

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*



TB Gl.

537 Ell

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

מחברת שם נחמד

LÆREBOG

I

MAGNETISME OG ELEKTRICITET.

AF

H. O. G. ELLINGER.

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole

KJØBENHAVN.

C. A. REITZELS FORLAG.

THIELES BOGTRYKKERI.

1887.

LÆRBOG

MAGNETISME OG ELEKTRICITET.

H. O. G. ELLINGER

TEKNISK BIBLIOTEK
København

KJØBENHAVN

C. A. REITZEL'S FORLAG

TEKNISKE HØJTSKOLEN

1887

INDHOLD.

Magnetisme.

	Side
I. Den magnetiske Tilstand (1—10)	1.
Naturlige og kunstige Magneter. — Nord- og Sydmagnetisme.	
— Magnetisk Magazin. — Magnetpol. — Magnetisk Moment. —	
Hypothese om Magnetismen. — Magnetisering. — Armering	
af Magneter. — Loven for magnetiske Paavirkninger.	
II. Jordmagnetismen (11—19)	14.
Deklation og Inklination. — Magnetometer, Kompas og	
Inklinatorium. — Jordmagnetismens Intensitet. — Magnetiske	
Kort. — De magnetiske Konstanter Variation.	

Elektricitet.

I. Den elektriske Tilstand (20—33)	24.
Elektricitet ved Gnidning. — Elektrisk Fordeling. — Elektro-	
skop. — Elektricitetens Sæde. — Loven for elektriske Paa-	
virkninger. — Elektrisk Tæthed og Potential. — Elektrometer	
— Tab af Elektricitet.	
II. Apparater til Frembringelse og Opsamling af Elek-	
tricitet (34—42)	46.
Elektrophor. — Elektrisermaskine. — Fordelingsmaskiner. —	
Kondensator. — Franklins Ladningstavle. Leydnerflaske. —	
Lanes Maaleflaske. — Kondensator-Elektroskop.	
III. Den elektriske Udladning (43—48)	56.
Den elektriske Gnist. — Udladningsphænomener. — Luft-	
elektricitet. — Lynaflederen. — Nordlys. — Elektricitetens	
Forplantningshastighed.	
IV. Berøringselektricitet (Galvanisme, Voltaisme) (49—60) 65.	
Berøring imellem faste Ledere. — Voltas Spændingslov. —	
Berøring imellem Metaller og Vædske. — Galvanisk Apparat.	
— Voltas Søjle. — Zambonis Søjle. — Berøring imellem	
Vædske. — Berøring imellem luftbeklædte Metaller og Væd-	
sker. — Konstante galvaniske Elementer.	

	Side
V. Den elektriske Strøm (61—66)	80.
Ohms Lov. — Kombination af flere Elementer. — Strømforgrening. Wheatstones Bro. — Strømvender.	
VI. Strømmens chemiske Virkninger (67—72)	89.
Vanddekomposition. — Voltameter. — Chemisk Enhed for Strømstyrken og Ampère. — Faraday's elektrolytiske Lov. — Galvanoplastik. — Galvanisation. — Den galvaniske Polarisation. — Accumulatorer.	
VII. Strømmens magnetiske Virkninger (73—75)	98.
Ørsted's Forsøg. — Multiplikatoren. Differentialmultiplikatoren. — Tangensboussole.	
VIII. Bestemmelse af den elektriske Strøms Konstanter (76—78)	102.
Elektrisk Ledningsmodstand. Siemens' Enhed og Ohm. — Rheostat og Rheochord. — Modstandsbestemmelser. — Bolometret. — Elektromotorisk Kraft.	
IX. Varme og Elektricitet (79—83)	107.
Varmeudvikling i Strømledningen. — Schönbeins Theori. — Elektrisk Belysning. — Thermoelektriske Strømme. — Peltiers Phænomen.	
X. Elektrodynamik (84—91)	116.
Elektriske Strømmes gjensidige Indvirkning. — En lukket Strømleders magnetiske Moment. — Solenoiden. — Ampères Theori om Magnetismen. — Rotationsapparater. — Webers Elektrodynamometer.	
XI. Elektromagneter. Diamagnetisme (92—96)	123.
Elektromagneter. — Elektrisk Ringeapparat. — Elektriske Uhre. — Elektrisk Telegraph. — Diamagnetisme og Paramagnetisme.	
XII. Absolute Enheder (97—98)	131.
Enheder for Længde, Tid, Masse, Kraft, Arbejde, Varme, Magnetisme, magnetisk Moment, Strømstyrke, Elektricitetsmængde, elektromotorisk Kraft, elektrisk Ledningsmodstand, Kapacitet.	
XIII. Induktion (99—116)	135.
Induktion ved elektriske Strømme og ved Magnetisme. — Extrastrømme. — Induktionsstrømme af højere Orden. — Induktion i Legemer. — Induktionsapparater. Ruhmkorffs Maskine. — Magneto- og dynamoelektriske Maskiner. — Den elektriske Kraftforplantning. — Telefonen. — Mikrofonen.	

MAGNETISME.

I. Den magnetiske Tilstand.

1. **M**agnetisme er en Naturvirksomhed, der ytrer sig ved Tiltrækninger og Frastødninger imellem de Legemer, som besidde den. Den er først funden i enkelte Stykker Magnetjærnsten ved Byen Magnesia i Lilleasien; de Jærnertser, der have Magnetisme, vise denne derved, at Jærnfilspaaner, der komme i Berøring med dem, hænge ved.

Mere end disse »naturlige Magneter« anvender man dog kunstige Magneter, o: Staal, i hvilket der — paa Maader, der senere skulle blive omtalte — er fremkaldt Magnetisme. Jærn og Staal kunne magnetiseres (s. Diamagnetisme og Paramagnetisme).

De kunstige Magneter kan man give hvad Form, man vil; i Reglen anvendes Stangformen (prismatisk eller cylindrisk) eller Hesteskoformen. Magnetismen er endvidere samlet langt bedre paa enkelte Steder i de kunstige Magneter end i de naturlige og kan gøres langt stærkere end i disse sidste.

Magnetismens Fordeling i en Staalmagnet sés bedst, naar man har sænket den i Jærnfilspaaner; disse hænge da stærkest ved i Magnetens to Ender, og derfra aftager Laget af Spaaner ind efter imod Midten; paa dette Sted finder der ingen Tiltrækning af Spaaner Sted, og det kaldes derfor Ligevægtsrummet. Magnetens to Ender kaldes Polerne.

2. Foreløbig var der ingen Forskjel imellem Polerne, men en saadan iagttages, naar man anbringer Magneten saaledes, at den kan dreje sig frit i en vandret Plan (hvilende paa en

Spids eller ophængt i en fin Traad); Magneten vil da altid søge hen til en bestemt Hvilestilling, om hvilken den udfører Pendulsvingninger, og i hvilken den staar omtrent i Retningen Nord til Syd — ikke nøjagtig: en lodret Plan igjennem Magneten i dens Hvilestilling, den magnetiske Meridianplan, danner med den astronomiske Meridian en Vinkel, som kaldes Deklinationen eller Misvisningen. Den Ende af Magneten, der søger mod Nord, kaldes Magnetens Nordende eller Nordpol, den, der søger imod Syd, dens Sydende eller Sydpol.

De Magneter, der anbringes paa de nævnte eller andre Maader for at være let drejelige, gjøres altid temmelig spinkle og kaldes derfor Magnetnaale; en Magnetnaal, der kun kan dreje sig i en vandret Plan, er en Deklinationsnaal.

Det vil nu altsaa i Reglen være let at finde en Magnets Nord- og Sydpol. At de Magnetismer, som findes i disse Poler, ere forskellige, hinanden modsatte, kan iagttages, naar man nærmer en Magnets Poler skiftevis til en Deklinationsnaals Poler; det viser sig da, at to Nordpoler frastøde hinanden, saavelsom to Sydpoler, medens en Nordpol tiltrækker en Sydpol og omvendt. Vi tale derfor om Nordmagnetisme og Sydmagnetisme; to ensartede Poler frastøde hinanden, to uensartede Poler tiltrække hinanden.

3. Naar et Stykke Jærn nærmes til en Magnetpol, virker denne inducerende, *s*: den gør Jærnet magnetisk, saaledes at der nærmest Magnetpolen kommer en med denne uensartet

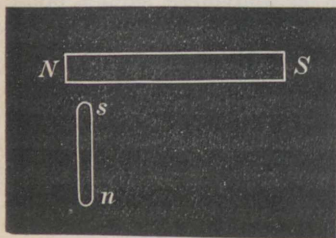


Fig. 1.

Pol, og fjærnest fra den en med den ensartet Pol; er Jærnet i Nærheden af en Nordpol *N*, faar det nærmest denne en Sydpol *s*, og fjærnest fra den en Nordpol *n*. At *n* er magnetisk, ses af den Tiltrækning, den udøver paa Jærnfilspaaner eller andre mindre Stykker Jærn, og at *n* er en

Nordpol, ses deraf, at den frastøder en Deklinationsnaals Nordpol.

Jo nærmere Jærnet er ved Magnetpolen, desto stærkere er den i Jærnet fremkaldte Magnetisme; fjærnes Magnetpolen,

bliver Jærnet atter umagnetisk, eller næsten umagnetisk, thi der bliver som Regel lidt »remanent« Magnetisme.

Naar Jærnet bringes til Berøring med Magnetpolen, vil denne kunne bære Jærnet, naar dette er tilstrækkelig let; denne Bæreevne hidrører fra Tiltrækningen imellem de to uensartede Magnetismer. At Jærnets Fasthængen ved Magnetpolen beroer paa, at det er blevet magnetisk, ses deraf, at naar man til *N* nærmer Sydpolen af en anden omtrent lige saa stærk Magnet, vil Jærnstykket falde af, men det er jo ogsaa blevet helt eller næsten umagnetisk, thi denne Sydpol vil ommagnetisere Jærnstykket.

Ogsaa i Staal vil en Magnetpol kunne fremkalde Magnetisme, men langt svagere, ligesom den heller ikke faar sin fulde Værdi strax, men voxer successive. Paa den anden Side vil Staal bevare sin Magnetisme, naar Magnetpolen, der fremkaldte den, fjærnes. Den Modstand, Staalet gjør imod at blive magnetiseret eller miste sin Magnetisme, kaldes dens Coercitivkraft, hvilken er desto større, jo mere hærdet Staalet er; i Jærn er den forsvindende lille.

4. Magnetiske Magaziner. Naar man lægger to lige lange Magneter sammen med de ensartede Poler til samme Side, virke de som én Magnet med større Styrke end de enkelte, men hvis Styrke dog ikke er lig Summen af de enkelte Magneters Styrke, fordi enhver af Magneterne vil søge at ommagnetisere den anden og altsaa svække den.

En Samling af Magneter med de ensartede Poler til samme Side kaldes et magnetisk Magazin. Vilde man danne et saadant ved at samle en Mængde Magneter i et Bundt og f. Ex. indeslutte dem i et Messingrør, saa vilde de inderste kun gjøre liden Nytte, da deres Magnetisme bliver svækket betydelig ved de Omliggendes Indvirkning, ja de kunne endog blive ommagnetiserede og gjøre da mere Skade end Gavn.

Man maa helst samle Magneterne saaledes, at deres Poler ligge lidt fra hverandre, hvilket kan ske derved, at Magneterne selv lægges lidt fra hverandre og ikke have nøjagtig samme Længde. Enderne af Magneterne fastgjøres da i Jærnstykker, som det er vist i Fig. 2. Er, det f. Ex. 3



Fig. 2.

Hestekomagnet, man vil samle, fastgør man dem ovenpaa hverandre og har sørget for, at den midterste er lidt længere i Grenene end de to

yderste; Krumningerne maa være ens.

5. **Magnetens Poler.** Vi have hidtil talt om Magnetens Poler som de to Ender af Magneten, altsaa de Steder, hvor Magnetismen virker stærkest. Vi skulle nu lidt nærmere definere Begrebet Magnetpol.

Betragte vi en Stangmagnet, saa findes der jo, saaledes som Tiltrækningen paa Jærnfilsaaner har vist os det, Magnetisme langs hele Længden, meget svagt ved Magnetens Midte, stærkest ved Enderne, Nordmagnetisme i den ene Halvdel, Sydmagnetisme i den anden. Vi betragte nu f. Ex. den nord-

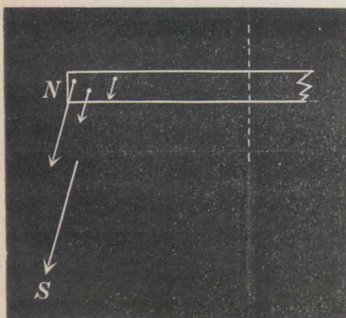


Fig. 3.

magnetiske Halvdel og tænke os en stærk, magnetisk Sydpol saa langt borte, at Retningerne til den fra Nordmagnetismens enkelte Elementer ere parallelle. Denne Sydpol virker da paa disse Elementer med parallelle Kræfter, hvis Størrelser hurtig aftage fra Magnetens Endeflade ind imod Midten; disse Kræfter faa derfor en med dem parallel Resultant, hvis Angrebspunkt

ligger lidt indenfor Endefladen, og dette Punkt er den egentlige Magnetpol. Beliggenheden af dette Punkt er uafhængig af Retningen hen til den nævnte Sydpol.

Magnetens magnetiske Midtlinie eller Axe er en Linie igjennem Magnetens to Poler.

Naar der altsaa er Tale om Virkninger paa Afstand, kunne vi tænke os Magnetismen i en Magnet samlet i dens to Poler, ligesom et Legemes Vægt er samlet i dets Tyngdepunkt; er Polens Magnetisme m og Magnetens halve Længde l (Af-

standen imellem Polerne $2l$), da er $2ml$ Magnetens magnetiske Moment. Man har

$$ml = m_1 l_1 + m_2 l_2 + \dots,$$

idet $m_1, m_2 \dots$ ere de frie Magnetismer langs hver af Magnetens to Halvdele, og $l_1, l_2 \dots$ dissers respective Afstande fra dens Midte.

6. De forskellige magnetiske Forhold kunne forklares ved den Antagelse, at ethvert Stykke Jærns eller Staals Smaadele ere selvstændige Magneter, Molekularmagneter, med to lige stærke Magnetpoler, en Nord- og en Sydpol. I et umagnetisk Stykke Jærn eller Staal ligge Molekularmagneterne uordnede imellem hverandre, vendende Polerne til alle Sider, saa at Virkningen udadtil bliver Nul; men i en Magnet ere de ordnede saaledes, at alle de ensartede Poler vende til samme Side, og i den Ende, imod hvilken Molekularmagneternes Nordpoler vende, have Magnetens Nordpol, og omvendt. I jo højere Grad denne Ordning er tilstede, desto stærkere er Magneten.

Molekularmagneterne efter en Magnets Længderetning skulle altsaa lejre sig saaledes, som Figuren viser. Det er aabenbart, at Molekularmagneterne ikke kunne være alle lige stærke, thi i saa Fald vilde to sammenstødende, modsatte Magnetpoler overalt ophæve Virkningen udadtil, og kun i de to Endefflader vilde der

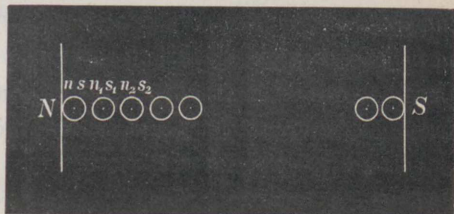


Fig. 4.

være Magnetisme med en saadan Virkning; men Erfaringen har vist, at der ogsaa langs Magneten er en magnetisk Tiltrækning. — Det er de inderste Molekularmagneter, som ere de stærkeste, og dette sés let. I Magnetens ene, venstre, Halvdel skal der overalt være Overskud af Nordmagnetisme, altsaa Magnetismen n_1 er stærkere end Magnetismen s , saa at Molekularmagneten $n_1 s_1$ er stærkere end ns ; endvidere maa n_2 være stærkere end s_1 , etc. De Overskud af Magnetisme,

eller de frie Magnetismer, vi faa langs denne Del af Magneten blive da

$$n, n_1 - s, n_2 - s_1 \dots \dots \dots,$$

idet tillige $n > n_1 - s > n_2 - s_1$ etc., saaledes som Erfaringen har vist. — Paa lignende Maade gaar det i Magnetens anden Halvdel.

I hosstaaende Figur er Magnetens Midtlinie AB taget til Abscisseaxe, de frie Magnetismer afsatte som Ordinator, og Kurven CDE giver da et Billede af Fordelingen af den frie Magnetisme langs Magneten. Fodpunkterne af de Vinkelrette paa AB fra Tyngdepunkterne af de to Arealer ACD og DBE ere Magnetens Poler.

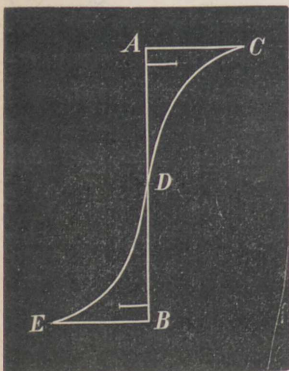


Fig. 5.

Naar vi tidligere have talt om Magnetismerne i en Magnet, er der underforstaaet frie Magnetismer.

Magnetiseringen skal altsaa bestaa i at dreje Molekularmagneterne, til de faa den omtalte Stilling; i Staal ere de vanskeligere at dreje end Jærn, men ere de én Gang blevne drejede, beholde de ogsaa deres nye Stillinger, medens Molekularmagneterne i Jærn let gaa om i andre Stillinger, naar den Kraft, der har drejet dem, ophører med at paavirke dem.

7. At denne Forklaring er højst rimelig, kan ses af en Række Phænomener, ligesom ogsaa det, der er sagt i det Foregaaende, stadfæster den.

a. Knækker man saaledes en Magnet over i Midten eller et andet Sted, faar man ikke to Magneter, hver med én Pol, men to selvstændige Magneter med modsatte Poler i Enderne, og fortsættes Delingen videre, gjentager det samme sig.

b. Maaden at magnetisere paa og Resultatet deraf bestyrker det ogsaa. Vi sé det saaledes af et Stykke Jærns Magnetisering, naar det nærmes til en Magnetpol; den med dennes Magnetisme uensartede kommer nærmest, den dermed ensartede fjærnest. Er Jærnet en lang Stang, kan der dog komme flere end to Poler (Følgpunkter).

Et Stykke Staal magnetiseres derved, at man stryger hen over det stadig i samme Retning med den ene Ende af en Magnet; er dette en Nordpol, faar Staalet en Sydpol der, hvor man under Strygningen løfter Magneten af. Under Bevægelsen har den nævnte Nordpol drejet Molekularmagneterne saaledes, at de alle vende Sydpolerne hen til den Side, imod hvilken Nordpolen bevæges. Dette var Enkeltstrøget. Har man to Magneter til sin Disposition kan Magnetiseringen gaa hurtigere, idet hver Halvdel af Staalet bestryges med sin Magnet (med modsatte Poler), saaledes at der altid stryges fra Midten og ud-efter (det adskilte Strøg).

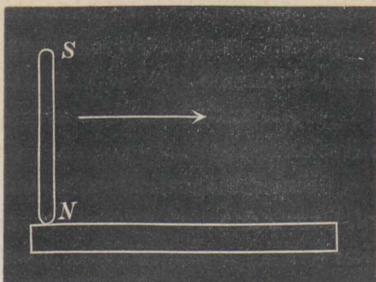


Fig. 6.

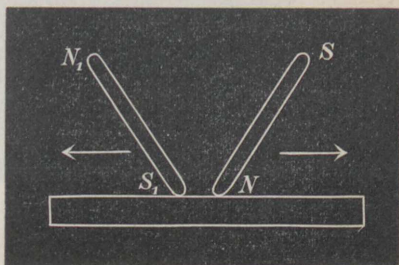


Fig. 7.

Ved Dobbeltstrøget benyttes ogsaa to Magneter med de uensartede Poler N og S_1 paa Staalet, og disse adskilte ved en lille Træklods. Træklodsen med de to Magneter bevæges fra Midten ud til den ene Ende af Staalet, tilbage til den anden Ende og saaledes videre frem og tilbage, og tages tilsidst af paa Midten. Alle Molekularmagneter dreje sig da, naar de komme imellem de nævnte to Magnetpoler, idet deres Sydende tiltrækkes af N og frastødes af S_1 , og deres Nordende tiltrækkes af S_1 og frastødes af N , medens Molekularmagneter, der befinde sig udenfor Rummet imellem N og S_1 , ikke drejes af disse, idet Paavirkningerne neutraliseres. Resultatet er, at Staalet bliver magnetiseret med en Nordpol i den ene Ende og en Sydpol i den anden Ende.

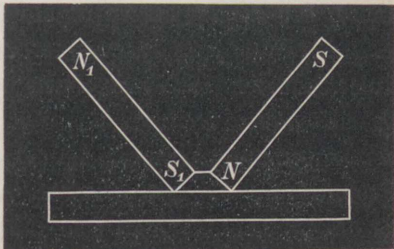


Fig. 8.

tatet viser ogsaa, at der kommer en Sydpol i den Ende af Magneten, imod hvilken N er rettet, en Nordpol i den Ende, imod hvilken S_1 er rettet.

Staalstykker af Hesteskoform magnetiseres paa lignende Maade.

Under Magnetiseringen bør man sørge for, at alle Steder af Overfladen bestryges. Det gavner at have Stykker af blødt Jærn liggende for Enderne af Staalet, medens dette magneti-

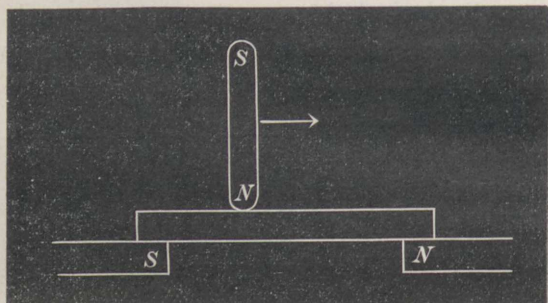


Fig. 9.

seres. Endnu bedre er det at lade Enderne af Staalet under Magnetiseringen hvile paa to modsatte Magnetpoler, som ville magnetisere det paa samme Maade som Strøget.

c. Magnetiseringen fremskyndes, naar Staalet bankes under Processen; derved opstaar der nemlig en Rystelse i det Indre, saa at Drejningen af Molekulerne lettes.

d. Følgende Forsøg stadfæster ogsaa Theorien om Molekularmagneter: Et Reagensglas fyldes tæt med Staalfilspaaner og lukkes med en Prop, hvorefter det stryges med en Magnetpol som nys omtalt, hvorved det bliver magnetisk; men tages saa Proppen af, og rystes Røret, hvorved Spaanerne faa andre Stillinger, gaar Magnetismen tabt.

e. Opvarmer man en stærk Magnet, taber den noget af sin Magnetisme, da Molekulerne ved den højere Temperatur blive lettere bevægelige; ved Afkøling faar den dog noget af Magnetismen igjen. Disse Tab af Magnetisme blive dog mindre og mindre ved gjentagne Opvarmninger og Afkølinger, til de tilsidst blive forsvindende, og Magnetismen er da permanent, og uaf-

hængig af Temperaturforandringer i mindre Maalestok. Ophedes en Magnet til Glødhede, mister den al sin Magnetisme. Omvendt faar man meget stærke Magneter ved at anbringe et Stykke hvidglødende Staal imellem to stærke, modsatte Magnetpoler, og medens det holdes i denne Stilling, afkøle det pludselig ved en Strøm af koldt Vand.

8. **Armering af Magneter.** Vil man bevare Magnetismen i en Magnet, f. Ex. fra Svækkelse eller mulig Ommagnetiseringen ved andre Magneters Indvirkning, maa man armere den, d. v. s. lade dens Poler være i Berøring med blødt Jærn, Armatur. Magnetpolen »tiltrækker« jo nemlig Magnetismen af modsat



Fig. 10.

Art i Jærnet, og denne Magnetisme virker igjen tiltrækkende tilbage paa Magnetpolens Magnetisme og forhindrer derved en mulig Svækkelse. To lige lange Stangmagneter NS og $N_1 S_1$ armeres bedst paa den i Fig. 10 viste Maade. En Hestekomagnet armeres med ét Stykke Jærn, Ankeret, der lægges til de to Poler og fastholdes af begge disse, tilmed da det magnetiseres paa samme Maade af dem begge.

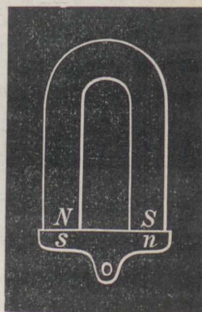


Fig. 11.

En naturlig Magnet armerer man ogsaa, da derved Magnetismen bedre samles. Paa de to Sider af Magneten, der have henholdsvis Nord- og Sydmagnetisme, lægges Plader af blødt Jærn, som ved Messingbaand holdes ind til Magneten; Pladerne have Fremspring forneden, og dér findes den armerede Magnets to Poler, saa at Ankeret lægges til dem.

