denne måde (den gule natriumlinie ses også, da der overalt findes mængder af kogsalt).

Der er dog mange metaller, f. eks. jern, hvis dampe ikke kan frembringes med en ikke lysende flamme, fordi dennes temperatur er for lav. I så fald fremstilles spektrene ved at lade elektriske gnister slå over mellem to spidser af vedkommende metal. Gnisten indeholder da metallet på dampform (da gnisten slår over gennem luften, ser man samtidig luftens spektrum).

Spektret af lysende luftarter frembringes ved at anbringe geislerske rør, der indeholder vedkommende luftart, lige uden for spalten og parallel med denne. Luften i røret bringes til at lyse, ved at man sender strømmen fra et induktionsapparat gennem det. Brintens spektrum indeholder f. eks. tre lyse linier: en rød, en grøn og en violet.

*Spektralanalysens hovedregel er denne: Glødende faste og flydende legemer giver et uafbrudt spektrum. Lysende luftarter og dampe giver linespektr; de indsuger stråler af samme farve, som de selv udsender.*

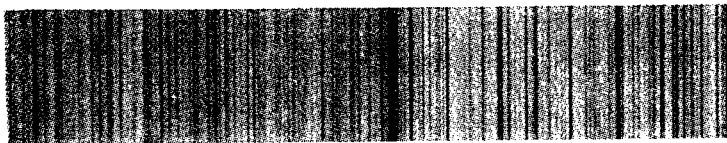


Fig. 184

Lysende dampe og luftarter giver altså linespektrer, der består af flere eller færre lysende linier på mørk grund; men samme stof kan under forskellige forhold give forskellige spektrer, hvis udseende f. eks. retter sig efter det lysende luft- eller damplags tykkelse, tæthed (tryk) og temperatur. Brint såvel som andre luftarter giver ofte spektrer, der består af utallige lyse linier, adskilte ved mørke linier og bredere mørke striber; sådanne spektrer kaldes *båndspektrer*. (Brintens spektrum består ofte af de tre stærkt lysende linier på svagere lysende baggrund; den lysende baggrund er brintens båndspektrum). *I meget tykke og tætte lag kan de luftformige stoffers spektrer i udseende nærme sig det uafbrudte spektrum.*

*Indsugningsspektrer.* Rettes spektroskopet mod en lysende flamme, og anbringes en rød, grøn eller blå glasplade mellem spektroskopet og flammen, forsvinder en del af farverne, idet der i spektret optræder brede, mørke striber; på denne måde kan man afgøre, hvilke farvestråler, der går gennem glaspladen. Sådanne spektrer kaldes *indsugningsspektrer*.

*Solspektret* (Fig. 184). Rettes spektroskopet mod klar himmelhvælvning, kommer det af luften tilbagekastede sollys ind i spektroskopet, og man ser et spektrum med alle farverne, men gennemfuret på tværs af tynde, sorte linier, som efter deres opdagelse, Fraunhofer, kaldes fraunhoferske linier; i store spektroskop ses flere tusinde.

*Betydningen af de fraunhoferske linier i solspektret.* Rettes spektroskopet mod en af de glødende kulspidser i en lille buelampe, ser man et uafbrudt spektrum. Kommer man med mellemrum små portioner af et natriumsalt (soda) på kulspidserne, fordampes saltet, kulspidserne bliver indhyllet i natrium-

dampe, og i spektret viser der sig nu en mørk linie (i store spektroskop to) i det gule på det sted, hvor natriumdampene alene ville frembringe en gul linie. Natriumdampene indsuger nemlig det gule lys, der kommer fra den glødende kulspids, og forhindrer det i at nå spektroskopet. De sender ganske vist selv gult lys til spektroskopet, men dette lys er meget svagt i sammenligning med det øvrige stærkt lysende spektrum, så at linien ser ud, som den var sort, skønt den i virkeligheden er svagt gul. (Den sorte linie viser sig smal og skarp eller bred og mere udvisket, efter som der tilfældigt i øjeblikket er få og følgelig varme eller mange og koldere natriumdampe om kulspidserne). På samme måde ville der optræde tre sorte linier i rødt, i grønt og i violet, hvis lyset fra kulspidserne måtte passere en lysende brintatmosfære, inden det nåede spektroskopet.