9. **Magnetens Bæreevne.** Den Vægt, som en Magnetpol kan bære, angiver dens Bæreevne, og den findes

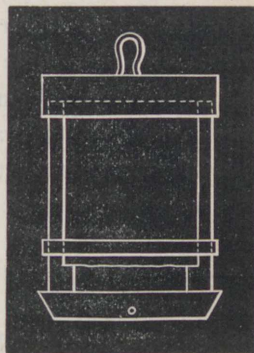


Fig. 12.

derved, at man lægger et Anker til Polen eller, hvis det er en Hestekomagnet og dennes Bæreevne skal findes, til begge Poler, og belaster dette Anker, indtil det netop falder af. Den Vægt, hvorved dette skér, lagt til Ankerets Vægt er den søgte Størrelse.

Vi kunne nu nok slutte, at jo større en Magnetpols eller en Magnets Bæreevne er, desto stærkere er dens Magnetisme, og det laa nær at sætte Magnetismen proportional med Kvadratroden af Bæreevnen, thi tænkes Magnetismen forøget til det dobbelte, fordobles ogsaa den i Ankeret fremkaldte Magnetisme, og Magneten skulde altsaa fastholde Ankeret med en fire Gange saa stor Kraft, men en Magnets Bæreevne afhænger f. Ex. ogsaa af Ankerets Form og Størrelse, saa at vi ikke i Bæreevnen kunne have noget Maal for Magnetismen.

Häcker har fundet, at en Hesteko- eller Stangmagnet, der var saa stærkt magnetiseret som overhovedet mulig, kunde bære $10,33\sqrt[3]{P^2}$ Kilogram, hvor P er Magnetens Vægt i Kilogram, men Formlen er dog ingenlunde paalidelig, thi Staalets Godhed er variabel, og man har fundet langt større Bæreevne.

Dertil kommer, at den Tid, i hvilken Belastningen har fundet Sted, er af ikke ringe Indflydelse. Ved successive at belaste en Magnet med visse Tidsmellemlum kan man i betydelig Grad forøge dens Bæreevne, men rives Ankeret saa fra, vender Magneten tilbage til den Bæreevne, det havde fra Begyndelsen af.

10. *To Magnetpoler paavirke (tiltrække eller frastode) hinanden med en Kraft, der er proportional med Produktet af deres frie Magnetismer og omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden imellem dem.*

Have de to Magnetpoler Magnetismerne m og m_1 , og ere de i Afstanden a fra hinanden, skal Kraften, hvormed de paavirke hinanden, altsaa være

$$k = \frac{m \cdot m_1}{a^2};$$

$m = m_1 = 1$ og $a = 1$ (Cm.) giver $k = 1$. Enhed for Magnetisme er altsaa den Magnetisme, som paavirker en anden ligesaa stor Mængde Magnetisme i 1 Centimeters Afstand med Enhed af Kraft (1 Dyn; s. Absolute Enheder).

For at paavise denne Kraftens Afhængighed af Afstanden, ville vi til en Begyndelse antage, at den er omvendt proportional med n 'te Potens af Afstanden, og da bestemme n . Dertil anstilles følgende Forsøg:

a. En Magnet NS lægges vinkelret paa den magnetiske Meridianplan i Nærheden af en meget lille Deklinationsnaal ns , saaledes at dennes Forlængelse træffer Midtpunktet af NS . Naalen ns vil da i Polerne blive paavirket af Kræfter fra Polerne i NS : N tiltrækker s , og S frastøder s med ligestore Kræfter

$$k = \frac{m \cdot m_1}{sN^n},$$

idet m er den frie Magnetisme i hver af Magnetens, m_1 i hver af Magnetnaalens Poler. Disse to Kræfter k give en Resultant ss_1 , der er bestemt af Proportionen

$$\frac{ss_1}{k} = \frac{NS}{sN},$$

$$\text{altsaa } ss_1 = k \cdot \frac{NS}{sN} = \frac{m \cdot m_1 \cdot NS}{sN^{n+1}}.$$

Idet vi nu sætte $NS = 2l$, og antage $sN = a$, Afstanden imellem Magnetens og Magnetnaalens Midtpunkt, faar man

$$ss_1 = \frac{m \cdot m_1 \cdot 2l}{a^{n+1}}.$$

Størrelsen $2ml$ er Magnetens magnetiske Moment; betegnes dette ved M , have

$$ss_1 = \frac{M \cdot m_1}{a^{n+1}}.$$

Naalens Nordpol n paavirkes af en ligesaa stor Kraft nn_1 til modsat Side, og disse Kræfter ville bevirke, at ns gjør et Udslag α ; naar Naalen kommer i Hvile, maa Resultanten af Kraften ss_1 , og den Kraft K , med hvilken Naalens Poler

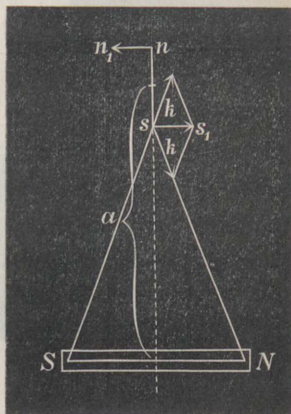


Fig. 13.

Polen n paavirkes af en lige saa stor Kraft til modsat Side, saa at Naalen vil gjøre et Udslag β , som er bestemt ved

$$tg \beta = \frac{k_3}{K} = \frac{n \cdot M \cdot m_1}{K \cdot a^{n+1}}.$$

Af de i de to Forsøg erholdte Resultater faar man

$$\frac{tg \beta}{tg \alpha} = n,$$

og Forsøgene give dette Forhold lig 2, hvorved Lovens Rigtighed er godtgjort.

Udslagene α og β bestemmes ved Spejlaflæsning paa en Maade, der vil blive nævnt ved Beskrivelsen af Magnetometret; ved at vende Magneten NS om, saa at Polerne skifte Plads, og ved at lægge NS paa modsatte Sider af Naalen, kan man faa en Række Værdier af α og β , af hvilke Middeltallet tages.

Udslagene α og β vise sig at være uafhængige af, hvor stærkt magnetisk Naalen er, saa at Kraften K , med hvilken Naalen indstiller sig i den magnetiske Meridian, maa indeholde m_1 som Faktor og kan altsaa sættes lig $H \cdot m_1$, thi derved bortgaar m_1 af Udtrykkene for $tg \alpha$ og $tg \beta$, der da blive til

$$tg \alpha = \frac{M}{H \cdot a^3} \text{ og } tg \beta = \frac{2M}{H \cdot a^3}.$$

Den Kraft, med hvilken Polerne i den bevægelige Naal i den første Stilling bleve paavirkede, er altsaa

$$ss_1 = n n_1 = \frac{M m_1}{a^3},$$

hvorved Naalen faar et Drejningsmoment, der er lig denne Kraft multipliceret med Naalens Længde; er denne $2l_1$, bliver Momentet

$$\frac{M m_1}{a^3} \cdot 2l_1 = \frac{M M_1}{a^3},$$

hvor $M_1 = 2 m_1 l_1$ er den bevægelige Naals magnetiske Moment.

Er $M = M_1$, bliver Drejningsmomentet $\frac{M^2}{a^3}$, og sættes $M = 1$

og $a = 1$, bliver Drejningsmomentet 1, saa at den Magnet har Enhed af magnetisk Moment, som meddeler en anden Magnet med samme Moment i den nævnte Stilling og i Enhed af Afstand derfra et Drejningsmoment, der er 1, altsaa et Mo-

ment lig det, som 1 Dyn udøver paa Armen 1 Cm.; er Afstanden lig a imellem de to Magneter med Enhed af magnetisk Moment, vil Drejningsmomentet være $\frac{1}{a^3}$.

II. Jordmagnetismen.

11. Vi tænke os en Magnetnaal ns , der er frit drejelig om sit Tyngdepunkt, paavirket af en Magnet NS , hvis Poler ere saa langt borte i forskellige Retninger fra Naalen, at Retningerne fra Naalens to Poler til hver af Magnetens Poler ere parallelle. S tiltrækker da

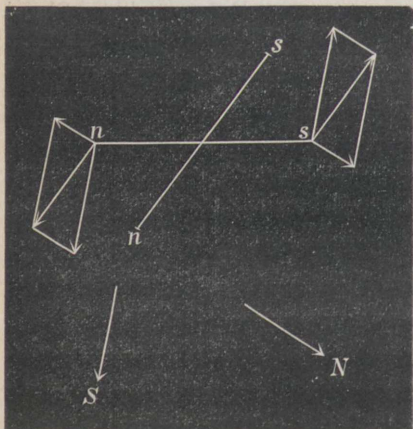


Fig. 16.

n og frastøder s med ligestore, parallelle Kræfter, N tiltrækker s og frastøder n ligeledes med parallelle, ligestore Kræfter. Resultanterne af de paa n og s virkende Kræfter blive ligestore og parallelle, saa at de ville dreje Naalen om dens Midtpunkt til en Stilling, der er parallel med disse Resultanter, men nogen fremadskridende Bevægelse fremkalde de ikke.

Overalt paa Jorden, hvor vi lade en Magnetnaal dreje sig frit om sit Tyngdepunkt, vil den stille sig i en bestemt Stilling, og bringer man den ud fra denne, vil den søge tilbage dertil.

Jorden forholder sig altsaa som en stor Magnet, ogsaa saaledes, at den virker magnetiserende. Alle lodrette Jærnstykker (Kakkelovne, Vindueshængsler etc.) ere altid lidt magnetiske; stærkest viser denne Magnetisering sig i en Jærnstang, der holdes i den Retning, hvori en frit bevægelig Naal som nys nævnt stiller sig.

En Naal som den nævnte stiller sig i en bestemt lodret Plan, den magnetiske Meridianplan, der danner en vis Vinkel

med den astronomiske Meridianplan, Deklinationen eller Misvisningen, og i denne lodrette Plan stiller den sig med en bestemt Heldning, Inklinationen, imod Horisontens Plan.

Er en Magnetnaal ophængt saaledes, at den kun er drejelig i en vandret Plan, kaldes den, som før nævnt, Deklinationsnaal; en Naal som den nys nævnte er derimod en Inklinationsnaal. (I en fin Silketraad hænger en Metalgaffel med lodrette Grene, og i disse er der Lejer for en vandret Axe igjennem Naalens Tyngdepunkt).

12. Det er altsaa aabenbart, at Jordmagnetismen paavirker en Magnetnaals to Poler med ligestore, parallelle Kræfter i modsatte Retninger, hvilke ere bestemte ved Inklinationsnaalens Retning. Enhver af dem kan opløses i en horisontal og en vertikal Komposant. En Deklinationsnaal indstiller sig alene som Følge af den horisontale Komposant, thi den vertikale er vinkelret paa Naalens Drejningsplan; det er i § 10's Slutning vist, at denne horisontale Komposant er proportional med den frie Magnetisme m i Polen, og vi have sat den lig $H.m$, hvor H er den Kraft, med hvilken Jordmagnetismens horisontale Komposant paavirker Enhed af Magnetisme. Betegne vi hele Jordmagnetismens Virkning paa Enhed af Magnetisme ved I , den vertikale Komposants Virkning ved V , har man, idet Inklinationen er i ,

$$\sin i = \frac{V}{I}, \cos i = \frac{H}{I}, \operatorname{tg} i = \frac{V}{H}.$$

Det er aabenbart, at Jordens magnetiske Nordpol maa findes paa den sydlige Halvkugle af Jorden, den magnetiske Sydpol paa den nordlige Halvkugle.

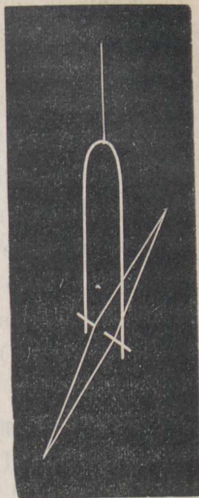


Fig. 17.

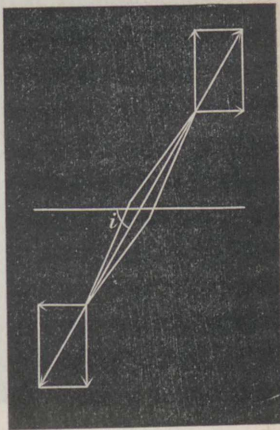


Fig. 18.

13. At Jordmagnetismen paavirker en Magnetnaals Poler lige stærkt til modsatte Sider, kan sés deraf, at en Traad, i hvilken der er ophængt en Deklinationsnaal, hænger fuldstændig lodret, og dersom man lægger en Magnet paa et Stykke Kork, som svømmer paa Vand, vil Korken kun drejes rundt, til Naalen befinder sig i den magnetiske Meridianplan, men anden Bevægelse fremkalder Jordmagnetismen ikke.

Anbringes Inklinationsnaalen saaledes, at den kun er drejelig i en lodret Plan vinkelret paa den magnetiske Meridian (Metalgafflens Grene holdes i den magnetiske Meridianplan), vil Naalen stille sig lodret, da Jordmagnetismens horisontale Komposant i saa Fald ingen Indflydelse har paa Naalens Stilling.

I det Følgende skal det vises, hvorledes Jordmagnetismens Konstanter — Deklination, Inklination og Intensitet — kunne bestemmes.

14. Bestemmelse af den magnetiske Deklination (Misvisning). Hertil benyttes Gauss's Magnetometer. Dette

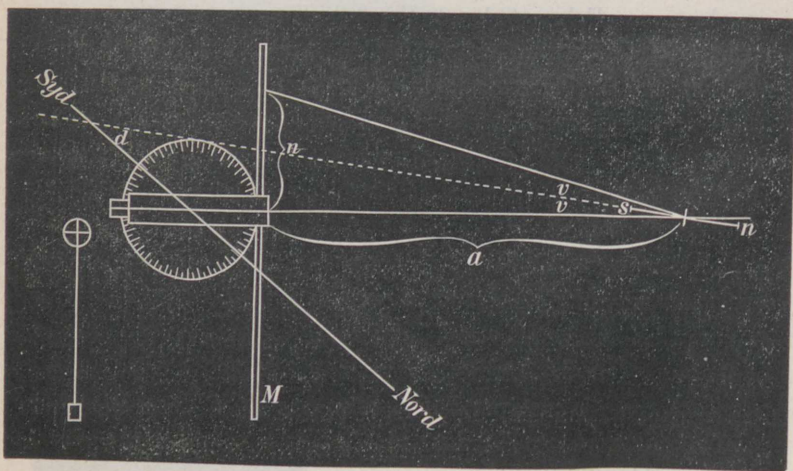


Fig. 19.

bestaar af en Theodolith (vandret, inddelt Kreds, hen over hvilken der kan drejes en Kikkert med Traadkors); omtrentlig vinkelret paa den magnetiske Meridian er der anbragt en Maalestok *M* lidt under Theodolithen. I Kikkertens optiske Axe, naar Kikkerten stilles vinkelret paa *M*, er Ophængningen

for en vandret Magnet, vinkelret paa hvilken der er befæstet et lille plant Spejl. Fra Objectivets øverste Punkt hænger der en Lodsnoer ned, saaledes at denne i Kikkerten sés over ét med Traadkorsets lodrette Traad. Man vil nu i Kikkerten, der er stillet vinkelret paa Maalestokken og rettet imod Spejlet, sé Spejlbilledet af en lille Del af Maalestokken, og man iagttager den Inddeling, der dækkes af Traadkorset; Afstanden imellem denne Inddeling og den, foran hvilken Lodsnoren hænger, være n . Idet Vinklen imellem Kikkertens optiske Axe og Magnetens Retning (Indfaldsloddet paa Spejlet) betegnes ved v , har man

$$\operatorname{tg} 2v = \frac{n}{a},$$

hvor a er Afstanden fra Maalestokken til Magnetens Midtpunkt; af dette Udtryk bestemmes v .

[Man vil let sé, hvorledes Størrelsen af et Udslag, saaledes de i § 10 nævnte Vinkler α og β , kunne bestemmes med stor Nøjagtighed med dette Instrument].

Dernæst drejes Kikkerten hen i den iforvejen bestemte, astronomiske Meridian, og den tilbagelagte Vinkel α iagttages paa den inddelte Kreds. For Deklinationen d haves da

$$d = \alpha \pm v,$$

$+$ eller $-$ efter den Retning, hvori Kikkerten skal drejes hen til den astronomiske Meridian.

Magneten er indrettet paa den Maade, at den kan vendes om, saaledes at den nederste Side kommer øverst, den øverste nederst; faar man derved en anden Værdi af v , hidrører dette fra, at Spejlet ikke var nøjagtig vinkelret paa Magneten, og den Værdi af v , der indsættes i Udtrykket for d , er i saa Tilfælde Middeltallet af de to ved Forsøget fundne.

Nord-Syd Retningen paa et Sted findes ved Hjælp af et Kompas, idet man tager Hensyn til den paa Stedet værende Misvisning. Kompasset bestaar af en paa en Spids hvilende Deklinationsnaal, paa hvis Overside der er befæstet en vandret Skive (Vindrose), der er inddelt med »Streger»: 32 »Helstreger», 8 i hver Kvadrant; midt imellem to Helstreger 1 »Halvstreg«, og imellem en saadan og en Helstreg

en »Kvartstreg«; magnetisk Nord, Syd, Vest og Øst ere angivne derpaa. Kompasset anvendes meget tilføes, og for at

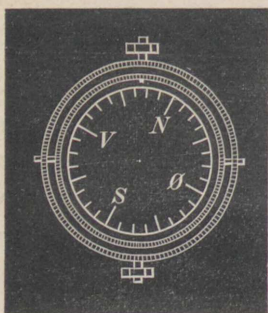


Fig. 20.

være upaavirket af Skibets Bevægelser, er det anbragt i en Cardansk Ophængning: Naalen med Skiven anbringes i en Kasse med Glaslaag, som ved to diametralt modsatte Tapper hvile i en Ring, der igjen kan vugge om en vandret Axe, der er vinkelret paa Linien imellem de nævnte Tapper, og som hviler i to faste Taplejer. Paa Kassens Inderside er der en lodret Streg, og paa Skibet stilles Kassen saaledes, at Radian ud til denne Streg

ligger i Kjølens Retning; ved at iagttage denne Stregs Stilling overfor Skivens Inddelinger og kjende Misvisningen finder man den Retning, i hvilken Skibet sejler.

15. Bestemmelse af den magnetiske Inklinasjon (Heldning). Hertil benyttes Meyersteins Inklinatorium. En

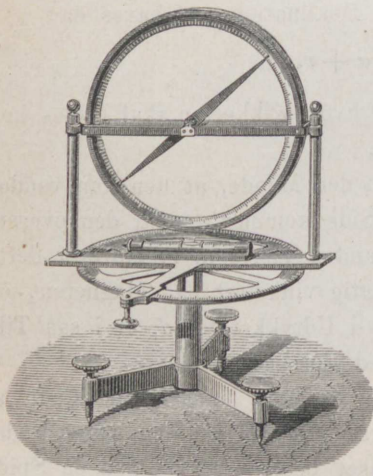


Fig. 21.

lodret, inddelt Kreds er anbragt i en lodret Metalramme, der bærer to vandrette Metalstænger, en paa hver Side af Kredsen; i deres Midte er der en Udskjæring, og i denne er der lagt et Agatprisme med en opadvendende, skarp Kant; disse to Stykker Agat ere Lejer for den vandrette Axe igjennem Inklinationsnaalens Tyngdepunkt; Axen ligger i Kredsens Centrum. Rammen med den inddelte Kreds bæres af en lodret Opstander, der er drejelig om sin

Axe, hvilken forlænget gaar igjennem den lodrette Kreds's Centrum. Saaledes kan Naalen drejes hen i en hvilken-

somhelst lodret Plan; Størrelsen af denne Drejning kan aflæses paa en vandret, inddelt Kreds. Ved Stilleskruer bringes Instrumentet i den rette Stilling til Horisonten.

Skal Inklinationen maales, maa man først finde den magnetiske Meridianplan. Man drejer da Rammen om den lodrette Axe, indtil Naalen stiller sig nøjagtig lodret, og fra denne Stilling drejes Rammen 90° om samme Axe (Aflæsningen skér paa den vandrette Kreds), hvorved Naalen kommer til at kunne dreje sig i den magnetiske Meridianplan (13). Naar Naalen er kommen i Ro, aflæses Inklinationen paa den lodrette Kreds, idet Nulpunkterne for Gradeinddelingen her ere Endepunkter af den vandrette Diameter i Kredsen. Ved Aflæsningen kan der være følgende Kilder til Fejl:

a) Naalens Drejningsaxe gaar ikke nøjagtig igjennem Kredsens Centrum; man aflæser da begge Spidsers Stilling og faar den rette Værdi

$$i = \frac{i_1 + i_2}{2}.$$

b) Naalens geometriske Midtlinie (Linien igjennem Naalens Spidser) falder ikke nøjagtig sammen med den magnetiske Midtlinie (Linien igjennem Magnetpolerne); man lægger da Naalen om, saaledes at den vandrette Drejningsaxes to Dele bytte Taplejer, og Aflæsningen foretages igjen, hvorefter man tager Middeltallet af de fundne Værdier.

c) Den vandrette Drejningsaxe gaar ikke nøjagtig igjennem Naalens Tyngdepunkt. Naalen ommagnetiseres da, og de nævnte Iagttagelser gjentages. Middeltallet giver den virkelige Værdi af Inklinationen.

16. **Bestemmelse af Jordmagnetismens Intensitet.** Denne Bestemmelse skér ved først at bestemme den horizontale Komposant H , med hvilken Jordmagnetismen paavirker Enhed af Magnetisme. Vi have tidligere fundet (10, a), at det Udslag α

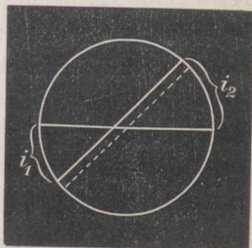


Fig. 22.

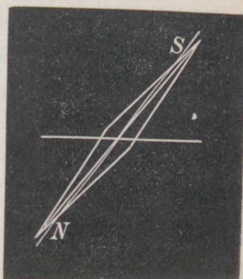


Fig. 23.

af en Deklinationsnaal, der fremkaldes af en Magnet, som er lagt vinkelret paa den magnetiske Meridianplan med sit Midtpunkt i denne er bestemt ved

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M}{Ha^3},$$

hvor M er Magnetens magnetiske Moment, og a Afstanden imellem Magnetens og Deklinationsnaalens Midtpunkter; α og a maales. En anden Ligning imellem M og H faaes saaledes: Magnetten ophænges i vandret Stilling i en fin Silketraad; den bringes lidt ud af sin Stilling, og Svingningstiden bestemmes; for denne have

$$t = \pi \sqrt{\frac{U}{H \cdot M}},$$

hvor U er Magnetens Inertimoment med Hensyn til den lodrette Linie igjennem Ophængningspunktet; det antages bekjendt. Man kan af disse to Ligninger finde H (og M) og derefter, naar Inklinationen kjendes, Jordmagnetismens Intensitet og dens vertikale Komposant ved Relationerne

$$I = \frac{H}{\cos i}, \quad V = H \cdot \operatorname{tg} i.$$

H er hos os omtrent lig 0,15 Dyn.

17. Magnetiske Kort. Over Jordens magnetiske Forhold faar man det bedste Overblik ved at bestemme Deklination, Inklination og Intensitet paa en Mængde Steder, spredte over Jordens Overflade, og afsætte de fundne Resultater paa et Landkort. Idet man nu kan antage, at Værdierne forandre sig kontinuerlig, kan man tegne følgende magnetiske Linier:

Isogoner eller isogoniske Linier ere Kurver igjennem Steder med samme Deklination; Hovedretningen er fra Nord til Syd, men de følge kun undtagelsesvis de astronomiske Meridianer. Alle Isogoner skjære hverandre i Jordens to Poler, thi dér er der ingen bestemt Nord-Syd Retning, medens Deklinationsnaalen har en bestemt Stilling, og tillige skjære de hverandre i to andre Punkter, hvor Naalen ingen bestemt Retning har, fordi Jordmagnetismen dér virker lodret; disse Steder ere Jordens magnetiske Poler, den sydmagnetiske ved Boothia Felix ($70^{\circ} 5' \text{ n. B.}, 96^{\circ} 46' \text{ v. L. fra Greenwich}$) og den nordmagnetiske Pol Sydvest for Nyholland (cr. $72^{\circ} 35' \text{ s. B.}, 152^{\circ} 30'$

ø. L. efter Beregning af Gauss). Agonen er Kurven igjennem Stederne med Deklinationen Nul; den gaar igjennem de østlige Dele af Nord- og Sydamerika og paa den anden Side af Jorden omtrent langs Ural, igjennem Lilleasien, afskærer Arabien fra Asien, bøjer af i østlig Retning og gaar ned igjennem Nyholland. Den deler saaledes Jorden i to Dele, hvoraf den, der indeholder Atlanterhavet, har vestlig, den, der indeholder det store Ocean, østlig Deklination. Dog findes der en Strækning i det sydøstlige Sibirien, nordøstlige China og en tilstødende Del af det store Ocean, hvor Deklinationen er vestlig.

Isokliner eller isokliniske Linier ere Kurver igjennem Steder med samme Inklinationsvinkel. Aklinen eller den magnetiske Æquator er en Linie omkring Jorden, igjennem Steder med Inklinationsvinklen Nul; den gaar i Nærheden af Æquator, skjærende denne i to Punkter, det ene i Guinea-bugten, det andet i det store Ocean; i den gamle Verden gaar den Nord for Æquator (indtil 18° n. B.), i den nye Verden Syd for Æquator (indtil 15° s. B.). Nord for Aklinen holder Inklinationsnaalen med Nordenden nedad, Syd for med Sydenden nedad, og desto mere, jo længere man fjærner sig fra Aklinen. Isoklinerne have Hovedretningen Vest-Øst, men afvige desto mere herfra, jo nærmere man kommer de magnetiske Poler; i disse er Inklinationsvinklen 90° .

Isodynamer eller isodynamiske Linier ere Kurver igjennem Steder med samme Intensitet; deres Hovedretning er ligeledes Vest-Øst. Ved Aklinen er Intensiteten mindst og kun halvt saa stor som Intensitetens Maximumsværdi; dette Maximum haves dog ikke lige i de magnetiske Poler, ja paa den nordlige Halvkugle gives der endog to Steder, ét i Nærheden af den magnetiske Sydpol og ét i Sibirien, med Maximum af Intensitet.

Endelig haves Kort med magnetiske Meridianer, hvorved forstaaes Linier igjennem Steder med samme Stilling i Rummet af Deklinationsnaalen, saa at denne, naar den flyttes langs en Meridian, bevarer sin Stilling i Rummet, hvorimod Deklinationens Værdi i Reglen forandrer sig under denne Bevægelse.

18. Den første Forklaring af Jordmagnetismen gik ud paa, at Jorden i sit Indre har en lille Magnet med Polerne lige langt paa begge Sider af Centrum; men heraf vilde følge, at Aklinen var en Storcirkel, hvis Plan stod vinkelret paa denne Magnet, at Isokliner og Isodynamer vare Lillecirkler, parallelle med Aklinen, og at Agonen var en Storcirkel paa Jorden, hvis Plan var bestemt ved at skulle indeholde Jordens og den nævnte Magnets Axe; da imidlertid ingen af disse Dele finder Sted, maa denne Forklaring forkastes.

Dernæst tænkte man sig, at der i Jordens Indre var to eller flere ulige stærke Magneter i forskellige Stillinger, men heller ikke denne Antagelse giver Resultater, der svare til de virkelige Forhold. Dertil kommer, at Jordmagnetismens Konstanter ere underkastede Variationer. I Elektricitetslæren vil der blive givet en nogenlunde fyldestgørende Forklaring af Jordmagnetismen.

19. **De magnetiske Konstanter Variation.** Paa ethvert Sted af Jorden sker der Forandringer med Deklinationen, Inklinationen og Intensiteten. Disse Forandringer ere dels periodiske, dels pludselige.

I Kjøbenhavn er Deklinationen vestlig, α : Nordenden har en Afvigelse fra den astronomiske Meridian mod Vest; dens Værdi er cr. $11\frac{1}{2}^{\circ}$ i 1886. Før 1660 var Deklinationen østlig, i 1660 var den Nul, og derefter blev den vestlig, gradvis voxende, indtil den cr. 1811 havde naaet sin største Værdi, $18\frac{1}{2}^{\circ}$, hvorpaa den aftog og aftager nu aarlig cr. $8'$.

Deklinationen er ogsaa underkastet daglige Forandringer: Nordenden vandrer mod Vest fra Kl. 8 Morgen til cr. 1 Efttrmd., derefter tilbage mod Øst til Kl. 8 Aften, saa atter i 3 Timer ganske lidt mod Vest og Resten af Natten tilbage mod Øst. Disse daglige Forandringer have en elleveaarig Periode, der er sammenfaldende med Solpletternes: hvert 11te Aar er der Maximum af Solpletternes Antal og af Deklinationsnaalens daglige Bevægelers Størrelse, cr. 4 Aar senere er der Minimum af begge, men om nogen Sammenhæng imellem disse Phænomener véd man intet. Disse daglige Bevægelser kunne naa til

Udslag paa 9', men ere ellers forskjellige paa de forskjellige Steder af Jorden, mindst ved Æquator.

Inklinationen og Intensiteten ere ligeledes underkastede regelmæssige Forandringer; i Europa aftager den første, medens den sidste voxer.

Hvad de pludselige Forandringer i Jordmagnetismen angaa, saa vise de dog hyppig den Regelmæssighed, at de optræde i bestemte Aarstider m. m. De ledsage gjerne Jordskjælv, Nordlys, vulkanske Udbrud etc.

ELEKTRICITET.

I. Den elektriske Tilstand.

20. **T**hales (c. 600 f. C. F.) er den første, der har vist Existensen af den Naturvirkksomhed, vi kalde Elektricitet; den viste sig derved, at lette Legemer som Haar, Papirstumper m. m. bleve tiltrukne af gnedet Rav (gr. Elektron). En Adskillelse imellem dette Phænomen og de magnetiske Tiltrækninger og Frastødninger blev først gjort af den engelske Læge Gilbert, Livlæge hos Dronning Elisabeth. Indtil han ved sine Forsøg grundlagde Elektricitetslæren, vare foruden Rav kun to Legemer bekendte som besiddende den samme Egenskab. Gilbert viste nu, at et meget stort Antal Legemer ved Gnidning kom i Besiddelse af den samme Egenskab, bleve elektriske (Svovl, Harpax, Schellak, Ædelstene, Glas o. s. v.), og at de da kunde tiltrække hvilkesomhelst smaa, faste Legemer og tillige Vædskedraaber, hvorimod han ikke blev opmærksom paa elektriske Frastødninger. Derimod iagttog han, hvad der nu er let forklarlig, at Virkningerne vare langt stærkere i tør end i fugtig Luft.

De elektriske Frastødninger bleve paaviste af Otto von Guericke, som konstruerede den første Elektrisermaskine; denne bestod ganske simpelt af en Svovlkugle paa en 5 Tommers Diameter, som kunde drejes hurtig rundt om en Axe igjennem Centrum. Blev Kuglen under Omdrejningen gnedet med Haanden, blev den stærkt elektrisk og kunde saa anvendes til Forsøg. Ved disse iagttoges det, at et Legeme, som var tiltrukket af Kuglen og havde været i Berøring med den, der-

efter blev frastødt og først efter at være berørt med en Finger eller nærmet til en Flamme atter lod sig tiltrække; endvidere vistest det, at et Legeme, som var gnedet, fremkaldte Elektricitet i et andet, hvormed det blev bragt i Berøring.

Gray fortsatte i den første Del af det 18de Aarhundrede Gilberts Forsøg og fandt et stort Antal Legemer, som ved Gnidning bleve elektriske, men desuden, at alle Legemer, der bleve dette, medens de holdtes i Haanden, ikke vare Forplantere, Ledere for Elektriciteten, thi i saa Tilfælde vilde den ved Gnidningen fremkaldte Elektricitet strax vandre igjennem det menneskelige Legeme ned i Jorden.

Man leledes derved til at undersøge hvilke Legemer, der vare istand til at lede Elektriciteten, og hvilke ikke. Denne Forskjel er dog ikke kvalitativ, men kun kvantitativ, thi i Virkeligheden lede alle Legemer Elektriciteten, men denne Ledning kan være yderst svag, saa svag, at man vanskelig kan bemærke den; saadanne Legemer kalder man Isolatorer, fordi man maa omgive en god Leder med dem, naar den skal bevare sin Elektricitet, eller naar man ved Gnidning vil fremkalde Elektricitet i den; de isolere da Lederen fra Jorden; denne forholder sig som en i Forhold til alle Legemer paa Jorden uhyre stor Leder.

Hyppig henfører man Legemerne i den nys nævnte Henseende til 3 Klasser: Ledere, Halvledere og Isolatorer (slette Ledere), men Overgangene imellem disse Afdelinger ere ingenlunde skarpe. Glas f. Ex. er saaledes tilmed under almindelige Forhold en Isolator, men opvarmet til 3—400° C. bliver det en Leder, og Luftarter undergaa ved Glødning (Flammer) den samme Forandring.

Man henregner til Ledere: Metallerne, Kul, Graphit, Syrer, Saltopløsninger, dyriske og vegetabiliske Stoffer m. fl.; til Halvlederne: Papir, Straa, lufttørret Træ, Alkohol, Æther m. fl.; og til Isolatorerne: Glas, Kautschuk, Lak, Ebonit, Haar, Kalk, Kridt, Svovl, Vox, Rav, ovntørrede Legemer, tør Luft m. fl. Det skal senere vises, hvorledes man kan undersøge Legemernes Ledningsevner.

Al Fugtighed forøger Legemernes Ledningsevne; Glas, der er oversmurt med et tyndt Lag Schellakfernis, vil vise sig at

være bedre isolerende end Glas uden Fernislag, fordi Fugtigheden i mindre Grad fortættes derpaa.

21. De i det Foregaaende nævnte Tiltrækninger og Frastødninger iagttages bedst ved Hjælp af et »elektrisk Pendul«, α : en i en Silketraad ophængt Hyldemarvskugle. Ved Forsøg hermed vil man da let iagttage, at der gives to Elektricitetsarter. Nærmer man en med Uld gnedne Glasstang til Kuglen, bliver denne tiltrukket og efter Berøring atter frastødt af Glasstangen; gjøres dette med to elektriske Penduler, ville de to Hyldemarvskugler, efter at de begge have været i Berøring med Glasset, indbyrdes frastøde hinanden. Ligeledes ville de frastøde hinanden, naar de begge have været i Be-

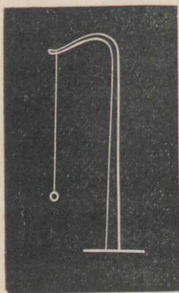


Fig. 24.

røring med f. Ex. en med Skind gnedne Ebonitplade; men har den ene været i Berøring med Glasstangen, den anden med Ebonitpladen, tiltrække de hinanden, og det samme vil, om end i svagere Grad, være Tilfælde, naar kun den ene har berørt et af de nævnte Legemer og derpaa nærmes til den anden. Vi have altsaa her aabenbart med to forskellige Arter af Elektricitet at gjøre, og man kan derefter let prøve, hvilken Art Elektricitet andre gnedne Legemer ere komne i Besiddelse af, enten den, der svarer til Glassets, eller den, der svarer til Ebonitens Elektricitet.

Det er du Fay som først har gjort den nys nævnte Opdagelse (1733), og Forklaringen paa Phænomenet er nu ganske simpel. Ved en Hyldemarvskugles Berøring med Glasset, har den faaet noget af dettes Elektricitet, og ved dens Berøring med Eboniten, har den faaet noget af dennes Elektricitet; vi sé da, at ensartede Elektriciteter frastøde hinanden, uensartede Elektriciteter tiltrække hinanden, og ere de Legemer, som indeholde Elektriciteten, let bevægelige, følge de disse Virkninger. En nærmere Redegjørelse gives nedenfor.

Naar nu det Spørgsmaal opstaar: hvilke Legemer faa Glassets, hvilke Ebonitens Art af Elektricitet, saa maa det først bemærkes, at den Elektricitet, et Legeme faar ved

Gnidning, afhænger af det Legemes Natur, med hvilket det gnides. Dette opdagede Canton (1753), og Wilcke fandt (1758), at altid naar to Legemer blive gnedne mod hinanden, faar det ene Legeme den ene Art Elektricitet, det andet den anden Art; Ledere maa være isolerede (paa et Glashaandtag) under Gnidningen. De to Elektricitetsarter benævnes positiv og negativ Elektricitet, og det er vedtaget, at den Elektricitet er positiv, som blankt Glas faar ved Gnidning med Tøj, og den Elektricitet negativ, som Ebonit faar ved Gnidning med Skind. Det skal senere ved et Forsøg blive godtgjort, at de modsatte Elektriciteter, som udvikles ved Gnidning, ere ligestore.

Nærmere Undersøgelser have derpaa vist, at Legemerne kunne opstilles i Rækkefølge, saaledes at et Legeme bliver positiv ved Gnidning med et, der staar længere frem i Rækken, og dette bliver da negativ elektrisk; Udviklingen af Elektricitet er desto større, jo længere de to Legemer ere fjernede fra hinanden i Rækken.

Michael Faraday's Række sér saaledes ud:

Katte- og Bjørne-	Bjærgkrystal	Haanden
skind	Flintglas	Træ
Flonel	Bomuld	Lak
Elfenben	Lærred	Metaller
Pennepose	Hvid Silke	Svovl.

Riess har i denne Række ændret de 3 sidste Led til:

Guld, Sølv, Kobber, Kautschuk, Schellak, Svovl, Gutta-perka, »elektrisk Papir«, Collodium.

Mange have tidligere opstillet saadanne Rækker, men de stemme ikke fuldstændig overens, om der end er visse Resultater, der gaa igjen overalt. Grunden til Afvigelserne er den ofte overordentlig ringe Udvikling af Elektricitet i Forening med de forholdsvis store Forandringer i Legemernes elektriske Forhold, som ydre Omstændigheder kunne fremkalde; der skal herpaa nævnes et Par Exempler. Idet man ved det gnidende Legeme forstaar det med den mindste Flade, der kommer i Berøring med forskjellige Dele af den større Flade paa det andet Legeme, det gnedne, fandt man at for to Stykker aldeles ens Glas blev det førstnævnte positiv, det sidste negativ (om-

vendt naar det gnedne Legeme først havde været opvarmet), hvorimod det omvendte var Tilfælde med røde Silkebaand; naar et varmt Baand blev trukket frem og tilbage over et koldt, der altsaa da var det gnidende Legeme, blev det første negativ elektrisk. — Hvad to ellers ens, men forskjelligt farvede Legemer angaa, saa viste det sig, at forskjellig farvet Silke og Uldtøj saavel som Glas altid blev elektrisk paa samme Maade. Dette opdagedes paa følgende ejendommelige Maade i Midten af forrige Aarhundrede: En Mand, der skulde bære Sorg havde trukket nogle sorte Silkestrømper over hvide, men ved at trække de sorte af, viste der sig elektriske Gnister og en kjendelig Tiltrækning; den hvide Strømpe viste sig ved en nærmere Undersøgelse altid at være positiv. — Et hvidt Baand bliver positiv ved Gnidning med et sort nyt; men er det sorte brugt, og det hvide Baand varmt, bliver dette negativ elektrisk. Opvarmet Skrivepapir bliver, gnedet med Metal, negativ, men er Metallet blankt poleret, positiv elektrisk. — Af saadanne Forhold kan der anføres en Mængde. I Almindelighed vil en Opvarming flytte Legemet frem eller ned i Rækken, mod den negative Ende. Hvad Glas, som jo spiller en større Rolle, angaar, saa har Overfladens Beskaffenhed stor Indflydelse i de herhen hørende Forhold. Franklin skjelner imellem en frisk Overflade, som ubrugt Glas har i nogen Tid efter dets Forfærdigelse, en gammel Overflade, der dannes ved Atmosfærens Indvirkning eller hurtigere ved Gnidning, og en mat Overflade, som Glas faar ved at slibes med Smergel eller Sand. Glas med frisk Overflade bliver kun svagt elektrisk, og er forholdsvis godt ledende; gamle Glasoverflader blive positiv elektriske ved Gnidning med de fleste Legemer og ere meget slet ledende; matte Glasplader lede derimod temmelig godt og blive negativ elektriske ved Gnidning med mange Legemer. Gnides en blank Glasplade med en mat, bliver den første positiv, den sidste negativ elektrisk.

Den ved Gnidningen udviklede Elektricitets Mængde er efter Peclets Undersøgelser (1834) uafhængig af den Hastighed, hvormed Gnidningen foregaar, og ud over en vis Grændse

uafhængig af det Tryk, de to Legemer udøve mod hinanden under Gnidningen.

22. **Elektrisk Fordeling eller Influens**, først nærmere undersøgt af Æpinus (1758). Naar et elektrisk Legeme, f. Ex. en med positiv Elektricitet forsynet ledende Kugle *A* nærmes til en paa Glasfodder isoleret, ledende Cylinder *BC* (med afrundede Endeflader), ville denne Cylinders to Halvdele vise sig elektriske med modsatte Arter af Elektricitet.

Dersom man langs Cylinderen har ophængt nogle Par af Hyldemarvskugler i fine Metaltraade, vil der fremkomme Udslag, som ere størst ved de to Ender af

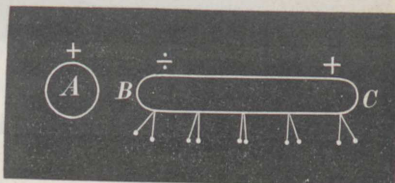


Fig. 25.

Cylinderen og derfra aftager indefter, saa at det et bestemt Sted, der ligger omtrent i Cylinderens Midte — lidt nærmere *A* — er Nul; dette Sted kaldes den neutrale Linie. Af den Retning, hvori Hyldemarvskuglerne strække sig — paa den ene Halvdel henimod *A*, paa den anden bort fra *A* — kan man sé, at der nærmest *A* er fremkaldt negativ, fjærnet fra *A* positiv Elektricitet, hvilket ogsaa kan vises paa anden Maade. — Man sér altsaa, at naar et elektrisk Legeme nærmes til en Leder, saa ville de to modsatte Elektriciteter, som antages at være i Lederen, men blandede sammen i ligestore Mængder, adskilles; den med Legemets ensbenævnte Elektricitet frastødes, og den uensbenævnte tiltrækkes. Der er da skét en elektrisk Fordeling eller Influens.

Nærmes *A* mere til Cylinderen, blive Udslagene større, og den neutrale Linie flytter sig stedse længere bort fra Midten; omvendt, naar *A* fjærnes fra Cylinderen, formindskes Udslagene, og den neutrale Linie nærmer sig Midten. Naar *A* er fjærnet tilstrækkelig langt bort, bliver der intet Udslag mere, de to Elektriciteter ere saa atter blandede med hinanden, og man sér altsaa, at der ved Fordelingen frembragtes ligestore Mængder af dem. Har Fordelingen i *BC* varet i nogen Tid, og *A* da fjærnes, kan det være, at der paa Grund af et ulige stort

Tab til Luften af de to Elektriciteter, bliver et Overskud af positiv Elektricitet tilbage paa Cylinderen.

Den i BC ved Fordeling fremkaldte Elektricitet kan atter virke fordelende eller influerende paa andre Ledere. Anbringes

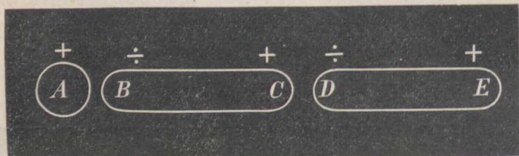


Fig. 26.

saaledes en Cylinder DE i Forlængelsen af BC , fremkalder C 's positive Elektricitet ved Fordeling negativ

Elektricitet i den nærmeste Halvdel af Cylinderen DE og positiv i den fjærneste Halvdel. Cylinderen DE kan atter virke fordelende o. s. fr. Ligeledes vil den negative Elektricitet ved B virke tilbage paa Elektriciteten i Kuglen A ; dersom denne ikke befandt sig i Nærheden af elektriske Ledere, vilde dens Elektricitet være ligelig udbredt overalt, men nu, da den har virket fordelende paa BC , vil den op-hobe sig stærkest paa det Sted, der er nærmest B , og svagest paa det fra B længst fjærnede Sted.

Jo længere en Leder er, desto stærkere bliver den deri ved Fordeling fremkaldte Elektricitet, og den neutrale Linie flytter sig desto længere bort fra det Legeme, hvis Elektricitet har fremkaldt Fordelingen. Berører man Lederen paa et eller andet Punkt afledende med Fingeren, forlænges den saa at sige i det Uendelige; fjærnes derefter Fingeren og det fordelende Legeme, slaa alle Kuglerne ud med den tidligere til-trukne Elektricitet, der da har udbredt sig over det Hele.

Nærmes det fordelende Legeme til Lederen, vil der til-sidst springe en elektrisk Gnist over imellem dem, og alle Hyldemarvskugler ville da slaa ud med samme Elektricitet som Legemets (A); dette vil derefter være svagere elektrisk. En Del af A 's positive og al B 's negative Elektricitet have neutraliseret hinanden i Gnisten, og paa Cylinderen bliver der kun C 's positive tilbage. Da det derved sér ud, som om A 's positive Elektricitet var igjennem Gnisten gaaet over paa Cylinderen, siger man — men med urigtig Betegnelse — at Cylinderen er bleven elektrisk ved »Meddeling«.

23. **Elektroskop.** Paa den elektriske Fordeling grunder sig Elektroskopet, Instrument til at undersøge, om et Legeme er elektrisk, og, hvis det er det, bestemme Elektricitetens Art. Det bestaar simplest af en Metalstang, der foroven ender i en Kugle, forneden bærer to Guld- (eller Aluminium-) blade; Stangen er befæstet i Proppen paa en Glasflaske, hvis øverste Del er ferniseret. Nærmes nu et Legeme, hvis elektriske Tilstand man vil undersøge, til Kuglen, foregaar der en Fordeling i denne og Stangen, saa at de to Guldblade ville frastøde hinanden, altsaa gjøre et Udslag, med samme Art af Elektricitet som Legemets. Kommer der intet Udslag, er Legemet uelektrisk. Men vil man nu tillige bestemme Elektricitetens Art, maa Elektroskopet først lades med en bestemt Elektricitet; dette sker derved, at man f. Ex. til Kuglen nærmer en gneden Glasstang, som altsaa ved Fordeling vil gjøre Kuglen negativ elektrisk og fremkalde et Udslag af Guldbladene med positiv Elektricitet. Berøres Kuglen saa med Fingeren, afledes denne positive Elektricitet, saa at Guldbladene falde sammen, og fjærnes da Fingeren og derpaa Glasstangen, udbreder Kuglens negative Elektricitet sig over det Hele og fremkalder et Udslag af Guldbladene. Derefter nærmes det til Undersøgelse foreliggende Legeme langsomt til Kuglen; er det da positiv elektrisk, trækker det Stangens negative Elektricitet opad, og Udslaget formindskes, er det negativ elektrisk, støder det Stangens Elektricitet nedad, og Udslaget forøges. En Formindskelse i Udslaget kan ogsaa opstaa, naar en uelektrisk Leder nærmes til Kuglen paa Grund af den Fordeling, som Kuglens Elektricitet fremkalder deri, saa at man altsaa maa være varsom med sin Dom og først ved Hjælp af det uladede Elektroskop have overbevist sig om, at Legemet overhovedet er elektrisk.

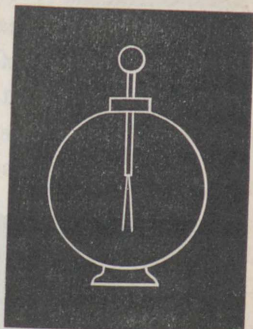


Fig. 27.

Vil man have Elektroskopet mere fintmærkende, kan man istedetfor en Glasflaske tage en Glasklokke, som hviler paa en Metalplade, der bærer to Metalstænger lige overfor Guld-

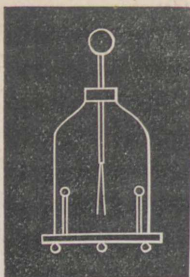


Fig. 28.

bladene. Blive disse elektriske, fremkalde de den modsatte Elektricitet i Stængerne, og Udslaget bliver langt større.

24. Den ved Fordeling tiltrukne — og ligeledes den frastødte — Elektricitetsmængde er mindre end den Elektricitetsmængde, som har fremkaldt Fordelingen; kun i ét Tilfælde ere de ligestore, nemlig naar det fordelende Legeme er helt omgivet af den Leder, hvori Fordelingen er foregaaet; dette er vist paa følgende Maade af Faraday. En Kobbergryde, som er godt isoleret, bliver ved en Metaltraad sat i Forbindelse med et Elektroskop, der befinder sig i nogen

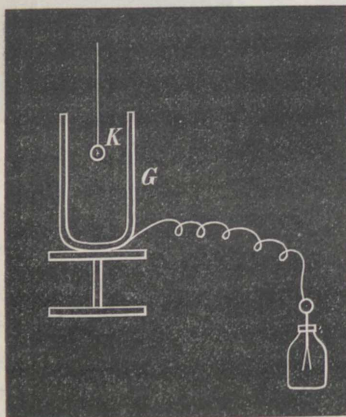


Fig. 29.

Afstand fra *G*. Fører man nu en i en Silketraad ophængt og med f. Ex. positiv Elektricitet ladet Metalkugle *K* ned i Gryden, fordeles Elektriciteten i denne, negativ tiltrækkes til Grydens Inderside, positiv frastødes til Ydersiden og fremkalder et Udslag i Elektroskopet; dette voxer, jo dybere Kuglen sænkes, indtil en bestemt Dybde; og er Kuglen kommen ned under den, forbliver Udslaget konstant, hvor

Kuglen saa end befinder sig. Udslaget forandres ikke, naar der over Gryden lægges et Metallaag, og man kan derfor nu betragte Kuglen som helt omgivet af den Leder, hvori Fordelingen er foregaaet. Bringes Kuglen i Berøring med Gryden, forandrer dette ikke Udslaget; Kuglen og Gryden udgjøre da ét Legeme, og der kan kun være Elektricitet paa Ydersiden, saa at Kuglens positive og Grydens negative maa have ophævet hinanden ganske, hvorfor Kuglen ogsaa, naar den tages ud af Gryden efter Berøringen med denne, viser sig uelektrisk.