Af ovenstående forsøg drog en af spektralanalysens grundlæggere, Kirchhoff, 1860 den slutning, at solen er en fast eller flydende glødende masse, omgivet af en atmosfære af lysende luftarter og dampe, som er årsag til de fraunhoferske linier i solspektret; det er altså et indsugningsspektrum. Linierne viser, at sol-atmosfæren indeholder de fleste os bekendte grundstoffer på dampform. Da der i solens indre hersker en temperatur på flere millioner grader, er det udelukket, at dens indre kan være fast eller flydende. De sorte linier i solspektret viser ganske vist, at der inden for den forholdsvis kolde sol-atmosfære (ca. 6000°) må være stoffer, der giver et uafbrudt spektrum; men det høje tryk, der ligeledes findes i solens indre, er årsag til, at der kan dannes et uafbrudt spektrum.

## Radium

Radium er et metal, der har den mærkelige egenskab, at det udsender stråler uden ydre påvirkning. Strålerne kan påvises ved, at de sværter en fotografisk plade og ioniserer luften. Anbringes et radiumpræparat i nærheden af et ladet elektroskop,

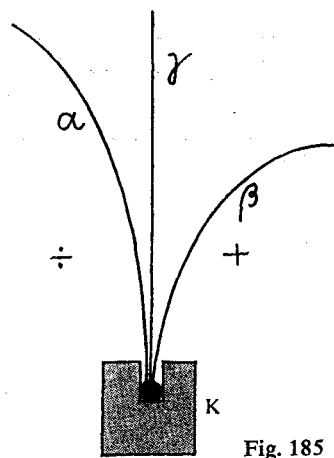


Fig. 185

vil det hurtigt udlades. Til påvisning af strålernes virkning på en fotografisk plade benyttes en lille blyklods (fig. 185) med en fordybning, hvori er anbragt lidt radium. Holdes den fotografiske plade vandret et stykke over *K*, viser der sig en plet på pladen. Anbringes et positivt elektrisk legeme til højre for strålerne, et negativt til venstre, får man tre pletter på pladen; deraf slutter man, at radium udsender tre arter stråler; de stråler, der tiltrækkes af det negative legeme, kaldes  $\alpha$ -stråler, de der tiltrækkes af det positive legeme  $\beta$ -stråler, og de der ikke påvirkes,  $\gamma$ -stråler. — En nærmere undersøgelse af strålerne har vist, at  $\alpha$ -strålerne er positiv ladede heliumatomer (heliumioner),  $\beta$ -strålerne er negative elektroner, altså de samme som dem der udgår fra katoden i et Crookes rør, og endelig  $\gamma$ -strålerne en slags røntgenstråler med stor gennemtrængningsevne.

Har man et radiumpræparat i et lukket glasrør, som i forvejen er pumpet lufttomt, vil man efter nogle få dages forløb opdage, at der er dannet to luftarter inde i røret; den ene luftart er *helium*, den anden er en tidligere ukendt luftart, man har kaldt *emanation*. Efter at man har skilt de to luftarter ad, kan man undersøge emanationen nøjere, og det viser sig da, at det er den tungeste luftart, man kender; den har et karakteristisk

liniespektrum og kan fortættes til vædske ved ca.  $\div 150^{\circ}$  C. Emanationen udsender  $\alpha$ -stråler, der sværter en fotografisk plade og ioniserer luften ligesom radium.

Opbevarer man emanation i et glasrør, viser det sig, at luftarten efter kort tids forløb er forsvundet, og i stedet for er der i røret en ringe mængde helium samt 3 nye grundstoffer, radium A, radium B og radium C; radium A udsender  $\alpha$ -stråler, radium B  $\beta$ - og  $\gamma$ -stråler. Omdannelsen fortsættes og ender med radium G, som er identisk med bly, der ikke udsender stråler.