Dersom man sænker to eller flere elektriske Kugler ned i Gryden, faar man paa Ydersiden af denne en Ladning, der

er lig den algebraiske Sum af Kuglernes Elektricitetsmængder. Dersom to Kugler altsaa ere lige stærkt ladede med modsatte Elektriciteter, vil der intet Udslag fremkomme i Elektroskopet, naar de samtidig ere nedsænkede i Gryden; paa denne Maade kan man vise, at der ved Gnidning af to Legemer fremkommer lige megen Elektricitet i dem begge.

Dersom man, naar en elektrisk Kugle er nedsænket i Gryden, og Udslaget er sket, berører Gryden afledende, falde Guldbladene sammen, og Kuglen med Gryden udenom forholder sig altsaa overfor Omgivelserne som et uelektrisk Legeme; hæves Kuglen op, gjøre Guldbladene det samme Udslag som før, men med den modsatte Elektricitet.

Dersom man anbringer flere Gryder, den ene inde i den anden, men indbyrdes isolerede, og forbinder den yderste ledende med et Elektroskop, saa vil en i den inderste Cylinder sænket, elektrisk Kugle fremkalde samme Udslag, som naar der kun havde været én Cylinder.

25. Naar en Leder er ladet med Elektricitet, f. Ex. positiv, og der da nærmes f. Ex. en positiv elektrisk Kugle til den, foregaar Fordelingen deri ganske, som om Lederen havde været uelektrisk; fjærnest fra Kuglen bliver Lederen altsaa stærkere positiv, nærmest ved svagere positiv elektrisk, ja den kan her blive uelektrisk, endog negativ elektrisk, naar Kuglen kun er ladet tilstrækkelig stærkt i Forhold til Lederen og er i tilstrækkelig lille Afstand derfra.

26. De i det Foregaaende omtalte Phænomener ere de samme, naar det Legeme, der fremkaldte Fordelingen, er en Isolator; kun skér der ingen Tilbagevirkning paa denne, og en Berøring paa et enkelt Punkt bringer kun dets Elektricitet paa dette Sted til at forsvinde; der kan ogsaa kun dannes en Gnist imellem Isolatoren og den Leder, hvori Fordelingen er opstaaet, naar den første løber ud i en Spids henimod Lederen.

27. **Fordeling i Isolatorer.** Hvis der gaves absolute Ikke-Ledere, kunde der paa Grund af Elektricitetens Ubevægelighed ikke fremkaldes Influens i dem; men alle Legemer kunne lede Elektriciteten, selv om det er næsten umærkeligt, og derfor vil der ogsaa kunne fremkaldes en svag Influens i Isolatorer.

Faraday har vist dette saaledes: Tre Messingskiver *A*, *B*, *C* ere anbragte med *B* midt imellem *A* og *C*; disse to ere satte i ledende Forbindelse med to i en Glasklokke *E* hængende Guldblade *a* og *c*. Meddeler man nu *B* svag positiv Elektricitet, virker denne fordelende paa Elektriciteten i *A* og *C*, og Guldbladene frastøde hinanden, da de begge lades med positiv Elektricitet; berøres derefter *A* og *C* afledende, hænge *a* og *c* atter parallelt ned. Sættes nu en Schellakskive *D* ind imellem *A* og *B*, tiltrække Guldbladene hinanden, hvilket hidrører fra, at *a* er bleven positiv elektrisk. *B*'s positive Elektricitet har nemlig i Isolatoren *D* tiltrukket negativ og fra-

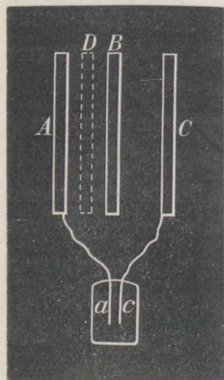


Fig. 30.

stødt positiv Elektricitet; begge disse virke fordelende paa *A*, men den positive stærkest paa Grund af den mindre Afstand fra *A*, og altsaa vil *a* faa lidt positiv Elektricitet og tiltrække *c*. Havde *D* været en Metalplade, vilde Virkningen have været stærkere. — Man sér altsaa, at et elektrisk Legeme fremkalder en større Fordeling i en Leder, naar der imellem dem befinder sig en Isolator istedetfor Luften (en Glasplade imellem dem giver saaledes samme Virkning som et 6 Gange mindre tykt Luftlag), og at den Fordelings elektricitet, der fremkommer i Isolatorer, atter kan virke fordelende.

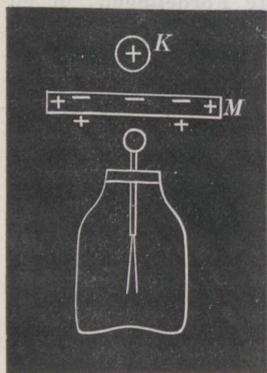


Fig. 31.

Ved gentagne Fordelinger som de nævnte i Faraday's Forsøg, kan der dog let komme Resultater, som vare uventede; et Exempel vil vise dette. Imellem en f. Ex. positiv elektrisk Kugle *K* og et Elektroskop er anbragt en stor Metalplade *M*; i denne vil *K*'s Elektricitet da fremkalde negativ Elektricitet paa Oversiden og positiv paa Undersiden, men den sidste tillige navnlig ud mod Pladens Rand; som Følge deraf kan Virkningen paa

Elektroskopet af M 's positive Elektricitet let blive mindre end Virkningen af den negative paa M 's Overside, og Indskydelsen af M vil da fremkalde en Formindskelse istedetfor en Forøgelse af det fra K hidrørende Udslag i Elektroskopet. Navnlig sker dette, naar M afledes til Jorden. En Isolator kan let vise de samme Forhold.

Det maa bemærkes, at det Legeme, der skal fremkalde en elektrisk Fordeling, maa være stærkt elektrisk, da der ellers ikke spores nogen Virkning. Denne begynder ifølge Faraday med, at de enkelte Molekyler polariseres, d. v. s. faa negativ Elektricitet til den ene Side, positiv til den anden; ved længere Tids Indvirkning begynde disse Elektriciteter saa at vandre igjennem de isolerende Mellemrum imellem Molekylerne, hvorved der ophobes negativ Elektricitet i Isolatorens ene Ende, positiv i den anden, og fjærnes saa det fordelende Legeme, bliver Isolatoren tilbage elektrisk paa den nævnte Maade, idet de adskilte Elektriciteter kun vanskelig atter forenes. — Faraday antager, at Elektriciteten i det Hele ikke virker paa Afstand, men ved de mellemliggende Molekylers Hjælp; kun naar der er tomt Rum imellem, skér der en Virkning fra Grændse til Grændse. Befinder det elektriske Legeme A sig altsaa i nogen Afstand fra Lederen B , og der er Luft imellem dem, saa vil A 's Elektricitet først paa den nævnte Maade polarisere det nærmest A liggende Lag af Molekyler, disse derefter det næste Lag o. s. fr., og endelig polariseres Lederen B 's Molekyler paa samme Maade; i B vandre derefter Elektriciteterne paa den bekjendte Maade.

Wüllner har ved omfattende Forsøg vist, at Influensen voxede indtil en vis Tid og saa holdt sig konstant; de fundne Resultater varierede noget med Luftens Fugtighedstilstand, men Værdien ved Influensens Slutning var uafhængig deraf. Hyppig voxer Influensen med det Antal af paa hinanden følgende Gange, Isolatoren har været udsat derfor, men denne større Bevægelighed af Elektriciteten mistes ved længere Tids Hvile. Wüllner paaviste ogsaa Influens i Vædske.

Følgende Forsøg er anstillet af Faraday og nu let forklarligt. Et Glaskar var fyldt med Terpentiniolie, og deri fandtes smaa Stykker Silketraad; i to modsatte Sider af

Glaskarret var der indsat Metalstænger lige overfor hinanden, endende i Spidser i nogen Afstand fra hinanden; den ene var forbunden med den positive Konduktor paa en Elektriser-maskine, den anden afledet til Jorden. Drejes Maskinen rundt, strømme alle Silketraade sammen og danne en Kjæde imellem de to Spidser; de holde godt sammen, og dersom man sønderbryder Kjæden, danner denne sig paany, naar Maskinen vedblivende drejes rundt.

28. **Elektricitets Sæde.** I en Leder vil Elektriciteten kun sætte sig paa Overfladen. Tænke vi os to Partikler i det Indre af en Leder, som er ladet med positiv Elektricitet, kunne de ikke være elektriske, thi deres Elektriciteter vilde frastøde hinanden og vandre saa langt bort som mulig, altsaa til Overfladen.

Biot har vist dette ved at elektrisere en isoleret Metal-kugle K ; paa denne sættes da to med Glashaandtag forsynede

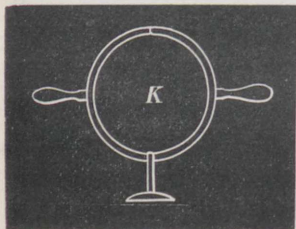


Fig. 32.

Halvkugleskaller af Metal, som passe nøjagtig til Kuglen. Dernæst fjernes de igjen samtidig, og ved Hjælp af et Elektroskop kan man se, at de ere elektriske, men K uelektrisk.

Elektriserer man en hul Metal-kugle, der har et Hul etsteds, vil der ingen Elektricitet være paa Kuglens Inderside. Derom kan man overbevise sig ved at stikke en Prøveskive, o: et paa en godt isolerende Schellakstang fæstet Guldblade, ned igjennem Hullet til Berøring med Indersiden (Hullets Rand maa ikke berøres) og derpaa føre Guldbladet hen til et Elektroskop, som da intet Udslag vil vise.

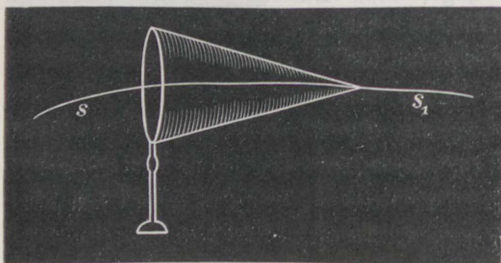


Fig. 33.

Et tredje Forsøg (af Faraday) er følgende: til en isoleret Metalring er der befæstet en Musselinspose med to Silketraade i Toppen, s og s_1 . Elektriseres Po-

sen, kan man med Proveskiven vise, at den kun er elektrisk paa den ydre Overflade, ikke paa den indre, men krænges saa Posen ved Hjælp af s og s_1 , skifte Overfladerne, og der er da igjen kun Elektricitet paa den nye, ydre Overflade.

Hvad Isolatorer angaar, saa kan Elektriciteten dér ogsaa findes i det Indre. Holder man saaledes en Harpikskage i længere Tid i Berøring med en stærkt ladet, positiv elektrisk Leder, og derpaa gnider den med et Stykke Katteskind, indtil den paa Overfladen er negativ elektrisk, vil den nogle Minuter senere blive uelektrisk paa Overfladen og nogen Tid efter positiv elektrisk; den positive Elektricitet, hvormed Kagen oprindelig var ladet, og som trængte ind i dens Indre, er altsaa kommen ud paa Overfladen, hvor den først har neutraliseret den negative, og derpaa gjort Overfladen positiv elektrisk. Andre Exempler ville blive nævnte senere.

29. **Loven for elektriske Tiltrækninger og Frastødninger.** *To elektriske Partikler tiltrække eller frastøde hinanden paa Grund af de indeholdte Elektriciteter med en Kraft, der er proportional med Produktet af Elektricitetsmængderne og omvendt proportional med Afstandens Kvadrat.*

Denne Sætning har Coulomb godtgjort ved Hjælp af en Torsionsvægt, der er saaledes indrettet: En cirkulær, cylindrisk Glas-kasse har i Laaget to Gjennemboringer, hvoraf én i Midten, og deri er indkiddet et langt lodret Glasrør, i hvis øverste Munding er indsat et lille Messingrør, dækket med en inddelt Plade; igjennem et Hul i denne gaar en foroven til en Knap be-fæstet lang, fin Metaltraad, der i sin nederste Ende bærer en tynd, vandret Schellakstang; paa dennes Endepunkter sidde henholdsvis en forgyldt Hyldemærskugle og en Modvægt.

Til Knappen er fæstet en Viser, der kan bevæges henover den inddelte Messingplade. Den anden Gjennemboring i Glaslaaget

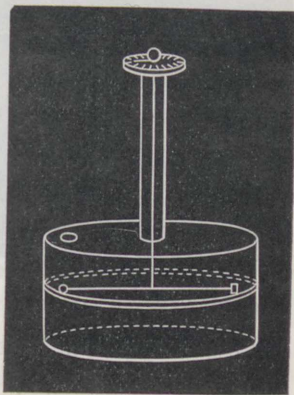


Fig. 34.

findes saa langt fra den første, at man ved at dreje paa Knappen foroven kan bringe Hyldemarvskuglen hen lige under Gjennemboringen, og hænger Schellakstangen da ganske rolig, er Metaltraaden ikke snoet. Igjennem den sidstnævnte Gjennemboring fører man nu en elektrisk, forgyldt Hyldemarvskugle, som er befæstet til en tynd Schellakstang; de to Kugler bringes i Berøring med hinanden, blive derved begge elektriske, frastøde hinanden, og anbringes saa den »faste« Kugle paa den bevægeliges tidligere Plads, vil Stangen gjøre et Udslag, og derved snoes Traaden; naar den elektriske Frastødning holder Ligevægt med Snoningen, kommer Stangen i Ro; ved successive Drejninger af Knappen imod Udslagets Retning kan Udslaget saavel som Snoningsvinklen varieres; det første aflæses paa en inddelt Kreds paa Glaskassen i Højde med Schellakstangen, den sidste, Snoningsvinklen, er Summen af Vægtstangens Udslag og den Vinkel, som Knappen foroven med Viseren er drejet, og som altsaa kan aflæses dér. Vi ville nu antage, at Udslaget er α og den Vinkel, man har drejet Metaltraaden foroven, er β ; Snoningsvinklen er da $\alpha + \beta$;

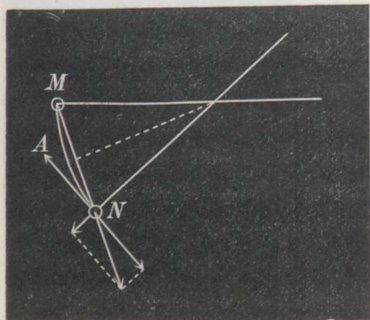


Fig. 35.

M være den faste Kugle, N den bevægelige (paa Vægtstangen). Paa N virker da Snoningsmodstanden som en Kraft NA efter Tangenten til den Cirkelbue, N har beskrevet; NA er proportional med $\alpha + \beta$, og kan altsaa sættes lig $T(\alpha + \beta)$. Endvidere virker paa N den elektriske Frastødning i Chorden MN 's Forlængelse, den Kraft,

om hvilken vi ville vise, at den forholder sig omvendt som Afstandens Kvadrat; vi ville antage, at denne Lov er rigtig, og Kraften kan altsaa sættes lig $\frac{C}{MN^2}$; dens Komposant efter Tangenten bliver da $\frac{C}{MN^2} \cos \frac{\alpha}{2}$, og Ligevægtsbetingelsen

$$T(\alpha + \beta) = \frac{C}{MN^2} \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Nu er $MN = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$, hvor l er Vægtstangens halve Længde, saa at man faar

$$T(\alpha + \beta) = \frac{C}{4l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \cos \frac{\alpha}{2},$$

hvoraf $(\alpha + \beta) \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{C}{4l^2 T}$, α : konstant.

Idet man altsaa maaler de forskjellige, sammenhørende α og β , skal bestandig $(\alpha + \beta) \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ have samme Værdi, og da

Forsøget vil give dette, er ogsaa Forudsætningen, at Kraften er omvendt proportional med Afstandens Kvadrat, rigtig. Den første Værdi af β — strax naar Udslaget er gjort — er Nul.

Resultatet forandres næsten ikke, naar den nævnte Størrelse omskrives til

$$(\alpha + \beta) \frac{\alpha^2}{4}$$

α : Snoningsvinklen omvendt proportional med Kvadratet paa Udslaget.

Ved elektriske Tiltrækninger gjælder den samme Lov. Man gaar da frem saaledes, at man først giver den bevægelige Kugle f. Ex. positiv Elektricitet, hvorpaa den fjærnes — tilstrækkelig langt — fra sin Stilling ved Drejning paa Knappen foroven; derpaa gjøres den faste Kugle negativ elektrisk, og den tiltrækker saa, efter at den er anbragt paa sin Plads, den bevægelige Kugle, der bevæger sig, indtil den kommer i Ligevægt i en bestemt Stilling. Tiltrækning og Torsion kan derpaa varieres paa lignende Maade som Frastødning og Torsion.

Dernæst er Tiltrækningen eller Frastødningen proportional med Elektricitetsmængdernes Produkt. Dette kan ses saaledes: Efter at den faste Kugle har frastødt den bevægelige, og denne er kommen i Ro ved en bestemt Torsion, løftes den faste Kugle op og berøres med en lignende, ligesaa stor, men uelektrisk Kugle, hvorved den berøves Halvdelen af sin Elektricitet, og anbringes den saa igjen paa sin Plads i Glaskassen, vil man af Torsionen kunne beregne, at Frastødningen er det halve

af den tidligere; havde man berøvet den faste Kugle al dens Elektricitet og derefter bragt den ned i Kassen til Berøring med den bevægelige Kugle, maatte denne, hvis de to Kugler vare nøjagtig ens, afgive Halvdelen af sin Elektricitet til den faste Kugle, og man vilde finde, at Frastødningen var en Fjerdedel af den tidligere. (Jfr. 33.)

Som Enhed for Elektricitetsmængden kan man tage den, som frastøder en ligesaa stor Elektricitetsmængde i Enhed af Afstand (1 Cm.) med Kraftenheden (1 Dyn.). I Almindelighed anvendes dog en langt større Enhed, 1 Coulomb; en Milliontedel heraf, 1 Mikrocoulomb, er 3000 Gange større end den nævnte Enhed. To Elektricitetsmængder, hver paa en Mikrocoulomb og i Afstanden 1 Cm. fra hinanden, paavirke altsaa hinanden med en Kraft paa 9 Mill. Dyn.

30. Elektrisk Tæthed. Det er tidligere omtalt, at Elektriciteten i en elektrisk Leder kun findes paa Overfladen, og for Simpelheds Skyld ville vi tænke os den som et Lag paa Overfladen. Hvis Lederen er en Kugle, er Laget ensformig udbredt overalt, men har den en anden Form, forandrer ogsaa Fordelingen af Elektricitet sig, og vil man tænke sig, at det elektriske Lag overalt har samme Tykkelse, maa Tætheden variere; ved et Steds elektriske Tæthed forstaar man derfor Forholdet imellem Elektricitetsmængden paa Stedet og Stedets Areal. Bliver der nu Spørgsmaal om den elektriske Tætheds Variation paa en Leder, saa kan dette gøres til Gjenstand for en udelukkende mathematisk Behandling, idet Elektricitetens Udbredelse er en Følge af Loven for Kraftvirkningernes Afhængighed af Afstanden; Elektricitetens Virkning paa et Punkt i Lederens Indre maa være Nul, da der ellers vilde ske en Adskillelse ved Influens af dets to hinanden neutraliserende Elektriciteter, og Ligevægten var forstyrret. Undersøgelserne ere i Reglen meget komplicerede. Som Resultat skal her kun nævnes, at Elektriciteten paa en Leder opfører sig stærkest der, hvor Krumningen er størst, og at den navnlig samler sig i skarpe Kanter og Spidser. Hvad enten et Legeme er svagt eller stærkt ladet, er Forholdet imellem de forskellige Punkters elektriske Tæthed altid det samme, altsaa alene afhængigt af Formen.

Elektricitetens Udbredelse paa en Leder kan undersøges experimentelt. Bringer man en Prøveskive i Berøring med et Punkt af en elektrisk Leder, overgaar der fra denne en Elektricitetsmængde til Prøveskiven, der er proportional med Tætheden paa vedkommende Sted. Prøveskiven anbringes derefter som fast Elektricitetsbærer i Torsionsvægten, hvis bevægelige Kugle er gjort elektrisk med samme Art Elektricitet, og man bestemmer den Snoning, man maa give Metaltraaden for at faa et bestemt Udslag. Den afledede Prøveskive bringes derefter successive i Berøring med andre Punkter af Lederen, de respective Snoninger af Metaltraaden bestemmes, for at det bestemte Udslag skal vedligeholdes, og derved kommer man altsaa til den søgte Kundskab.

31. **Elektrisk Potential (Spænding).** Et Legemes elektriske Tilstand er bestemt ved dets Potential. Forbindes to elektriske Ledere ledende med hinanden, og der da strømmer positiv Elektricitet fra den ene over paa den anden, siges den første at have et højere elektrisk Potential end den sidste. — Tænker man sig en lille Partikel med Enhed af positiv Elektricitet (29) saa langt borte fra en positiv elektrisk Leder, at der ingen Virkning er imellem dem, og da flytter Partiklen helt hen til denne Leder, idet det antages, at Partiklen er forbleven upaavirket af andre Legemer undervejs og heller ikke kan frembringe nogen elektrisk Fordeling, saa har man udført et Arbejde imod den elektriske Kraftvirkning, hvilket Arbejde er et Maal for Lederens elektriske Potential. Dette Arbejde er uafhængigt af den Vej, Partiklen med Enhed af Elektricitet har gennemløbet, og alene afhængigt af Lederens elektriske Tilstand; jo stærkere ladet den samme Leder er, desto større er dette Arbejde og altsaa Lederens Potential.

Dersom Partiklen ikke var ført helt hen til Lederen, men indtil en vis Afstand derfra, vilde der være udført et Arbejde, som er mindre end det, der svarer til Lederens Potential, altsaa et Arbejde svarende til et mindre Potential; dette Arbejde er desto større, jo nærmere Punktet, hvortil Partiklen føres, er ved Lederen. Altsaa meddeler en elektrisk Leder alle Punkter omkring sig visse Potentialer, afhængige af Lederens Potential og Punkternes Afstand fra Lederen; Punk-

ter med samme Potential ligge paa samme elektriske Niveauflade. For samme Potentialfald er Afstanden imellem to Niveauflader desto større, jo mindre Potentialernes Værdier ere.

Skal Partiklen med Enhed af Elektricitet føres fra et Punkt i Nærheden af en elektrisk Leder til et andet, kræves der dertil et Arbejde, som maales ved det sidste Punkts Potential minus det førstes; Vejen, ad hvilken Partiklen føres fra en Niveauflade til en anden, er uden Indflydelse paa det dertil krævede Arbejde. Er Partiklen frit bevægelig, saa at den alene følger den elektriske Kraftvirkning, vil den bevæge sig fra Niveauflader med højere Potential til Niveauflader med lavere og desto hurtigere, jo større Potentialfaldet er for den samme Afstand.

Dersom Lederen er ladet med negativ Elektricitet, men Partiklen som før med positiv, er Potentialet negativt, idet Partiklen paa Grund af Tiltrækningen ved sin Bevægelse selv udfører et Arbejde, saa at der udføres et negativt Arbejde for at faa den hen til Berøring med Lederen.

Paa en Leder, hvor Elektriciteten er i Ligevægt, vil Potentialet overalt være det samme; i modsat Fald vilde Elektriciteten som nævnt sætte sig i Bevægelse fra Punkter med højere til Punkter med lavere Potential. Det er altsaa ligegyldigt, til hvilket Punkt af Lederen den før nævnte Partikel nærmes: Arbejdet er det samme. — Lederens Overflade er Niveauflade. Paa en Isolator kan Potentialet derimod godt være forskjelligt paa de forskellige Steder.

Ved en Leders elektriske Kapacitet forstaaes den Mængde Elektricitet, der maa indføres i Lederen for at forøge dens Potential med Enhed. Her skal foreløbig blot nævnes, at Potentialet maales i Volt, idet en Leders Potential er lig 1 Volt, naar der kræves et Arbejde lig 10 Millioner Dyncentimeter eller Erg (s. Absolute Enheder) for at bringe en Partikel med Elektricitetsmængden 1 Coulomb fra et fjærnt Sted til Berøring med Lederen. Kapaciteten er afhængig af Lederens Størrelse og Form, men, da Elektriciteten kun sætter sig paa Overfladen, uafhængig af Substansen.

Kapaciteten er altsaa Forholdet imellem Lederens Elektricitetsmængde og dens elektriske Potential.

32. Elektroskoper og Elektrometre. Elektroskoper ere Instrumenter til at undersøge, om et Legeme er elektrisk, og, hvis saa er, bestemme Elektricitetens Art; Elektrometre ere Instrumenter til Maaling af Elektriciteten.

Alt tidligere er nævnt Guldbladelektroskopet, der ogsaa kan bruges som Elektrometer, idet der da findes en inddelt Bue lige under Guldbladerne, saa at disses Udslag kan aflæses; senere vil blive nævnt Condensator-Elektroskopet og Bohnenbergers Elektroskop med den tørre Søjle. Coulombs Torsionsvægt kan ogsaa bruges som Elektroskop og Elektrometer. Det simpleste, men ogsaa mindst fintmærkende Elektrometer er Henleys elektriske Pendul, der bestaar af en lodret, ledende Stang, hvori der er ophængt en Hyldemærkugle, som frastødes af Stangen, naar denne bliver elektrisk; Udslaget maales paa en inddelt Bue.

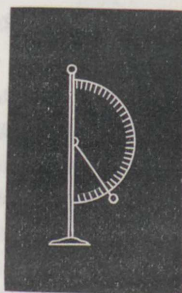


Fig. 36.

Endnu skal nævnes W. Thomsons meget fintmærkende Kvadrantelektrometer. Det bestaar af en Aluminiumnaal, formet omtrent som et Ottetal og ophængt vandret inde i en flad, cylindrisk Metal-kasse, som er delt i 4 Kvadranter, skilte lidt fra hverandre. Naar Instrumentet er uelektrisk, gaar Naalens Symmetriaxe parallel med en af de Diametre, efter hvilken Kassen er delt. To diametralt modsatte Kvadranter (*a* og *b*, *c* og *d*) ere indbyrdes ledende forbundne. Man gaar nu i Almindelighed saaledes frem: to modstaaende Kvadranter, f. Ex. *a* og *b*, forbindes ledende med Jorden, og der gives Naalen en vis elektrisk Ladning; føres der nu Elektricitet til de to andre Kvadranter, gjør Naalen et Udslag til den ene

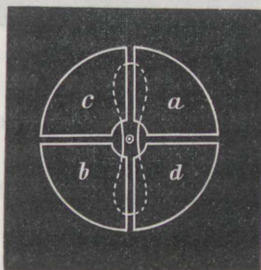


Fig. 37.

eller den anden Side, alt efter Ladningens Art, idet der er en Directionskraft tilstede, enten derved at Naalen er ophængt bifilar, eller der er befæstet en lille Magnetnaal til den; Udslaget er, naar det ikke er meget stort, proportionalt med saavel Kvadranternes som Naalens Potential. Udslagets Størrelse bestemmes i Reglen ved Spejlaflæsning (s. Magnetometret). Naalen lades derved, at der fra dens Underside gaar en Metaltraad ned i concentreret Svovlsyre, og hertil føres Ladningen.

33. **Tab af Elektriciteten.** Dersom et elektrisk Legeme var omgivet af absolute Isolatorer, vilde det bevare sin Elektricitet uformindsket, men baade de Isolatorer, som understøtte Legemet, og den omgivende Luft formindske efterhaanden Legemets elektriske Ladning ved at bortføre Elektricitet fra det.

Undersøger man ved Hjælp af en Prøveskive den elektriske Tilstand af en Glas- eller Schellakstang, som bærer en elektrisk Kugle, saa findes Stangen paa et større eller mindre Stykke fra Kuglen at besidde samme Art Elektricitet som denne, men ud over dette Stykke findes der ingen Elektricitet. Dette Stykke er fundet at være proportionalt med Kvadratet paa den elektriske Tæthed paa Kuglen. Perpendikulærerne,

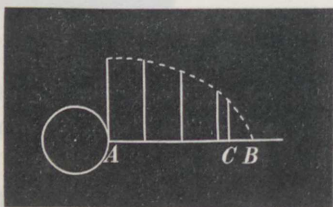


Fig. 38.

som i Figuren ere oprejste paa Stangen give et Billede af Elektricitetens Udbredelse paa Stangen. Havde Stangen nu Længden $AC < AB$ og ved C var i Berøring med en Leder, vilde denne strax modtage Elektricitet af C, og dette vil da modtage mere Elektricitet fra de

nærmest liggende Punkter, saa at der finder et Afløb af Elektricitet Sted, som dog ikke vedvarer, til Kuglen er uelektrisk, thi de nævnte Perpendikulærer formindskes efterhaanden, og efter nogen Tids Forløb er Perpendikulæren i C bleven Nul, hvorved Bortstrømningen af Elektricitet — ad den Vej — ophører. Tabet langs de isolerende Støtter kan for-

mindskes, naar Støtterne forlænges, eller deres Tværsnit formindskes. I fugtig Luft vil tilmed Isolatoren belægge sig med et tyndt Lag af Fugtighed, som forøger Ledningen.

Hvad Elektricitetstabet til Luften angaar, saa hidrører dette dels fra Luftens Ledning og dels fra, at Luftmolekylerne tiltrækkes og derpaa frastødes af det elektriske Legeme, medtagende noget af dettes Elektricitet; et lufttomt Rum er en absolut Isolator. Coulomb har ved Hjælp af Torsionsvægten bestemt Elektricitetstabet i Luften. Den faste og den bevægelige Kugle ladedes med samme Elektricitet, og han maalte da den Snoning, der var nødvendig for at bringe den bevægelige Kugle i en vis Afstand, f. Ex. 20° , fra den faste. Medens nu Kuglerne tabe Elektricitet til Luften, formindskes Udslaget, og han bestemte saa, hvor meget han hvert Minut maatte formindske Snoningen for at vedligeholde det samme Udslag. Da Udslaget er konstant, er Frastødningen proportional med Snoningsmodstanden, altsaa med Snoningsvinklen, og Frastødningens Formindskelse kan altsaa let bestemmes. Denne Formindskelse fandtes at være proportional med Frastødningens Størrelse, og altsaa er Elektricitetstabet i hvert Øjeblik proportionalt med den paa Kuglen værende Elektricitetsmængde.

Ved stærkere Ladninger end dem, der kan være Tale om ved Coulombs Forsøg, ses Elektricitetstabet derimod først at være meget stort, indtil Legemets Ladning er bleven bragt ned til en af Legemets Form afhængig Størrelse, og derpaa gjælder den nævnte Lov.

Elektriciteten vil lettest strømme ud af en elektrisk Leder fra skarpe Kanter og Spidser; vil man altsaa bevare Elektriciteten paa en saadan, maa den ikke have Kanter og Spidser. Strømmer Elektriciteten ud fra en Spids, kan denne Udstrømning, naar den er tilstrækkelig stærk, mærkes som den »elektriske Vind«, der har bevægende Kraft; i Mørke ses tillige en blaalig lysende Dusk paa Spidsen, naar det er positiv, og en lys Prik, naar det er negativ Elektricitet. — Naar man lader en Flamme slikke henad et elektrisk Legeme, danner den mange Spidser, og Elektriciteten taber sig derfor hurtig.

II. Apparater til Frembringelse og Opsamling af Elektricitet.

34. **Elektrophoret.** Dette bestaar af en Kage af Harpix, Terpentin og Beg, støbt i en Metalskaal. Ved Gnidning med

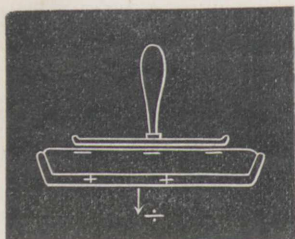


Fig. 39.

et Stykke Skind bliver Kagen negativ elektrisk, og denne Elektricitet vil i Metalskaalen ved Fordeling trække positiv Elektricitet op til Kagens Underside og støde negativ bort til Jorden (Skaalen maa ikke være isoleret); den tiltrukne positive Elektricitet vil drage den negative i Kagen lidt ned i denne, saa at den ikke saa let forlader Kagen, men kan holde sig der i flere Uger. Man betjener sig nu af et Skjold, d. e. en med et Glashaandtag forsynet Metalplade; sættes Skjoldet paa Kagen, fordeles dens Elektricitet, + kommer nederst, $\div$ øverst; den sidste afledes med Fingeren, og løftes da Skjoldet op, er det positiv elektrisk, og denne kan benyttes; nærmes saaledes en Finger til Skjoldet, faar den negativ Elektricitet, og denne og Skjoldets positive Elektricitet neutraliseres i en elektrisk Gnist. Skjoldet sættes saa igjen paa Pladen, afledes, løftes op o. s. fr. — En simpel Kautschukplade kan ogsaa træde istedetfor den nævnte Blanding. — Dersom man løfter Skjoldet op fra Kagen uden først at have berørt det afledende, vil det være uelektrisk eller stundom svag positiv elektrisk, idet da lidt af den negative paa Pladens Overside er gaaet tabt til Luften. — En Gnist imellem Skjoldet og Kagen viser der sig ikke, naar det + elektriske Skjold løftes op, men nok, naar Skjoldets Rand nærmes til Kagen.

Har man to Elektrophorer, det enes Kage negativ elektrisk, det andets uelektrisk, kan man føre et Skjold, som paa den nævnte Maade lades med positiv Elektricitet af det første Elektrophor, med sin Rand over til det andets Elektrophor, som derved lades efterhaanden med positiv Elektricitet, hvilken

saa igjen kan bruges til at forøge det første Elektrophors negative Elektricitet o. s. fr., saa at man paa denne Maade kan skaffe de to Elektrophorer Maximum af Ladning.

35. **Elektrisermaskinen.** Otto v. Guerikes meget primitive Maskine er alt nævnt. Nu benytter man mest Skive-maskiner, hvis Konstruktion væsentlig er saaledes. En plan Glasskive er anbragt drejelig om en vandret Axe i et Tapleje, som hviler paa ferniserede Glasfødder; Skiven er ferniseret nærmest om Axen.

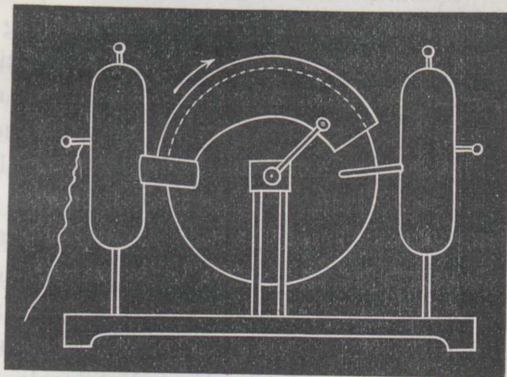


Fig. 40.

Ved Siden af denne Skive er der paa isolerende Glasfødder anbragt to hule Metalcylindre med afrundede Kanter, Konduktorerne. Den ene bærer Gnidetøjet, $\circ$: en gaffeldannet Gren af Metal eller Træ, belagt med Metal, hvis to mod Skiven vendte Sider ere forsynede med Læderpuder, der trykkes imod Skiven og ere indgnedne med Zink-Tin-Amalgam; den anden bærer Indsugerens, $\circ$: en gaffeldannet Metalgren, der staar modsat Gnidepuderne og er forsynet med Metal-spidsen, der vende imod Glasskivens to Sider. Paa Gnidetøjet er der oftest anbragt en Træbue henover Skiven og dertil befæstet to Stykker ferniseret Silketøj, som gaa ned over Skiven for at formindske Elektricitetstabet til Luften.

Ved Hjælp af et Haandtag drejes nu Skiven rundt i den ved Pilen angivne Retning. Ved Gnidningen bliver Glasskiven $+$, Puderne og dermed disses Konduktor $\div$ elektrisk; Glasskivens $+$ Elektricitet føres under Omdrejningen over imellem Indsugerens Grene, fordeler Elektriciteten i den dertil hørende Konduktor, saa at denne kommer til at indeholde $+$, medens Spidserne faa $\div$ Elektricitet; denne sidste strømmer fra Spidserne over imod Skiven og neutraliserer dens $+$ Elektricitet,

thi den elektriske Skive bliver imellem Spidserne helt omgivet af en Leder (24); paa Skivens nederste Halvdel er der altsaa ingen Elektricitet. Ved fortsat Drejning faa de to Konduktorer, den negative og den positive, altsaa mere og mere Elektricitet, indtil en vis Potentialforskjel er naaet.

Forbindes den negative Konduktor ledende med Jorden, bliver den og Gnidepuderne uelektriske, og den positive Konduktor faar da et dobbelt saa stort Potential som før.

En Isolerskammel er en Træskammel med Glasfodder; et Menneske, som staar paa en Isolerskammel og har Haanden i Berøring med den positive Konduktor, bliver derved positiv elektrisk; Haarene paa hans Hovede ville frastøde hverandre og altsaa rejse sig; der kan trækkes Gnister af ham, og han kan trække Gnister af de Omkringstaaende. — Paa Konduktoren kan den »elektriske Mølle« anbringes; den bestaar af en lille omvendt Metalhætte, som hviler paa en Spids, og fra hvis Rand der radiært udgaar Metalnaale, som i Enderne ere bøjede om, alle til samme Side; under Skivens Omdrejning vil den elektriske Vind bringe Møllen til at dreje rundt.

Forbindes de to Konduktorer ledende med hinanden, gennemstrømmes denne Ledning under Maskinens Omdrejning af positiv Elektricitet i én Retning og negativ i den modsatte, hvilke Elektriciteter stadig neutralisere hinanden; vi have her en elektrisk Strøm, hvis Retning angives ved den positive Elektricitets Bevægelsesretning; ophører Skivens Drejning, standser Strømmen.

Undertiden har Maskinen to Gnidetøjer og to Indsugere; disse sidde da forskudte 90° for hinanden.

En anden Art af Elektrisermaskiner ere Fordelings- eller Influenmaskinerne, af hvilke vi ville omtale to: Holtz's og Carré's.

36. Holtz's Maskine. Denne er i Figuren vist schematisk i vandret og lodret Projection, og Indretningen er i Hovedsagen som følger. *AA*, er en faststaaende Glasskive med 3 Udskjæringer, en rund i Midten og to firkantede ligeoverfor hinanden; af disse to sidste er den enes nederste Del, den andens øverste Del forsynet med en Papirbelægning (*C* og *C*₁) med de fremefter bøjede Kartonspidser *s* og *s*₁. Tæt foran denne

Glasskive er der en tynd, ferniseret Glasskive BB_1 , som ved et Snorløb kan drejes hurtig rundt om en vandret, isolerende Axe (denne gaar igjennem den centrale Gjennemskjæring i AA_1 , men er ikke vist i Figuren). K og K_1 ere to isolerede Metalkugler; fra hver af dem udgaar der henimod Skiven en Metalstang, hvilken bærer en Indsuger (I og I_1), hvis Spidser (antydede ved Prikker i den lodrette Projection) vende imod BB_1 , ligeoverfor den respective Papirbelægning. Igjennem Huller i K og K_1 kunne to med isolerende Haandtag H og

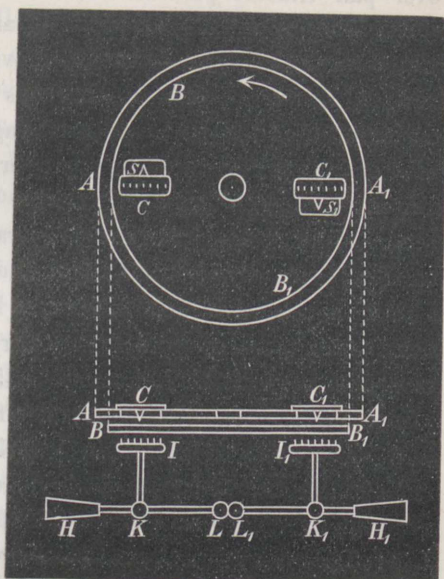


Fig. 41.

H_1 forsynede Metalstænger skydes frem og tilbage; disse ende i de to Kugler L og L_1 , som vi ville tænke os fra Begyndelsen af værende i Berøring med hinanden.

Man sætter nu Skiven AA_1 i Omdrejning, saaledes at den drejes imod Kartonspidserne s og s_1 , og holder samtidig et negativ elektrisk Legeme (en gnedet Ebonitplade) hen til den ene Papirbelægning, f. Ex. C . C lades da med $\div E$, der virker fordelende paa Konduktoren IKL , saaledes at $+E$ trækkes ud i Indsugeren og derfra gaar over paa Skivens BB_1 's forreste Side, medens $\div E$ stødes hen til Kuglen L . Den $+E$ paa BB_1 føres rundt med denne og møder da først Papirbelægningen C_1 med Kartonspidserne s_1 ; Belægningen faar derfor ved Fordeling $+E$, Kartonspidserne $\div E$, og derefter ville baade den $+E$ paa BB_1 's forreste Side og den $+E$ i Belægningen virke fordelende paa Konduktoren $I_1K_1L_1$; $+E$ stødes hen til L_1 , $\div E$ trækkes ud i Indsugeren og derfra over paa BB_1 's forreste Side, tilmed i saa stor

Mængde, at den neutraliserer den derværende $+E$, og Skiven faar dér Overskud af $\div E$; Kartonspiden s_1 's $\div E$ gaar over paa Glasset paa den anden Side. Skiven gaar altsaa videre med negativ Elektricitet paa begge Sider, ankommer saaledes til Belægningen C , hvis Elektricitet forstærkes ved de samme Virkninger som nys nævnt, osv. Man kan derfor efter kort Tids Omdrejning tage Ebonitpladen bort, og en ejendommelig Susen tilkjendegiver, at der finder en stadig Udvikling af Elektricitet Sted; dette fortsættes, indtil Forøgelsen af Elektricitet er lig Tabet deraf. Da Kartonspiden er en Halvleder, er BB_1 's Bagside aldrig ladet saa stærkt som dens Forside. Skér Omdrejningen i Mørke, lyse Spidserne paa den Maade, som er karakteristisk for Udstømning af henholdsvis positiv og negativ Elektricitet (45). — Fordelingen i Glas-skiven spiller ogsaa en Rolle, men er udeladt af Betragtningen.

Dersom man nu fjærner de to Kugler L og L_1 , hvis Elektriciteter hidtil ophævedes, fra hinanden, vil der under Skivens Omdrejning springe Gnister over imellem dem; hvis man fjærner L og L_1 saa langt fra hinanden, at der ikke mere kan springe en Gnist over ved den Potentialforskjel, som L og L_1 kunne faa, ophører Maskinens Ladning fuldstændig, og man maa da begynde forfra, altsaa nærme L og L_1 til hinanden og under Skivens Omdrejning bringe et elektrisk Legeme hen til den ene Belægning.

I Reglen benyttes L 's og L_1 's Elektriciteter til dermed at lade en til Maskinen hørende Leydnerflaske (40), hvorved Gnisterne blive sjældnere, men langt stærkere.

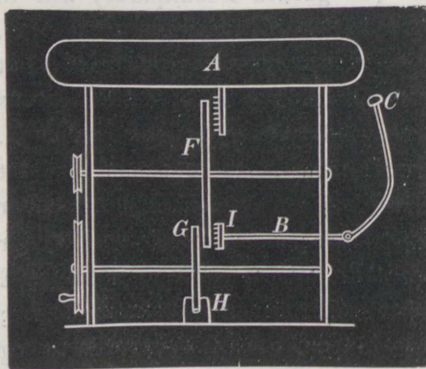


Fig. 42.

37. Carré's Maskine

har følgende Indretning. Paa to Glasstænger hviler en stor, hul Metalcylinder, Konduktoren A ; G er en Glasskive og F en Ebonitskive, som ved Hjælp af et Snorløb kunne sættes i samtidig Omdrejning, F hurtigst. I er en Indsuger, der staar ligeoverfor den

øverste Del af G , saaledes at F 's nederste Del er imellem G og I , og den sidder paa en Metalstang B , hvortil den med en Kugle forsynede Metalstang C (den anden Konduktor) er befastet, drejelig ved et Hængsel. Til A er der ligeledes befastet en Indsuger, der gaar ned foran F 's øverste Del paa samme Side som I . Imod G trykke forneden Gnidepuderne H , og drejes Skiverne nu rundt, faar G ved Gnidningen $+E$, som efter en halv Omdrejning kommer ud for I , i hvilken den fremkalder en Fordeling, hvorved $+E$ stødes ud til Kuglen paa C , medens $\div E$ tiltrækkes; denne $\div E$ gaar fra Spidserne over paa Skiven F , føres med denne rundt og fremkalder en Fordeling i A , hvorved $+E$ trækkes fra Indsugeren over paa Ebonitskiven og dér neutraliserer dennes $\div E$, medens A lades med $\div E$. Ved en vis Potentialforskjel imellem C og A vil der springe en Gnist over imellem dem.

38. Endnu skal nævnes Armstrongs Dampelektriser-maskine (1840), i hvilken der udvikles store Mængder af Elektricitet ved Udstømning af Damp eller, som Faraday har vist, halvfortættet Damp fra en isoleret Dampkjedel. Udstømningen skér i Almindelighed igjennem bøjede Rør i en Kasse med koldt Vand, og Dampen bliver positiv elektrisk; ligeoverfor Udstømningsaabningerne staar en isoleret Konduktor med Metalspidser vendende imod Dampen, og Konduktoren faar da positiv Elektricitet, medens den i Spidserne tiltrukne negative Elektricitet neutraliserer Dampens positive.

39. **Elektriske Opsamlingsapparater eller Kondensatorer.** Som tidligere nævnt er et Legemes elektriske Kapacitet den Elektricitetsmængde, som kræves til at forhøje dets Potential med 1. Kan man forøge Kapaciteten, saa kan man derved forøge Mængden af Elektricitet, et Legeme indeholder for samme Potential. Dette skér i de elektriske Opsamlingsapparater eller Kondensatorer.

Den simpleste Form for disse Apparater er følgende: En ferniseret Glasplade A er anbragt paa en Glasfod, og paa dens to Sider findes to lidt mindre Metalskiver, B og C , paa bevægelige Glasfodder. Vi ville nu først tænke os alene C paa sin Plads tæt op til A ; sættes den i ledende Forbindelse med f. Ex. den positive Konduktor paa en Elektrisermaskine, strømmer

Elektriciteten over paa *C* (Kollektorpladen), indtil denne har

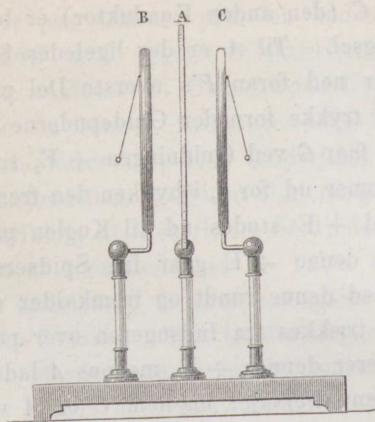


Fig 43.

samme Potential som Konduktoren; flyttes saa *B* hen til *A* paa dennes anden Side vil *C*'s $+E$ ved Fordeling i Pladen *B* (Kondensatorpladen) tiltrække en lidt mindre Mængde $\div E$ og frastøde $+E$, hvilken sidste afledes til Jorden. *B*'s $\div E$ trækkes helt ind til Glasset og vil igjen drage en stor Del af *C*'s $+E$ ind til Glasset, saa at der bliver en mindre Mængde »fri« Elektricitet paa *C*.

Potentialet paa *C* er altsaa blevet mindre, og der vil fra Konduktoren, naar Maskinen holdes i Gang, strømme mere positiv Elektricitet over til *C*, hvilket fremkalder en ny Fordeling i *B*, og dette Spil vil vedblive, indtil *C*'s Potential er ligesaa stort som Konduktorens.

Ved Konduktorens Fortætningstal forstaaes Forholdet imellem den Ladning, Kollektorpladen her har faaet, og den, som den vilde faa, hvis Kondensatorpladen ikke var i dens Nærhed, og det er altsaa tillige lig med Forholdet imellem Kapaciteterne i de to Tilfælde; dette Fortætningstal er omtrent proportionalt med Metalpladernes Størrelse og omvendt proportionalt med Glaspladens Tykkelse.

C's Forbindelse med Konduktoren og *B*'s Forbindelse med Jorden afbrydes derpaa. Dersom de to Metalplader vare forsynede med Hyldemarskugler, vilde den paa *C* gjøre Udslag, den paa *B* hænge ned, thi her er al Elektricitet »bunden«.

Berøres *C* nu afledende, borttages dens frie Elektricitet, og dens Hyldemarskugle falder ned; men saa frigjøres en Del af *B*'s negative Elektricitet, og dens Hyldemarskugle gjør et Udslag, dog mindre end *C*'s. Derpaa kan *B* berøres afledende o. s. fr.; Udslagene blive mindre og mindre og ophøre tilsidst. Istedetfor at udlade Apparatet ved saadanne Partialudladninger,

kan man ogsaa udlade det paa én Gang ved at bringe de to Metalplader i ledende Forbindelse med hinanden. Dette kan ske ved en Udladertang σ : to sammenleddede Metalstænger, forsynede med Glashaandtag; berører man den ene Plade med Enden af den ene Stang og da nærmer Enden af den anden Stang til den anden Plade, saa vil der ved en vis lille Afstand imellem disse sidste springe en stærk elektrisk Gnist over, som dog egentlig er en Række af

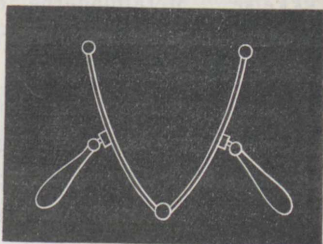


Fig 44.

hurtig paa hinanden følgende Gnister (Partialudladninger), der kun kunne skjælnes fra hverandre, naar man betragter Spejlbilledet af dem i et hurtigt roterende Spejl. Man kan ogsaa lægge en Haand paa hver af de to Plader, og man faar da en pludselig, krampagtig Fornemmelse, et elektrisk »Stød«, der, naar det er svagt, navnlig føles i Haandleddene, stærkere i Albuerne, og endnu stærkere i Brystet.