Radioaktive stoffer lyser i mørke, grunden hertil er de udslyngede ioners og elektroners stød mod den omgivende luft eller mod faste stoffer, der findes i nærheden.

Ved studiet af de radioaktive stoffer er man blevet klar over, at et grundstof kan omdannes til et andet, radium omdannes til helium og emanation o. s. v. Et forhold man ikke tidligere har kendt noget til. Denne omdannelse sker med ulige hastighed, halvdelen af 1 g radium omdannes i løbet af ca. 1700 år, emanations halveringstid er ca. 4 døgn o. s. v.

Som tidligere nævnt består et atom af en kerne, hvorom der kredser en række elektroner. Kernen består af to slags partikler: *protoner*, der har positiv ladning, og *neutroner*, der er uelektriske. Antallet er forskelligt for de forskellige grundstoffer. Brintkernen består af 1 proton, heliumkernen har to protoner og 2 neutroner. Et neutralt atom indeholder lige så mange elektroner, som der er protoner i kernen.

At et grundstof forvandles til et andet sker ved, at protonernes antal i kernen ændres; dette sker uden ydre indgriben ved de radioaktive stoffer, men for andre stoffer ved, at man bombarderer atomet med  $\alpha$ -partikler, neutroner eller protoner. Særlig er neutroner virksomme, da de er uelektriske og derfor lettere trænger ind til kernen, der er positiv. Rammes en kerne af projektilet, vil kernen enten indfange dette eller spaltes; i begge tilfælde ændres kernens opbygning, og et nyt grundstof er dannet; samtidig ændres antallet af de elektroner, der omkredser kernen.

Kernen indeholder en ufattelig stor energimængde, og det er lykkedes at frigøre denne i grundstoffet uran.

*Atombomben.* Naturligt uran indeholder 2 forskellige atomtyper, begge har 92 protoner i kernen; men den ene type, U 238, har 146 neutroner, og den anden, U 235, har 143; ca. 0,7 pct. af en uranklump er U 235.

Bombarderes uran med neutroner og rammes en U 235-kerne, vil denne spaltes i to omtrent lige tunge grundstoffer, hvis visse betingelser er tilstede, samtidig frigøres 3 neutroner samt  $\gamma$ -stråling. Denne proces kaldes *fission*. De nye neutroner kan atter fremkalde fission o. s. v. Der er opstået en *kædereaktion*. Det er denne proces, der foregår i en atombombe, når den eksploderer.

Ved fission frigøres en uhyre energimængde i form af varme med en temperatur af flere millioner grader og et tryk på flere hundrede tusinde atmosfærer samt en kraftig  $\gamma$ -stråling, der fra bomben forplanter sig ud i rummet og forårsager død og ødelæggelser.

Det er nu lykkedes at bringe kædereaktionen under kontrol, hvorfor man bliver i stand til at benytte den ved fission frigjorte energi til fredelige formål. Den udviklede varmeenergi bringer vand i dampform, denne damp kan drive en turbine, der atter driver en vekselstrømsgenerator. Kraftværker af denne art anlægges rundt i landene, og de vil engang komme til at afløse de nuværende værker, når jordens kul og olie er opbrugt.

Stråling fra de radioaktive stoffer har stærk indvirkning på levende væv, holdes et radiumpræparat ind mod huden, bliver den rød og smerter som et brandsår. Celler, der er i stærk vækst, er særlig ømfindtlige over for radiumstråler, derfor har radiumstråling fået stor betydning ved bekæmpelse af kræftsvulster, der netop er celler, der vokser abnormt. Bestråles en kræftsvulst, vil kræftcellen som oftest holde op at dele sig, hvorved kræften hemmes i sin udvikling.

I stedet for radium benyttes nu radioaktive stoffer, der fremkommer ved atomsprængning; hvis man t. eks. bestråler aluminium med  $\alpha$ -stråler opstår radioaktivt fosfor.