Man har dog ved ingen af de nævnte Udladninger helt berøvet Apparatet dets Elektricitet. Sagen er den, at ved de stærke Tiltrækninger imellem Pladernes Elektriciteter, drages disse tildels lidt ind i Glasset, saa at det er en forholdsvis ringe Mængde af den i Apparatet værende Elektricitet, som findes paa Pladerne, og i Udladningen vil foruden disses Elektriciteter kun de i Glaspladen yderst siddende Elektriciteter deltage. At dette virkelig forholder sig saaledes, kunde man vise ved, naar Apparatet er færdig ladet, at flytte Metalpladerne bort og udlade dem, og dersom man saa f. Ex. vilde lægge en Haand paa hver af Glaspladens to Sider, vilde man føle et antageligt Stød.

Naar man derfor har udladet Apparatet, kan man endnu foretage nogle mindre og stedse aftagende Udladninger, de saakaldte Restudladninger. Disse skyldes de Elektriciteter, som have trukket sig ind i Glasset, men som efter Udladningen efterhaanden træde ud paa Metalpladerne igjen.

Som nævnt naaer man en desto større Virkning, jo tyndere Glaspladen er; men paa den anden Side maa det iagttages,

at Pladen ikke er saa tynd, at Elektriciteterne i de to Metalplader ved deres indbyrdes Tiltrækning gjennebore Glasset, da Apparatet saa er ubrugeligt; Erfaringen giver den passende Tykkelse. Metalpladerne ere noget mindre end Glaspladen, da deres Elektriciteter ellers let vilde forenes igjennem Luften udenom den sidste.

Kondensatoren kunde ogsaa, istedetfor at have en Isolator af Glas eller i det Hele taget en fast Isolator, have havt Luft imellem de to Metalplader; men Pladerne maatte saa for at give samme Virkning have staaet i en 6 Gange mindre Afstand fra hinanden (27), hvilket vilde være saa meget mere uheldigt, som Elektriciteten langt lettere gjennebryder Luft end Glas. Om nogen Indtrængen af Elektricitet i Isolatoren kunde der heller ikke blive Tale, saa at Udladningen vilde være langt svagere, og der blev ingen Restudladninger.

40. **Franklins Ladningstavle** er en Kondensator, hvor de to bevægelige Metalplader ere erstattede af Stanniol eller Tinfole (Belægninger), som er klæbet til Glassets to Sider.

Skulle Metalpladerne eller Belægningerne være store, er den nævnte Form for en Kondensator uhensigtsmæssig, og man benytter da Leydnerflasken, konstrueret af Kleist (1745) og Aaret efter, uafhængig heraf, af Cunæus i Leyden. Leydnerflasken er en godt isolerende Glasflaske, paa hvis Yder- og Inderside der er klæbet Stanniolpapir; i Halsen sidder en Træ-



Fig. 45.

prop, hvori er fastgjort en Metalstang, som foroven ender i en Kugle, og fra hvis nederste Ende der hænger en Metalkjæde ned til den indre Belægning; denne sidste er Kollektorplade, den ydre Belægning Kondensatorplade, og naar Apparatet skal lades, holder man derfor Flasken i Haanden og lader Kuglen berøre den Konduktor, fra hvilken Ladningen skér. Processen er den samme som før nævnt. Vil man udlade Leydnerflasken, bringer man den ydre Belægning i ledende Forbindelse med Kuglen og derved med den indre Belægning.

Flere Leydnerflasker kunne samles til et Leydnerbatteri, en bekvemmere Form end en stor Leydnerflaske; alle ydre Belægninger forenes derved, at Flaskerne staa paa et stort Stykke Stanniol, de indre derved, at Kuglerne ere forbundne ved Metalstænger eller -kjæder. Ladningen kan ske paa almindelig Maade eller hurtigere derved, at en Flaskes ydre Belægning forbindes med Kuglen paa den næste Flaske; man fører saa Elektricitet til den indre Belægning i den første Flaske, og enhver anden indre Belægning lades da med den Elektricitet, der er frastødt paa den foregaaende Flaskes ydre Belægning.

41. **Maaleflasken.** Størrelsen af et Batteris Ladning kan maales med Lanes Maaleflaske. Denne bestaar af en Leydnerflaske, fra hvis ydre Belægning der gaar en Metalkjæde op til en Metalstang, som i en isolerende Fod kan forskydes frem og tilbage, og en i dens ene Ende værende Kugle derved bringes i en vis Afstand fra Flaskens Kugle. Det Batteri, hvis Ladning man vil maale, isoleres under Ladningen, og den paa dets ydre Be-

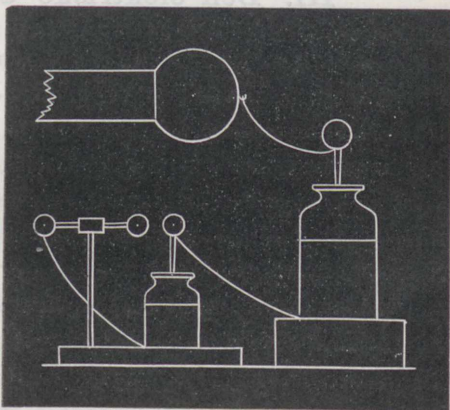


Fig. 46.

lægning frastødte Elektricitet ledes over til Maaleflaskens indre Belægning; naar Maaleflasken saa er bleven ladet til en vis Grad, forene dens Belægnings Elektriciteter sig i en Gnist imellem de to Kugler, og i Antallet af saadanne Gnister har man derfor et Maal for Batteriets Ladning.

42. **Kondensator-Elektroskopet** benyttes til at paavise Tilstedeværelsen af meget svag Elektricitet, hvor det almindelige Elektroskop vanskelig vil kunne gjøre god Nytte. Det bestaar af et Guldblad-Elektroskop, men med en Metalplade istedetfor Metalkuglen, og Metalpladen er ferniseret paa Oversiden; ovenpaa denne Metalplade sættes en anden lig-

nende, som er ferniseret paa Undersiden og er forsynet med et Glashaandtag. Disse Metalplader med det mellemliggende Fernislag udgøre en Kondensator med stort Fortætningstal. Det til Undersøgelse foreliggende Legeme bringes i Berøring med den nederste Plade, Kollektorpladen, medens den øverste, Kondensatorpladen, aflædes, og der vil altsaa bindes saa megen Elektricitet ved Fernislaget, at Legemet mister al sin Elektricitet. Derefter fjærnes Legemet, den øverste Plade løftes op, og den i den nederste Plade værende Elektricitet vil da udbrede sig over det Hele og fremkalde et Udslag af Bladene.

III. Den elektriske Udladning.

43. Den elektriske Gnist. Naar to Ledere med forskjellig Art af Elektricitet ere hinanden tilstrækkelig nære, eller i det Hele naar to Ledere med forskellige Potentialer ere hinanden nære, springer der en elektrisk Gnist over imellem dem igjennem Luften. Modsatte Elektriciteter forene sig i Gnisten, der altsaa ikke gaar i nogen særlig Retning. Der ses et Lys og høres et lille Smæld.

Ved spektroskopisk Undersøgelse af Gnisten har man fundet, at der finder en Glødning Sted: smaa glødende Partikler af de to Ledere springe over imellem dem, hvilket kan ses deraf, at naar Gnisten dannes imellem en Sølv- og en Guldkugle, bliver den første paa Gnistens Sted besat med ganske smaa Guldpartikler, den sidste med Sølvpartikler; men tillige kommer Luften i Glød, saa at man kan tale om den egentlige Gnist og en glødende Luft. Smældet hidrører fra Luftens pludselige Opvarmning.

Gnistens Varighed er ikke en Gang en Milliontedel af et Sekund. Dens Farve afhænger efter det Foregaaende af saavel Ledernes som Luftens Art. Er Gnisten kort, er den retliniet, længere Gnister ere zigzagformige, hvilket hidrører fra en ulige Fortætning af Luften under Elektricitetens Overgang.

Ved Slagvidden forstaar man den Afstand, hvortil to Ledere skulle nærmes, for at Gnistdannelsen skal ske; naar

der bortsés fra meget smaa og fra meget lange Gnister, er Slagvidden proportional med Ledernes Potentialforskjel, alt iøvrigt lige.

Skér Udladningen af Ledernes Elektricitet i et luftfortyndet Rum, udebliver den egentlige Gnist, og kun et glødende Luft-hylster kommer til Syne. Dette kan vises ved Hjælp af Geisslerske Rør, der f. Ex. kunne have den i Figuren angivne Form: et Glasrør, der er



Fig. 47.

snevert paa Midten, og i hvis Ender der er indsmeltet Platintraade; i Røret findes fortyndet Luft. Ogsaa et »elektrisk Æg« kan benyttes: en Glasbeholder af Form som et Æg, indsat i to Messingbøsninger, hvori der er befæstet to i Kugler sig endende Metalstænger (dog saaledes, at den ene er forskydelig); ved Hjælp af et Rør med en Hane kan Ægget fyldes med vedkommende Luftart, og dennes Tryk varieres. De to Metalstænger forbindes med modsat ladede Konduktorer.

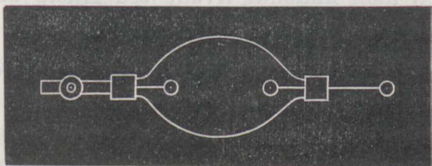


Fig. 48.

Er der atmosfærisk Luft i Ægget, og den fortyndes i tilstrækkelig Grad, spaltes Lyset, idet der dannes længere røde Striber fra den positive Kugle, og mindre violette fra den negative; ved yderligere Fortynding forlænges de første, medens de sidste forsvinde, dog saaledes at den negative Kugle og en Del af dennes Stang vedblivende er omgivet af et violet Lys.

Den elektriske Udladning kan ikke foregaa i det tomme Rum. — Gnister ved Kondensatorens Udladning er omtalt.

44. Udladninger igjennem andre Legemer end Luft iagttages bedst ved Henley's Udlader: to Metalstænger, der bæres af Glasfodder, og som ved Hængsler kunne drejes, ligesom de kunne forskydes frem og tilbage, saaledes at Afstanden imellem de imod hinanden vendende Ender af Stængerne varieres. De to Metal-

stænger ende mod hinanden i Kugler eller Spidser, og her-

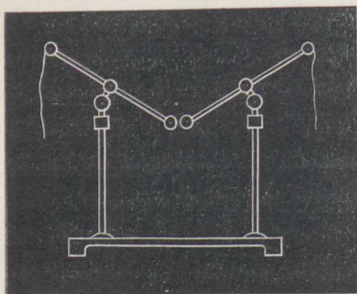


Fig. 49.

imellem anbringes det Legeme, hvorigjennem Udladningen skal ské, medens Stangens to andre Ender sættes i Forbindelse med Belægningerne paa et Leydnerbatteri. Skér Udladningen igjennem en Metaltraad, opvarmes denne, og Opvarmningen er ligefrem proportional med Traadens Modstand og Kvadratet paa Batteriets Ladning. Op-

varmningen kan blive saa stærk, at Traaden kommer i Glød. Vil man antænde Krudt ved Hjælp af Udladningen, maa denne gaa igjennem en i Krudtet anbragt fugtig Hampesnor, ellers spredes kun Krudtet. Forøvrigt har Udladningen lignende Virkninger udadtil som de elektriske Strømme (se senere).

Gaar Udladningen igjennem en fast Isolator, vil denne kunne gjennebores og sønderknuses; Træ bliver saaledes spaltet og kastet omkring i Stykker; i Glas dannes der et Hul, hvis Rande ere ugjennemsigtige af Glaspulver; her maa Udladningen ské imellem Spidser, og Glasset være vadsket godt med Alkohol og Svovlæther, for at Udladningen ikke skal gaa langs Overfladen. Anbringes Spidserne paa Glassets to Sider, lige ud for hinanden og i Centrum af en Ring af Stearin paa Glasset, vil der under Udladningen komme en Gjennemboring etsteds ved Stearinringens indre Flade; anbringes Spidserne lige langt fra og paa modsatte Sider af Centrum, kommer der en Mængde saadanne Gjennemboringer ved Stearinringen, hvilket alt tyder paa, at Luftlaget over Stearinen er mindre godt ledende end Luften over Glasset, idet der først har fundet en Udbredelse af Elektricitet Sted paa Glasset. Anbringes der to Stearinringe paa Glasset, én paa hver Side, men saaledes, at de skjære hinanden, og Udladerspidserne i disse Kredses Centrer, vil der, naar Udladningen finder Sted, komme en Gjennemboring i det ene Skjæringspunkt imellem de indre Rande. Saadanne Udladningsforsøg ere anstillede i Mængde.

Gaar Udladningen igjennem en lille Pakke Papir eller et Stykke Pap, dannes der et Hul, som er flosset udadtil; de enkelte Huller i Papirstykkerne ligge i en ret Linie. Men ligger der et Stykke Stanniolpapir imellem Papirbladene, og staa Spidserne ikke lige over for hinanden, ligge Hullerne paa Stanniolets ene Side i én ret Linie, paa dets anden Side i en anden ret Linie, og begge Linier danne samme Vinkel med Forbindelseslinien imellem Spidserne. Der foregaar nemlig en Fordeling af Elektriciteten i Stanniolet, og Udladningen faar en resulterende Bevægelse.

Igjennem slet ledende Væsker gaar Udladningen under Dannelsen af en Gnist, og Vædsken slynges ofte højt tilvejs, eller, hvis den er indesluttet i et Rør, knuses dette.

Dannes der Gnister i nogen Tid i den atmosfæriske Luft, omdannes nogen Ilt til Modifikationen Ozon, hvorfra den ejendommelige Lugt ved Elektricitetn hidrører; er Luften fugtig, dannes der tillige noget Salpetersyre. Dannes Gnisten i Knaldluft, forenes dens Bestanddele til Vand, og i en Blanding af Chlor og Brint, forene disse sig til Chlorbrinte.

45. Naar man drejer en Holtz's Maskine rundt i Mørke, lyse Spidserne paa de to Indsugere; der viser sig smaa Lysbuske paa de Spidser, hvorfra der strømmer positiv Elektricitet, smaa lyse Prikker paa de Spidser hvorfra der strømmer negativ Elektricitet. Lysphænomenet i Mørke ved Elektricitetens Udstømning er altid langt større for positiv end for negativ Elektricitets Vedkommende. Drejer man Skiven i en stærk Elektrisermaskine hurtig rundt i tør Luft, hører man en stærk Susen, og ere Konduktorerne forsynede med smaa Kugler, sér man paa den positive Konduktors Kugle en Lysbusk med en tyk Rod, hvorfra der vifteformig udgaar Straaler; betragter man Lysbusken i et hurtig roterende Spejl, sér man, at der foregaar en Række hurtig paa hinanden følgende, stødvise Udstømninger. Den negative Konduktors Lysbusk er meget mindre.

46. **Luftelektricitet.** Naar Luften er klar og blaa, viser den sig at være positiv elektrisk tilvejs og desto mere, jo højere man kommer; Jorden derimod har et Overskud af negativ Elektricitet. En lang, lodret Metalstang vil derfor ved Fordeling faa negativ Elektricitet øverst, positiv nederst, hvad

der let kan paavises. Luftelektriciteten maales saaledes: Et Guldblod-Elektroskop har istedetfor en Metalkugle en Kobberstang, hvortil der er befæstet den ene Ende af en lang Metaltraad, i hvis anden Ende der sidder en Messingkugle; skydes denne tilvejs, gjøre Bladene et Udslag og det desto større, jo højere Kuglen stiger. Elektriciteten, der fremkalder Udslaget, findes i Atmosfæren og opstaar ikke ved Gnidning af Kuglen imod Luften, thi der kom intet Udslag, naar Kuglen kastedes vandret ud.

Naar Vanddampene ved deres Fortætning danne Skyer, blive disse ladede med den tilstedeværende positive Elektricitet, der kan bevæge sig i Skyen som i en metallisk Leder; tillige kan Atmosfærens Elektricitet eller en elektrisk Sky virke fordelende paa Elektriciteten i en Sky, og deles Skyen ved Vinden eller paa anden Maade i to eller flere Dele, faa disse mindre Skyer forskellige Arter af Elektricitet, saa at der kan slaa Gnister over imellem Skyerne indbyrdes og imellem en Sky og Jorden, i hvilken sidste den elektriske Sky fremkalder en Fordeling; disse Gnister kaldes Lyn og det er den sidste Slags Lyn, der ere farlige (Lynet slaar ned), idet de kunne tænde Ild og dræbe eller i alt Fald for en Tid lamme et Menneske, de træffe. Naar Lynet slaar ned, skér det navnlig i de bedst ledende Legemer og fremspringende Dele som Bakker, Træer etc. Tordenen er den Lyd, der ledsager Lynet, ligesom en elektrisk Gnist er ledsaget af et Smæld; Tordenen er dog langvarig og »rullende« paa Grund af Lydens Tilbagekastning fra Skyerne, og fordi der i Reglen dannes flere Gnister paa en Gang. Tordenen skyldes altsaa den pludselige Opvarmning af Luften. Da Lyden forplanter sig med en Hastighed af noget over 1000' i Sekundet, kan man finde, »hvor langt Lynet er borte«, ved at multiplicere 1000 med Antallet af Sekunder, der ligger imellem det Øjeblik, man sér Lynet, og det, man hører Tordenen.

Franklin har først (7. Nov. 1749 i Philadelphia) paavist den fuldstændige Lighed imellem den elektriske Gnist og Lynet og opfordret til Foretagelse af Forsøg derover. Franskmanden Dali-bard gjorde dette efter Franklins Anvisning, idet han i en Have i Nærheden af Paris oprejste en Jærnstang, der foroven endte i en Spids, forneden var isoleret fra Jorden, og havde en Højde

af 13 Meter. Da under en Storm den 10. Maj 1752 Skyer trak hen over Stedet, kunde man i Løbet af et Kvarters Tid trække stundom meget lange Gnister af den nederste Ende af Stangen.

Ubekjendt hermed gjorde Franklin en Maaned senere et lignende Forsøg, men benyttede en Drage, der endte i en Metalspids; Snoren, der førte op til Dragen, var gjort fast i en Nøgle, hvori der var bundet et Stykke Silketøj, som var fastgjort i et Træ. I Begyndelsen iagttog Franklin Intet trods et stærkt Uvejr, men da der saa faldt nogen Regn, blev Snoren fugtig, og han kunde trække Gnister af Nøglen.

»Kornmod« og »Sildeglimt« ere fjærne Lyn i Horisonten.

Lynets Farve er blændende hvid i Atmosfærens lavere Egne, men violet i de højere Regioner.

Undertiden mærkes der i stor Afstand fra det Sted, hvor Lynet slaar ned, et stærkt, undertiden dødeligt Stød, et Bagslag, der hidrører fra, at naar Skyens Elektricitet har neutraliseret sig med den i Jorden tiltrukne Elektricitet, vender Jorden pludselig tilbage til den neutrale Tilstand, og den derved forårsagede, hurtige Bevægelse af Elektriciteten i Jorden fremkalder Bagslaget.

Ved Lynaflederen, opfunden af Franklin, beskytter man Bygninger etc. imod Lynets ødelæggende Virkninger. Den bestaar af en Metalstang, der føres op langs Bygningen og foroven ender i en Platinspids, medens den med sin nederste Ende gaar ned i et vandførende Lag i Jorden. Den ved Fordeling i Lynaflederen tiltrukne Elektricitet vil da som Regel strømme over imod Skyen og neutralisere dens Elektricitet, og skulde Lynet slaa ned, gaar det kun langs Metalstangen. En Lynafleder regnes at kunne beskytte Rummet indenfor en Kegleflade, hvori den er Axe, og hvis Grundflades Radius er det dobbelte af Lynaflederens Højde.

St. Elmsild ere smaa Lysbuske, der i Mørke vise sig paa fremstaaende Gjenstande (Masterne paa et Skib, Hestøren etc.). De skyldes en jævn Udstrømning af Elektricitet, naar Luften er meget elektrisk.

47. **Nordlys** ere Lysninger i Atmosfæren, der vise sig mest pragtfulde i de arktiske Egne, men ogsaa iagttages under

lavere Breddegrader. Paa disse sidste sés Nordlyset i Almindelighed som en lysende Bue (mod Nord paa den nordlige, mod Syd paa den sydlige Halvkugle) med Enderne støttede til Horisonten og altsaa begrænsende et paa denne hvilende



Fig. 49.

mørkt Segment; den lyse Bue er i en stadig Bevægelse i radiær Retning, dens Farve er hvid, men der udsendes hyppig røde og grønne Straaler opefter paa Himlen, og disse Straaler have Retning henimod et Punkt udover Zenith, nemlig det Punkt, hvor Inklinationsnaalens Forlængelse skjærer Himmelskuglen, og hvor Kronen dannes.

I de arktiske Egne iagttages Nordlysene under højst forskellige Former. Simplest viser det sig som en hvidlig Lysning som begyndende Dagslys over en Del af Himlen og altsaa med den øvrige Del som mørke Flader; Lysningen kan være saa stærk, at man kan sé Bjerge i flere Miles Afstand, og den sér ud, som om den hidrørte fra en Lyskilde udefra, der sendte sine Straaler igjennem Atmosfæren som Sol- og Maanelys. Det viser sig ogsaa undertiden som Lyspletter omkring paa Himlen, idet Lyset synes at straaale ud fra disse Pletter selv, eller som lysende Baand, der i Reglen gaa i magnetisk Øst og Vest med en skarp Kant forneden, men udsømmende Rand foroven, undtagen naar Baandet gaar igjennem

Zenith, thi da ere begge Rande lige skarpe. Saadanne Baand vise sig, naar de ere stærkt udviklede, som folderige Tæpper, der ere i en stadig Bevægelse med Bølger i vandret og i lodret Retning og udsende Straaler imod det magnetiske Zenith, saa at det Hele kan faa et vifteformigt Udseende.

Smukkest ses Nordlyset som en Mængde Straaler paa forskellige Dele af Himlen og med Retninger op imod det magnetiske Zenith, hvor Kronedannelsen skér; dette Punkt selv er i et lille mørkt Felt omgivet af en stærk Lysbevægelse.

Jo stærkere og smukkere Nordlyset er, desto kortere varer det i Almindelighed. Den store Bevægelighed i Nordlysene er karakteristisk for dem i de arktiske Egne, ligesaa den Omstændighed, at de dér naa ned til Atmosfærens laveste Regioner.

Edlund har forklaret Nordlyset paa følgende Maade: Jordmagnetismen inducerer ved Jordens Axeomdrejning en Strøm af Elektricitet, der gaar fra Jorden opefter i Atmosfæren, medens Jorden bliver tilbage med negativ Elektricitet; ved Æquator gaar Strømmen lodret opefter, men paa Steder med højere Bredder gaar Strømmen skraat opefter, i nordlig Retning paa den nordlige, i sydlig Retning paa den sydlige Halvkugle, og jo længere man kommer fra Æquator, desto svagere er den opad gaaende Strøm, ja i arktiske Egne gaar Strømmen af positiv Elektricitet ned imod Jorden og frembringer da de Lysphænomener, vi kalde Nordlys; Strømmen gaar ned imod Jorden i bestemte Egne, et Nordlysbelte, som efter Edlunds Theori har sit Midtpunkt imellem Jordens magnetiske og geographiske Poler. Erfaringen viser ogsaa, at der strækker sig et saadant Belte igjennem Hudsonsbugten, Syd-Grønland, Spitsbergen og videre temmelig langt mod Nord og saa tilbage. Befinder man sig altsaa Nord for dette Belte, har man Nordlysene imod Syd, og i selve Beltet har man dem i begge Retninger. — Skér Udladningen af Luftens positive og Jordens negative Elektricitet ikke som nævnt ved en jævn Strøm, kan den ské som Gnist, Lynet; dette opstaar hyppigere i de æquatorale Egne.

48. Elektricitetens Forplantningshastighed. Kirchhoff har ad theoretisk Vej godtgjort, at Elektriciteten forplanter sig med samme Hastighed som Lyset, altsaa cr. 40500 Mil i Se-

kundet. Ved de Forsøg, man har anstillet, har man fundet meget afvigende Resultater.

Wheatstone (1834) opstillede 6 isolerede Metalkugler i en ret Linie; 2 og 3 saavel som 4 og 5 vare indbyrdes forbundne med to meget lange og lige lange Kobbertraade, 1 sattes i Forbindelse med den indre, 6 med den ydre Belægning paa et Leydnerbatteri. I det Øjeblik, den sidste For-

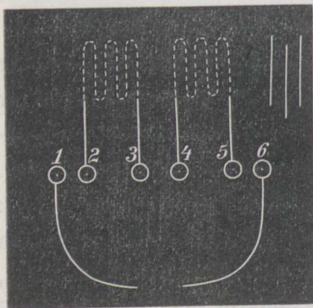


Fig. 50.

bindelse tilvejebragtes, slog der 3 Gnister over, nemlig imellem 1 og 2, 3 og 4, 5 og 6. Men drejedes et plant Spejl meget hurtig rundt om en Axe, der var parallel med den rette Linie, hvori Kuglerne befandt sig, saa man i dette Spejl 3 aflange, lyse Striber, hver svarende til sin Gnist, og den midterste var forskudt lidt for de to yderste; denne Forskyd-

ning, hvis Størrelse maalt, skyldes den Tid, Elektriciteten har været om at gennemløbe de lange Kobberledninger, og er Spejlets Omdrejningshastighed bekendt, kan man beregne Elektricitetens Hastighed. Denne fandtes dog at være cr. 61000 Mil.

W. Siemens (1845) gik saaledes frem: En blank Staalcylinder *C* roterer hurtig om en Axe, og denne er ved to Ledningstraade sat i Forbindelse med de indre Belægninger paa

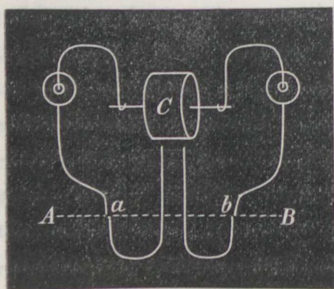


Fig. 51.

2 Leydnerflasker, fra hvis ydre Belægninger der fører to Traade hen til Cylinderens Overflade i ringe Afstand derfra; disse to sidste Traade have en Afbrydelse ved *a* og *b*. Udskyder man nu en Metalkugle i Retningen *AB*, vil den tilvejebringe Forbindelser ved *a* og *b*, og i samme Øjeblik ses Gnister paa Metalcylinderen; er der brugt nogen Tid til Be-

vægelsen fra *a* til *b*, saa vise de to Gnister sig forskudte for hinanden, hvilket ogsaa vil være Tilfælde, om Forbindelserne

ved a og b samtidig tilvejebringes, naar den ene Ledning er meget længere end den anden; er dette sidste Tilfældet, saa kan man, som i Wheatstones Forsøg, af Cylinderens Omdrejningshastighed og den ene Gnists Forskydning for den anden beregne Elektricitetens Hastighed. Siemens fandt i Jærntraade en Hastighed af cr. 35000 Mil.

IV. Berøringselektricitet (Galvanisme, Voltaisme).

49. Det første Stød til Berøringselektriciteten gav en italiensk Læge Galvani (1791), men Volta forklarede de af Galvani gjorde Iagttagelser paa rette Maade (fra 1792) og lagde derved Grundstenen til Berøringselektriciteten, som skal omtales i det følgende.

Naar to forskjellige Ledere berøre hinanden, opstaar der en vis elektrisk Potentialforskjel imellem dem, hvis Størrelse alene afhænger af de to Legemers Natur og er konstant for de samme to Legemer. Kalde vi denne Potentialforskjel for to bestemte Legemers Vedkommende p , saa ville de to Legemer, dersom de under Berøringen ere isolerede, faa Potentialerne henholdsvis $+\frac{p}{2}$ og $-\frac{p}{2}$; er det første afledet til Jorden under Berøringen, bliver dets Potential 0, det andets Potential $\div p$, og dersom det andet er afledet, er det førstes Potential p , det andets 0; dersom de to Legemer under Berøringen ere i ledende Forbindelse med en Elektricitetskilde, og det førstes Potential er q , saa er det andets $q \div p$; er det sidste Potential q , saa er det førstes $q + p$.

Der opstaar altsaa ved Berøringen en Kraft, den elektromotoriske Kraft, som driver positiv Elektricitet over paa den ene Plade (den, der faar højest Potential) og negativ over paa den anden (den, som faar lavest Potential), og denne Udvikling af Elektricitet vedvarer, indtil den elektromotoriske Kraft holder Ligevægt med Tiltrækningen imellem de uensartede Elektriciteter. Den elektromotoriske Kraft er kun afhængig af Legemernes Natur og uafhængig af deres

Størrelse og Form saavel som af Berøringsfladens Størrelse, hvilket vil blive vist i det følgende. De udviklede Elektricitetsmængder voxe derimod med Legemernes Størrelser, og det er derfor ved Forsøgene over denne Elektricitetsudvikling bedst at tage store Legemer.

Helmholtz har forklaret den elektromotoriske Kraft som bestaaende i en forskjellig Tiltrækning, et Legeme i umærkelig smaa Afstande skulde udøve paa positiv og paa negativ Elektricitet. Det ene Legeme være A, det andet B; i Laget tæt op til deres Berøringsflade, vil f. Ex. den i B værende positive Elektricitet tiltrækkes stærkere af A end den negative, og den i A værende negative Elektricitet tiltrækkes stærkere af B end den positive; Elektriciteterne ville saa begive sig paa Vandring, den positive over i A, den negative over i B, og dette vil vedblive indtil den Tiltrækning, som Legemerne udøve paa Elektriciteterne, holder Ligevægt med den Tiltrækning, som de frigjorte, uensartede Elektriciteter udøve paa hinanden.

De angivne Virkninger ved Berøringen imellem to Legemer fremkomme ogsaa, men langt mindre kjendelige, naar det ene Legeme er en Leder, det andet en Isolator, ja ogsaa naar de begge ere Isolatorer, og det paa samme Maade som ved Gnidning af de to Legemer. Hvad der er sagt ovenfor, er altsaa almenlydigt. Buff, der har godtgjort dette, antager derfor ogsaa, at Gnidningselektriciteten skyldes Berøringen imellem Legemerne, og at Gnidningen kun bevirker, at Legemerne komme i en inderligere Berøring med hinanden.

50. **Berøring imellem faste Ledere.** Volta paaviste Elektricitetsudviklingen ved Berøring imellem faste Ledere (Voltas Fundamentalforsøg). Man betjener sig af et Kondensator-Elektroskop med Plader af forskjellige Metaller, f. Ex. en Zink-Kollektorplade og en Kobber-Kondensatorplade, og som sædvanlig med et isolerende Fernislag. Man har da to andre Metalplader uden saadant Fernislag, en Zink- og en Kobberplade, begge forsynede med Glashaandtag. Disse sidste bringes i Berøring med hinanden, skilles derefter ad uden Gnidning, og Zinkpladen bringes i Berøring med Kollektor-, Kobberpladen med Kondensatorpladen; derefter skér det samme

igjen, og saaledes flere Gange. Løftes Kondensatorpladen derefter op, gjøre Bladene Udslag med positiv Elektricitet, og Kondensatorpladen kan let vises at besidde negativ Elektricitet; disse Elektriciteter bleve altsaa udviklede ved Metallernes Berøring og derefter meddelte Kondensatorens to Plader.

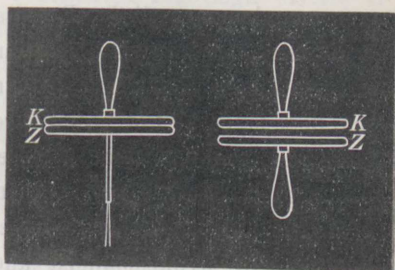


Fig. 52.

Dersom man havde haft en Kobber-Kollektorplade og en Zink-Kondensatorplade, og efter Berøring imellem de uferniserede Metalplader bragt Kobberpladen hen til Kollektorpladen, Zinkpladen til Kondensatorpladen, vilde Bladene, naar den sidstnævnte blev hævet op, have givet Udslag med negativ Electricitet.

Var Elektroskopet tilstrækkelig fintmærkende, kunde man ogsaa have haft de to Plader paa Elektroskopet uferniserede, og ved blot at hæve den øverste Plade op, vilde Udslaget fremkomme paa Grund af den Elektricitet, der ved Berøringen var fremkaldt i den nederste Plade.

Forsøget kan ogsaa vises, naar man bringer Kondensatorens ferniserede Zink- og Kobberplade i Forbindelse med hinanden ved en isoleret Zink- eller Kobbertraad. Den ved Berøringsstedet imellem de forskellige Metaller fremkaldte Elektricitet vil da vedblivende udvikles og fortættes ved Fernislaget, indtil den rette Potentialforskjel er naaet; Traaden fjernes da, og Kondensatorpladen løftes op. Udslaget forandres ikke, naar man gnider Pladen med Traaden paa det nævnte Berøringssted, saa at den ved Forsøgene ved Gnidning muligvis opstaaede Elektricitet er uden Betydning. Havde man taget en sammenloddet Zink- og Kobbertraad, ført Zinkenden hen til Zinkpladen, Kobberenden til Kobberpladen, eller havde man taget en Strimmel istedetfor en Traad, vilde Udslaget have været det samme, hvilket viser den elektromotoriske Krafts Uafhængighed af Berøringsfladens Størrelse.

51. **Voltas Spændingslov.** Spørges der nu om, hvilke Metaller der faa højest, hvilke lavest Potential ved Berøringen, — og i disse Forhold høre f. Ex. Kul, Graphit, Brunsten med — saa er man kommen til det Resultat, at de alle kunne opstilles i en Række, og om denne gjælder det, at et Led i Rækken faar højest Potential ved Berøring med et efterfølgende, hvilket altsaa faar lavest. Potentialdifferensen bliver desto større, jo længere de vedkommende to Metaller staa fra hinanden i Rækken, og om Potentialdifferensen imellem to Metaller gjælder det, at den er lig Summen af Potentialdifferenserne imellem de to Metaller og hvilkesomhelst andre, imellem dem indskudte Metaller, saaledes at man faar samme Potentialdifferens imellem to Metaller, enten de ere i umiddelbar Berøring med hinanden, eller der imellem dem er indskudt et vilkaarligt Antal andre Metaller. Derfor er Potentialdifferensen imellem to Kobberplader, der ere adskilte ved en Zinkplade, lig Nul.

At den nævnte Lov, Voltas Spændingslov, er rigtig, kan vises derved, at naar man bringer Zink-Kollektorpladen og Kobber-Kondensatorpladen i ledende Forbindelse med hinanden ved en Zink- eller Kobbertraad eller ved en anden Metaltraad, som f. Ex. godt kan være sammenloddet af forskellige Metaller Stykke efter Stykke, saa give Bladene altid det samme Udslag efter Traadens og Kondensatorpladens Fjernelse.

Af Loven følger det endvidere, at man intet elektrisk Kredsløb kan faa i en sluttet Ledning, dannet af Led i denne Række. Lad os tænke os tre Led i Rækken, *A*, *B* og *C*; Potentialdifferensen imellem *A* og *B*, som almindelig skrives $A|B$, være *m*, paa samme Maade $B|C = n$, og vi vide da, at

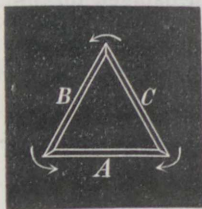


Fig. 53.

$A|C = m + n$. Har man nu dannet en sluttet Ledning af disse tre Metaller, saa vil der ved Berøringsstedet imellem *A* og *B* drives positiv Elektricitet over til *A* med en elektromotorisk Kraft, hvis Størrelse maales ved *m*, ved Berøringsstedet imellem *B* og *C* drives der positiv Elektricitet over paa *B* — altsaa i samme

Retning som før — med en Kraft *n*, og endelig drives der positiv Elektricitet fra *C* over til *A* — i modsat Retning til

de to tidligere — med en Kraft $m + n$; da altsaa positiv Elektricitet drives med ligestore Kræfter til modsatte Sider i Ledningen, saa er denne i elektrisk Ligevægt. Dette er i og for sig ogsaa ganske naturligt, thi dersom der opstod en elektrisk Strøm, vilde Potentialdifferenserne forandres, og for at holde dem ved deres oprindelige, bestemte Værdier, maatte der stadig opstaa ny Elektricitet; da der imidlertid udvikles Varme ved en elektrisk Strøm, vilde man paa den Maade faa Varme gratis, hvilket strider imod Loven om Energiernes Vedligeholdelse. — Dersom et af de 3 Legemer derimod ikke kunde indordnes i Rækken, følgende Loven, saa vilde der være opstaaet en elektrisk Strøm, idet der saa vilde være et Overskud af elektromotorisk Kraft, som drev den positive Elektricitet til den ene Side, negativ altid i den modsatte Retning; saadanne Legemer ere Vædskerne.

Paa Grund af de hyppig meget smaa Potentialdifferenser imellem to Metaller, kan der let opstaa lidt Usikkerhed ved Opstillingen af Metallernes Række, men Afvigelserne i de forskellige Rækker, der ere opstillede, ere meget smaa. Volta har selv givet en saadan Række; Pfaff's Række er følgende:

Zink, Cadmium, Tin, Bly, Jærn, Wismuth, Antimon,

Kobber, Sølv, Guld, Platin;

ifølge Volta staar Graphit, Brunsten imellem Guld og Platin.

Man har altsaa f. Ex.

Zink | Sølv = Zink | Tin + Tin | Antimon + Antimon | Sølv
eller kortere

Zn | Ag = Zn | Sn + Sn | Sb + Sb | Ag

og f. Ex. Zn | Ag = ÷ Ag | Zn.

Man sætter ofte Zn | Cu, altsaa Potentialforskjellen eller den elektriske Differens imellem Zink og Kobber, lig 100 (den er iøvrigt lig $\frac{3}{4}$ Volt) og bestemmer de øvrige Differenser i Forhold hertil; saaledes have Cu | Pt = 23 og altsaa Zn | Pt = 123.

52. Berøring imellem Metaller og Vædsker. At der ved en saadan Berøring udvikles Elektricitet, viste Volta. Forsøget kan anstilles saaledes: et Elektroskop har f. Ex. en Zinkplade skruet paa Metalstangen, og paa denne sættes

der en tynd, ferniseret Glasplade med den Vædske, man vil undersøge, f. Ex. fortyndet Svovlsyre. Ved Hjælp af en isoleret Zinktraad bringes Zinkpladen i ledende Forbindelse med Vædsken, Traaden fjernes, Glasset med Vædsken løftes op, og Bladene gøre Udslag med negativ Elektricitet. R. Kohlrausch fandt paa denne Maade fort. Svovlsyre | Zink = 115, og skulde denne Vædske altsaa gaa ind i Spændingsrækken, maatte den staa foran Zink; men var dette Tilfælde, maatte fort. Svovlsyre | Kobber være større endnu (nemlig $115 + 100$), den er derimod meget lille, hvortil saa endvidere kommer, at den fortyndede Svovlsyre saavel som Syrerne i Almindelighed blive negative ved Berøring med de sidste Led i Rækken, hvilke altsaa blive positive, og det desto mere, jo længere nede i Rækken de staa. Vædskerne kunne altsaa ikke indordnes i Rækken, og deraf følger, at naar et af de i 51 nævnte 3 Metaller, *A, B, C*, blev erstattet af en Vædske, var der en Kraft tilstede i Kredsløbet, som drev positiv Elektricitet rundt den ene Vej, negativ den modsatte.

Alkaliske Vædsker blive i det Hele positive ved Berøring med Metallerne, og hvad Opløsninger af Metalsalte angaar, saa forholde de sig i Almindelighed overfor et Metal, med hvilket de komme i Berøring, paa samme Maade som det Metal, der indeholdes i Saltet, vilde gjøre. — Metallernes Overflades Beskaffenhed kan naturligvis bringe Resultatet til at variere en Del, og ved længere Tids Berøring imellem et Metal og en Vædske kunne chemiske Virkninger imellem disse forandre Forholdet betydelig.

De Ledere, som lede Elektriciteten uden derved at undergaa chemiske Forandringer (Leddene i Spændingsrækken) kaldes Ledere af første Klasse, medens de Ledere, som kun lede Elektriciteten, naar de samtidig undergaa chemiske Forandringer (især fortyndede Syrer og Saltopløsninger, smeltede Legemer etc.), ere Ledere af anden Klasse.

53. **Galvaniske Apparater.** Tager man Ledere af første Klasse i Berøring med Ledere af anden Klasse, saa bliver Potentialdifferensen imellem de to yderste lig Summen af Potentialdifferenserne ved alle Berøringssteder i den bestemte Orden, men altsaa ikke lig den Potentialdifferens, man vilde faa,

om de to yderste Ledere vare i directe Berøring med hinanden. En saadan Samling af Ledere er et galvanisk Apparat.

Det simpleste galvaniske Apparat er et galvanisk Element; det simpleste af disse bestaar af 2 Ledere af første og 1 af anden Klasse. Som Exempel ville vi tage et Glaskar med fortyndet Svolsyre, hvori der er stillet en Kobberplade og en Zinkplade med en paasat Kobberstrimmel. Potentialdifferensen imellem Kobberpladen og Kobberstrimlen er lig

$\text{Cu} | \text{SO}_4 \text{H}_2 + \text{SO}_4 \text{H}_2 | \text{Zn} + \text{Zn} | \text{Cu}$,
hvilken Størrelse altsaa ikke er lig $\text{Cu} | \text{Cu}$,
ikke lig Nul; den er positiv, saaledes at Kobberpladen har højest (positivt) Potential, Kobberstrimlen lavest (negativt).

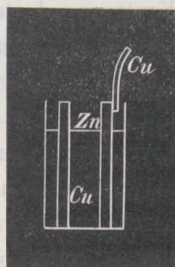


Fig. 54.

Vi sætte den nævnte Potentialforskjel lig $2e$; er da Kobberpladen afledet til Jorden, har den Potentialet 0, Kobberstrimlen altsaa $\div 2e$, er Strimlen afledet til Jorden, har Kobberpladen Potentialet $+ 2e$; dersom Elementet er isoleret, have Kobberpladen og -strimlen lige store numeriske Værdier af Potentialet, $+ e$ og $\div e$.

Bøjes Kobberstrimlen ned til Berøring med Kobberpladen, eller forbindes de to med en Kobbertraad, opstaar der ingen ny Potentialforskjel, men saa begynde Elektriciteterne at vandre, idet den positive vil gjenneumløbe Traaden fra Endepunktet med det højeste til Endepunktet med det laveste Potential, den negative den modsatte Vej; derved ville Potentialerne ved Endepunkterne forandres, men Berøringen imellem Lederne i Elementet vil søge at vedligeholde den oprindelige Værdi af Potentialforskjellen, saa at der i Elementet stadig vil strømme positiv Elektricitet i Retning »fra Zink igjennem Vædsken til Kobber«, den, der er betegnet som Strømmens Retning, og negativ den modsatte Vej. I de chemiske Virksomheder, der gaa for sig i Elementet (59), har man Udlæg for den elektriske Strøm, saa at Loven om Energiernes Vedligeholdelse er fyldestgjort; uden saadanne chemiske Virksomheder ved Berøringsfladerne kan Strømmen ikke vedligeholdes (80).

Den Kraft, der driver Elektriciteterne afsted, vil være den samme, dersom man forbinder Kobber- og Zinkpladen med

en Traad af et hvilket som helst andet Metal, f. Ex. af Sølv. Potentialforskjellen $Zn|Cu$ i ovenstaaende Udtryk vil nemlig da blive erstattet af den ligesaa store Størrelse $Ag|Cu + Zn|Ag$.

Den nævnte Kraft — Apparatets elektromotoriske Kraft — er altsaa alene afhængig af Vædskens Natur og de to Metalleres Beskaffenhed, som staa i Vædsken; jo større denne Kraft er, desto raskere vil Elektriciteten, naar Ledningen er sluttet, strømme fra Stedet med det højere Potential, den positive Pol (her Kobberpladen), igjennem den ydre Ledning til Stedet med det lavere Potential, den negative Pol (her Zinkpladen). Idet man ved Strømmens Styrke forstaar Mængden af den Elektricitet, som i en Tidsenhed passerer et Tværsnit af Ledningen, ses Strømmens Styrke at være proportional med den i Ledningen værende elektromotoriske Kraft. Strømmens Styrke maales nu i Reglen i Ampère, idet den er lig 1 Ampère, naar der i hvert Sekund føres en Elektricitetsmængde lig 1 Coulomb igjennem et Tværsnit af Ledningen (s. Absolute Enheder).

Det her nævnte Element er Voltas Bægerelement.

54. Flere Elementer kunne samles til et galvanisk

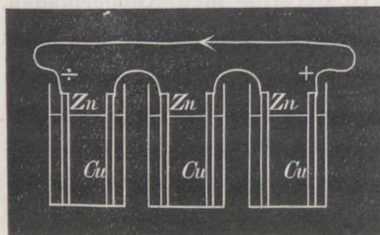


Fig. 55.

Batteri (Voltas Bægerapparat), idet Kobberpladen i det ene Element forbindes, f. Ex. ved en Kobberstrimmel, med Zinkpladen i det næste Element o. s. fr. Potentialdifferenserne imellem det sidste Elements Kobberplade og det førstes Zinkplade

vil da blive lig hvert enkelt Elements Potentialdifferens multi-

pliceret med Antallet af Elementer; forbindes de to yderste Metalflader (Polerne) ved en Metaltraad, kommer den elektriske Strøm i Gang.

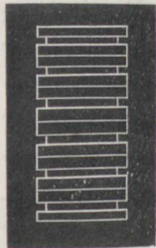


Fig. 56.

Voltas Søjle er et saadant Batteri i en anden Form. Nederst ligger en Zinkplade, derpaa en Pap- eller Tøjskive, der er gennemtrukket med en Syre eller Saltopløsning, ovenpaa Skiven en Kobberplade,

derpaa en Zinkplade, saa en fugtig Skive, saa en Kobberplade, en Zinkplade o. s. v., indtil der paa den sidste Skive ligger en Kobberplade. Dette er altsaa det samme som det omtalte Bægerapparat; den positive Pol kommer ved den nævnte Orden af Pladerne foroven, den negative forneden, og forbindes de ved en Metaltraad, kommer Elektriciteten i Bevægelse. Oprindelig laa der desuden en Kobberplade under den nederste Zinkplade, og en Zinkplade paa den øverste Kobberplade, men dette er overflødigt, da det ikke forøger Søjle's elektromotoriske Kraft. Tøj- eller Papskiverne ere lidt mindre end Metalskiverne, thi ved Søjle's Vægt presses Vædsken let noget ud af Skiverne, og den forhindres da i at løbe ned ad Søjle's Sider.

55. En anden Søjle er Zambonis tørre Søjle, bygget af uægte Guld- (Kobber) og uægte Sølvpapir (Zink) i runde Skiver; Metalladerne lægges to og to imod hinanden, saaledes at alle Flader af det ene Metal vende til den ene Side, alle af det andet til den modsatte Side. Den i Papiret værende Fugtighed erstatter de fugtige Skiver i Voltas Søjle; oventørrer man Papiret, bliver Søjlen uvirk-

som. — Den tørre Søjle benyttes til Bohnenbergers Søjle-Elektroskop. Søjlen indesluttet da i et vandret Glasrør, og Polerne, som dannes af Messingplader, ere ledende forbundne med to andre Messingplader (*a* og *g*), som ere opstillede i en lille Afstand fra hinanden. Fra en Metalkugle hænger der et Guldblod ned imellem *a* og *g*, og naar det er fuldstændig uelektrisk, er det i Hvile midt imellem de to, med modsatte Elektriciteter ladede Plader; men modtager det blot en lille Ladning af Elektricitet, frastødes det af den ene Plade, tiltrækkes af den anden og gjør da en Bevægelse henimod den sidste.

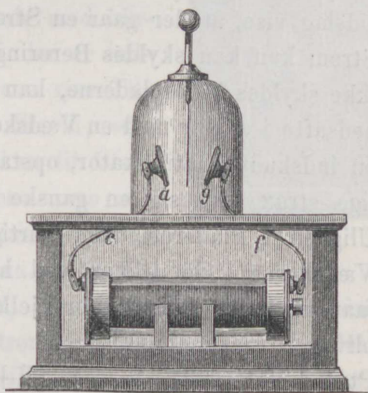


Fig. 57.

56. **Berøring imellem Vædsker.** Elektricitetsudviklingen ved Berøring imellem Vædsker har navnlig Fechner undersøgt.

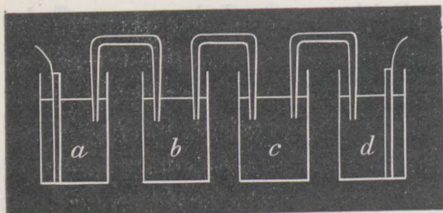


Fig. 58.

Man tage fire Glaskar, hvoraf de to yderste, *a* og *d*, fyldes med samme Vædske, og der stilles en fuldstændig rensset Platinplade i hvert af dem; de to andre Kar, *b* og *c*, ere fyldte med to andre

Vædsker. De fire Kar forbindes med 3 Hævertrør, hvis Ender ere trukne ud til Haarrør; i de Rør, der forbinde Karrene *a* og *b*, *c* og *d*, er der samme Vædske som i *a* og *d*, hvorfor Vædskerne i dem fra Begyndelsen af stode lidt højere end i *b* og *c*; disse to sidstes Forbindelsesrør indeholder en af Vædskerne i *b* og *c*. Forbindes nu de to Platinplader ved en Ledningstraad, hvori der er indskudt en fin Multiplikator — Instrument, ved Hjælp af hvilket man kan undersøge Tilstedeværelsen af en elektrisk Strøm (73) — vil Multiplikatornaalens Udslag vise, at der gaar en Strøm igjennem Ledningen, hvilken Strøm kun kan skyldes Berøringen imellem Vædskerne; at den ikke skyldes Metalpladerne, kan vises derved, at naar disse ere nedsatte i et Kar med en Vædske, og Ledningen saa sluttes med en indskudt Multiplikator, opstaar der ingen Strøm; skulde der lige strax vise sig en ganske svag Strøm, skyldes dette lidt Ulighed i Pladerne, som hurtig taber sig. — Betegner man Vædskerne i de 4 Kar ved henholdsvis V , V_1 , V_2 og V , faar man, at Potentialforskjellen imellem de to Platinplader bliver

$$\text{Pt} | V + V | V_1 + V_1 | V_2 + V_2 | V + V | \text{Pt} = V | V_1 + V_1 | V_2 + V_2 | V.$$

Da denne Størrelse nu ikke er 0, sér man, at den Elektricitet der opstaar ved Berøring imellem Vædsker, ikke følger Voltas Spændingslov; herfra maa dog undtages nogle Vædsker, som kunne ordnes i en Spændingsrække, saaledes de neutrale svovlsure Salte af Formlen RSO_4 , der kunne opstilles i en Række, hvor Leddene følge efter hverandre i samme Orden som de

vedkommende Metaller; det samme er Tilfældet med enkelte andre Grupper af Salte.

Den her nævnte Elektricitetsudvikling er meget ringe, undtagen ved Berøring imellem Syrer og Alkaliopløsninger (Syren $+$, Alkaliet $\div$); Opløsningens Koncentration influerer, som naturligt er, paa Størrelsen af den elektromotoriske Kraft.

57. Berøring imellem luftbeklædte Metaller og Vædske.

Elektricitetsudviklingen ved denne Berøring er navnlig undersøgt af Grove med hans Gaselement. Dette bestaar af en 3-halset Flaske, i hvis to yderste Halse der ved Hjælp af Propper er indsat Glasrør, i hvis foroven lukkede Ende der er indsmeltet en Platintraad, hvortil der inde i Røret er befæstet en Platinstrimmel og udenfor Røret slutter sig en lille Platinskaal med Kvægsølv. Igjennem den midterste Hals heldes stærkt fortyndet Svovlsyre ned i Flasken, og efter at der er sat en tætsluttende Prop i, vendes Flasken op og ned, saa at de to Glasrør fyldes helt med Vædske, hvorpaa den vendes om igjen; ved Tilledningsrør bringer man nu Ilt op i det ene Rør, Brint — dobbelt saa meget — op i det andet Rør. Forbindes de to Kvægsølvskaale med hinanden ved en Ledning, hvori der er indskudt en Multiplikator, vil denne vise Tilstedeværelsen af en elektrisk Strøm, som gaar fra Brint igjennem Vædsken til Ilten, saa at der ved Berøringen maa være udviklet Elektricitet. Under Strømmens Gang stiger Vædsken i de to Rør, saa at de tilsidst blive helt fyldte dermed, og da vil Strømmen standse; Grunden hertil er den, at Strømmen dekomponerer Vandet i dets to Bestanddele Ilt og Brint, hvoraf Ilten gaar til Røret med Brint, Brinten til Røret med Ilt, og i de to Rør ville Brinten og Ilten forenes under Dannelsen af Vand; da der i Vand er dobbelt saa megen Brint som Ilt, vil Vædsken i det Rør, hvor der var Brint, stige dobbelt saa hurtig som Vædsken i det andet Rør.

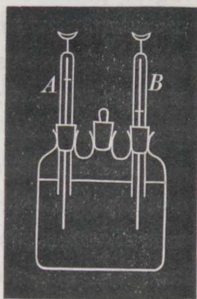


Fig. 59.

Man sér altsaa, at det med Brint beklædte Platin ved Berøringen med Vædsken her er bleven negativt, og det for-

holdsvis stærkt, thi Strømmen vilde faa omtrent samme Styrke, om det andet Rør ikke havde været fyldt med Ilt, men helt med Vædsken; det med Ilt besatte Platin bliver positivt, men kun svagt.

58. I den senere Tid har der rejst sig Indvendinger imod hele Voltas Kontakttheori, og det skal nu kortelig angives, hvorledes de i det Foregaaende nævnte Phænomener forklares.

Vi have sét, at naar et Metal stilles i en Vædske, faa disse to forskellige Elektricitet. Zink bliver saaledes negativ elektrisk, naar det stilles i fortyndet Svovlsyre, og denne bliver positiv; paa samme Maade bliver Kobber negativ elektrisk, Vædsken positiv, men denne Elektricitetsudvikling er svagere. Anbringer man nu successive de forskellige Metaller i en og samme Vædske, maaler Metallernes Potentialer, og derefter opstiller Metallerne i en Række saaledes, at det, der bliver stærkest negativt kommer først, saa det, der bliver næststærkest negativt o. s. v., og efter det svagest negative det svagest positive o. s. fr., indtil det stærkest positive kommer sidst, saa faar man netop en Række som den tidligere nævnte Voltas Spændingsrække, og altid den samme, hvilken Vædske der end benyttes; Potentialernes Værdier ere derimod forskellige i forskellige Vædsker.

Anbringer man to Metaller i en Vædske, faa disse to Metaller altsaa en vis Potentialdifferens; maaler man den, og gjør man det samme Forsøg i samme Vædske med flere andre Metaller, hvilke man vil, saa gjælder Voltas Spændingslov om disse Potentialdifferenser. — Anbringes i fortyndet Svovlsyre en Zink- og en Kobberplade, blive de begge negativ elektriske, men Zinket mest; forbindes de med en Ledningstraad, strømmer der negativ Elektricitet fra Zinket igjennem Traaden til Kobberet; imod den maa der, for at en Neutralisering skal finde Sted, gaa en lige saa stærk Strøm af positiv Elektricitet, altsaa fra Kobberet igjennem Traaden til Zinket.

Idet vi fastholde den ovenfor nævnte Inddeling af Stofferne i Ledere af første og anden Klasse, kan der ikke opstaa Elektricitet ved Berøring imellem to Ledere af første Klasse, men kun ved Berøring af en Leder af første Klasse med en af anden eller ved Berøring imellem to Ledere af anden Klasse.

Naar det nu alligevel af Voltas Fundamentalforsøg fremgaar, at en Elektricitetsudvikling finder Sted, naar Metallerne berøre hinanden, saa maa det erindres, at ethvert Legeme altid paa sin Overflade har et Lag af fortættet Luft og Fugtighed fra Atmosfæren, og dette Lag fjærnes vanskelig. Tager vi nu Voltas Kondensatorelektroskop med Zink- og Kobberplade, ferniserede paa de mod hinanden vendende Flader, saa bevirke de nævnte Fugtighedshinder, at saavel Kobberet som Zinket bliver negativ elektrisk, Kobberet mindst, medens Hinderne faa positiv Elektricitet. Bringer man da de to Metaller i Berøring f. Ex. ved en Kobbertraad, medens Hinderne ikke komme i Berøring med hinanden, gaar der negativ Elektricitet fra den stærkest ladede Zinkplade til Kobberet, og løfter man saa dette sidste op, har Zinkpladen mindre negativ Elektricitet end før, medens dens Hinde er positiv elektrisk, og Overskuddet af positiv Elektricitet fremkalder da et Udslag af Guldbladene.

Det vil ses, at dette er en ret rimelig Forklaring, men da det ikke er afgjort, at den er rigtig, og Voltas Forklaring fejl, er den sidstnævnte og ældre Theori lagt til Grund i det Foregaaende (80).

59. Konstante galvaniske Apparater. Det i 53 omtalte galvaniske Element (Bægerelementet) og Voltas Søjle ere ikke konstante Apparater, d. v. s. den af dem fremkaldte Strøm svækkes hurtig og ophører tilsidst ganske; Apparatets elektromotoriske Kraft vil altsaa hurtig formindskes, og denne Formindskelse maa hidrøre fra, at der er foregaaet Forandringer med de Legemer, ved hvis Berøring den elektromotoriske Kraft fremkaldtes. Disse Forandringer skyldes chemiske Processer; saadanne ere altsaa Aarsagen til den vedvarende Elektricitetsudvikling, men Produkterne svække dog Strømmen. Under Strømmens Gang igjennem Vædsken i det nævnte Element opløses Zinket i den fortyndede Svovlsyre SO_4H_2 , idet der dannes SO_4Zn (svovlsur Zinkilte, Zinkvitriol, Zinksulphat), medens Brint H_2 udvikles ved Kobberpladen og bobler op langs denne. Som ovenfor sét, vil der imidlertid opstaa en Modstrøm derved, at Kobberet er bedækket med Brint, og dette vil svække Hovedstrømmen. Naar Vædsken nu endvidere kommer til at indeholde SO_4Zn i større og større Mængde, vil der

udskilles Zink paa Kobberet, Forholdet vil da sluttelig blive det samme, som om man havde to Zinkplader overfor hinanden i Væsken: Strømmen ophører.

Vil man have konstante Elementer, maa man derfor sørge for, at Brinten ikke udvikles paa Kobberet. Af saadanne konstante Elementer er der konstrueret et stort Antal, af hvilke nogle skulle blive nævnte i det følgende.

60. Daniells Element (det første af denne Art, 1836) har Kobber i en Kobbervitriolopløsning, amalgameret Zink i fortyndet Svovlsyre (1 Del Svovlsyre i 12—20 Dele Vand), og de to Vædsker ere adskilte ved en porøs Membran (svagt brændt Lerkar); igjennem denne Membran kunne de to Vædsker langsomt diffundere. Figuren viser Elementet i Gjennemsnit:

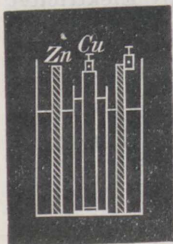
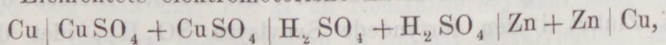


Fig. 60.

yderst et Glaskar, hvori Lerkarret er stillet; udenom dette er stillet et til en Cylinder bøjet Zinkblad i den fortyndede Svovlsyre, og inde i Lerkarret staar en Kobberstang i Kobbervitriolopløsningen. Tilvejebringes nu Strømmen derved, at Ledningen sluttet, vil Svovlsyren omdannes paa den før nævnte Maade, men Brinten, som søger til Kobberet, indtræder i Kobbervitriolopløsningen i Kobberets Plads, medens dette udskilles paa Kobberpladen. Paa Grund af disse Forandringer i Vædskerne er Elementet ikke absolut konstant, idet den Modstand, som Vædskerne byde Strømmen forøges, medens den elektromotoriske Kraft dog ikke varierer meget; Elementet kan holde sig nogenlunde konstant i adskillige Timer. Zinket er amalgameret, fordi Svovlsyren da ikke indvirker paa det, naar Ledningen ikke er sluttet. — Hvad der er udenfor og indenfor Lercellen kan ombyttes.

Elementets elektromotoriske Kraft bliver



hvilket meget nær bliver 1,2 Volt.

Groves Element (1839) har Platin i concentreret Salpetersyre, amalgameret Zink i fortyndet Svovlsyre; dets elektromotoriske Kraft er omtrent 1,7 Gange saa stor som et Daniells Element (1,9 Volt.). Den af Svovlsyren udskilte Brint vil virke reducerende paa Salpetersyren, afilet den, hvorved

den omdannes til Kvælstoftveite. der atter ved at optage Ilt af Luften iltes til Salpeterundersyre med brunrøde Dampe, der ere giftige.

Bunsens Element (1842) er som Groves, men Platinet er ombyttet med Kul (Gasretortkul, som er haardt og leder Strømmen godt), hvorved Elementet bliver langt billigere; den elektromotoriske Kraft er som i Groves Element.

I Meidingers Element haves Zink i en Bittersalt-opløsning (svovlsur Magnesia) og Kobber i Kobbevitrìolopløsning; der findes ingen porøs Skillevæg, men den første Vædske staar over den sidste, og Ledningstraaden, der fører ud fra Kobberet, maa derfor være isoleret. Den elektromotoriske Kraft = 1 Volt.

Af konstante Elementer med kun én Vædske skal nævnes:

Leclanché's, som har Zink i en Salmiakopløsning og Kul, omgivet af Brunstenstykker, staaende i et porøst Lerkar. Sluttes Ledningen, dekomponeres Salmiakken i Chlor, Brint og Ammoniak; den første forbinder sig med Zinket til Chlorzink, Brinten reducerer Brunstenen, Manganoverilte, til Manganforilte, idet den danner Vand med en Del af Brunstenens Ilt, og Ammoniakken fordamper. Dette Element kan holde sig meget længe, men byder Strømmen en forholdsvis stor Modstand. Den elektromotoriske Kraft = 1,3 Volt.

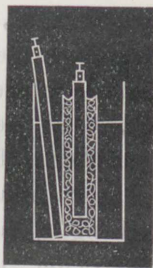


Fig. 61

Bunsens Neddypningselement har Zink og Kul i en Blanding af Svovlsyre og Kaliumbichromatopløsning og altsaa ingen Lercelle; Zinkpladen har ofte en Kulplade paa hver Side. Her vil den af Svovlsyren udskilte Brint iltes af Chromsyren, men da dette ikke kan ské saa fuldstændig som af Salpetersyre, hvilken man paa Grund af de giftige Dampe ofte ikke vil anvende, taber Elementet sig hurtigere end det før nævnte Bunsenske Element. Naar Strømmen ikke er sluttet, er Zinkpladen hævet op af Vædsken. Den elektromotoriske Kraft = 2 Volt.

For kort Tid siden er der konstrueret et andet saadant Element med kun én Vædske: paa Glaskarrets Bund staar

der en lille Sølvskaal, hvorfra der gaar en Ledningstraad isoleret ud igjennem Glasset; i Sølvskaalen er der Chlorsølv, medens Glaskarret ellers er fyldt med Svovlsyre, og deri staar en Zinkplade. Den af Vædsken udskilte Brint virker dekomponerende paa Chlorsølvet, af hvilket der udskilles Sølv paa Sølvskaalen.

V. Den elektriske Strøm.

61. **Ohms Lov.** Det er nævnt tidligere, at naar man forbinder de to Poler af et galvanisk Apparat med en Ledningstraad, ville Elektriciteterne sætte sig i Bevægelse, idet der igjennem Traaden vil strømme positiv Elektricitet fra Polen med det højere Potential til Polen med det lavere Potential og negativ Elektricitet den modsatte Vej. De Forandringer, som derved ville fremkomme i de to Polers Potentialer, blive ophævede ved de Elektriciteter, som ville strømme til Polerne fra Apparatet. Naar Forholdene da ere blevne konstante, maa der langs Ledningen være et Potentialfald fra den positive til den negative Pol, og et Sted er Potentialet 0; hvert Sted af Ledningen har sit bestemte Potential; til den ene Side derfra voxer, til den anden Side aftager Potentialet. Igjennem hvert Tværsnit af Ledningen maa der i samme Tid strømme den samme Mængde Elektricitet, thi ellers vilde der et Sted ske en Forandring af Potentialet.

Vi ville nu tænke os en Leder $AB = l$, der er ens over-

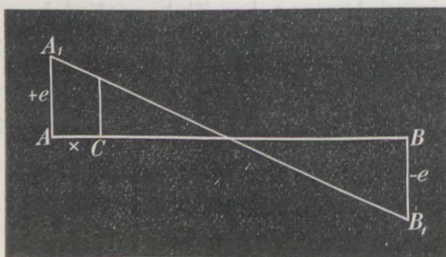


Fig. 62.

alt; A og B have henholdsvis Potentialerne $+e$ og $-e$, og Potentialet i et Punkt C , der ligger i Afstanden x fra A , vil da være

$$e - \frac{2e}{l}x,$$

idet $\frac{2e}{l}$ er Potential-

faldet for hver Længdeenhed.

Idet Ordinator til AB 's Punkter repræsentere Potentialernes Værdier paa de respective Steder, vil den rette Linie $A_1 B_1$

graphisk fremstille Potentialerne langs Ledningen. Potentialfaldet paa hver Længdeenhed, $\frac{2e}{l}$, er lig tang. til Vinklen imellem $A_1 B_1$ og AB .

Idet vi, som før nævnt, ved Strømstyrken s forstaa den Mængde Elektricitet, som passerer et Tværnsnit af Ledningen i en Tidsenhed, ses s at maatte være proportional med Størrelsen $\frac{2e}{l}$ og endvidere proportional med Tværnittet t , saa at man har

$$s = k \cdot t \cdot \frac{2e}{l},$$

hvor k er den Elektricitetsmængde, som for Værdien 1 af Potentialfaldet paa Længdeenhed gennemstrømmer Enhed af Tværnsnit i en Tidsenhed, og da k saaledes er afhængig af Stoffets Ledningsevne, kaldes den dets Ledningskoefficient.

Udtrykket kan skrives

$$s = \frac{2e}{\frac{l}{kt}};$$

da s altsaa er omvendt proportional med Størrelsen $\frac{l}{kt}$, kaldes denne Ledningens Modstand, m . Man har da

$$m = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{t} = c \cdot \frac{l}{t},$$

hvor c er Modstandskoefficienten (= den reciproke Værdi af Ledningskoefficienten).

Det ses, at

den Modstand, en Ledning byder den elektriske Strøm, er proportional med Ledningens Længde, omvendt proportional med dens Tværnsnit og ellers afhængig af Ledningens Substans.

Sættes $l = 1^m$, $t = 1^{mm}$, sér man, at Modstandskoefficienten c er lig Modstanden af en Traad, der har de nævnte Dimensioner.

62. Vi ville dernæst tænke os Ledningen bestaaende af to sammensatte Stykker med Længderne henholdsvis l og l_1 , Tværnittene t og t_1 og Ledningskoefficienterne k og k_1 . Stykkerne være AC og CB ; A og B have Potentialerne $+e$ og $-e$, og i C tænke vi os Potentialet p , f. Ex. positivt. Potentialet falder jævnt langs AC og ligeledes langs CB , men

Potentialfaldet paa Længdeenhed vil i Almindelighed være forskjelligt paa de to Stykker. Man faar fra AC og CB to

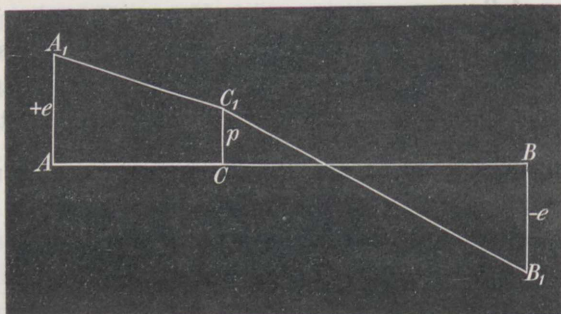


Fig. 63.

Udtryk for Strømstyrken s , der maa være ligestore, nemlig

$$s = kt \cdot \frac{e - p}{l} = k_1 t_1 \frac{p + e}{l_1};$$

hvoraf findes p :

$$\frac{kt}{l} e - \frac{kt}{l} p = \frac{k_1 t_1}{l_1} p + \frac{k_1 t_1}{l_1} e,$$

$$p = e \frac{\frac{l_1}{k_1 t_1} - \frac{l}{kt}}{\frac{l_1}{k_1 t_1} + \frac{l}{kt}};$$

man faar saa

$$e - p = 2e \frac{\frac{l}{kt}}{\frac{l_1}{k_1 t_1} + \frac{l}{kt}},$$

og ved dette Udtryks Indsættelse i det første Udtryk for s :

$$s = \frac{2e}{\frac{l}{kt} + \frac{l_1}{k_1 t_1}} = \frac{2e}{m + m_1},$$

altsaa Strømstyrken lig den elektromotoriske Kraft, divideret med den samlede Modstand. — Dette kan nu let føres videre til at gjælde for flere end to forskjellige Stykker i Ledningen.

63. Vi ville nu antage, at der i Sammenstødsstedet C er en ny elektromotorisk Kraft tilstede, som frembringer Potentialerne $+e_1$ og $-e_1$ i de to Berøringsflader, og som

f. Ex. virker i samme Retning som den, der fremkalder Potentialerne $+e$ og $\div e$ i henholdsvis A og B .

For Nemheds Skyld ville vi da først tænke os Lederen CB erstattet af en Leder CD med samme Tværsnit og samme Ledningskoefficient som Lederen AC ; er CD 's Længde l_2 , maa man altsaa have

$$\frac{l_2}{kt} = \frac{l_1}{k_1 t_1}, \quad l_2 = \frac{kt}{k_1 t_1} l_1;$$

ovenstaaende Udtryk for s bliver da

$$s = \frac{2e}{\frac{l}{kt} + \frac{l_2}{kt}} = kt \frac{2e}{l + l_2}.$$

Potentialerne, der hidrøre fra den første elektromotoriske Kraft ere fremstillede ved den rette Linie $A_1 D_1$, idet $AA_1 = +e$, $DD_1 = \div e$. Antages det, at AD er den hele Strømkreds, maa A og D berøre hinanden, og ved dette Berøringssted

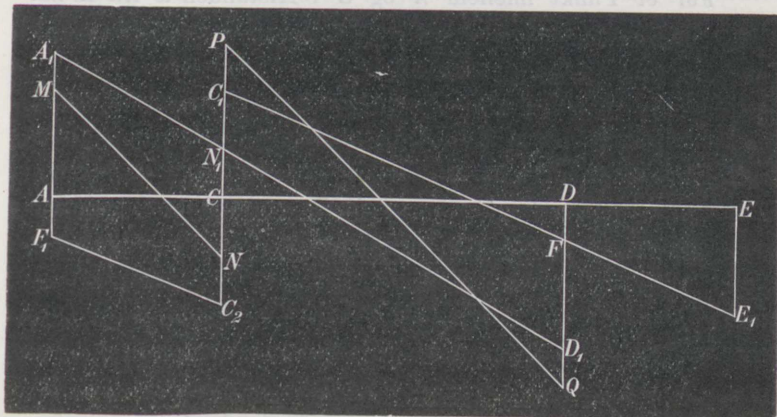


Fig. 64.

virker altsaa den elektromotoriske Kraft $2e$. Den elektromotoriske Kraft, der virker i C , frembringer paa de to Sider deraf Potentialerne $CC_1 = +e_1$ (tilhøjre, med den gjorte Antagelse) og $CC_2 = \div e_1$ (tilvenstre), og ville vi se, hvorledes Potentialerne blive paa AD som Følge af denne sidste elektromotoriske Kraft, afsætte vi DE lig AC , saa at den hele Leder tænkes udstrakt som CE ; i E afsættes Ordinaten $EE_1 = CC_2 = \div e_1$, og den rette Linie $C_1 E_1$ fremstiller da de omspurgte

Potentialer. Af denne Linie skal nu Stykket tilhøre for D , altsaa FE_1 , føres hen til AC , hvilket skér, idet AF_1 oprejses lig DF , og Linien F_1C_2 drages.

Søges dernæst de resulterende Potentialer, skal man i hvert Punkt af Ledningen have Summen (med Fortegn) af de derværende Ordinatorer; derfor afsættes

$$A_1M = AF_1 \text{ nedefter fra } A_1;$$

$$C_2N = CN_1 \text{ opefter fra } C_2, \text{ idet } CN_1 \text{ er Potentialet i } C, \\ \text{hidrørende fra den elektromotoriske Kraft } 2e;$$

$$C_1P = CN_1 \text{ opefter fra } C_1$$

$$\text{og } D_1Q = DF \text{ nedefter fra } D_1.$$

Linierne MN og PQ ville da angive de endelige Potentialer paa de forskjellige Punkter i Ledningen, naar begge elektromotoriske Kræfter ere tilstede og Liniernes Heldning mod AD vil være den samme, $\therefore$ Potentialfaldet paa Længdeenhed ens paa de to Stykker. Dette viser en lille Beregning ogsaa:

For et Punkt imellem A og C i Afstanden x fra A har man, naar $l + l_2 = L$, Potentialerne

$$e - \frac{2e}{L}x \text{ og } e_1 - \frac{2e_1}{L}(x + l_2),$$

idet man, for at faa det sidstnævnte, maa beregne Potentialet i et Punkt, der ligger paa DE i Afstanden x fra D , altsaa i Afstanden $x + l_2$ fra C . Det hele Potential i Punktet er da

$$e + e_1 - \frac{2e + 2e_1}{L}x - \frac{2e_1}{L}l_2.$$

I et Punkt, der ligger i Enhed af Afstand tilhøre fra dette, faaes Potentialet

$$e + e_1 - \frac{2e + 2e_1}{L}(x + 1) - \frac{2e_1}{L}l_2,$$

altsaa Potentialfaldet paa Længdeenhed lig disse Størrelsers Differens:

$$\frac{2e + 2e_1}{L}.$$

Paa samme Maade faar man Potentialet i et Punkt imellem C og D i Afstanden x fra A lig

$$\left[e - \frac{2e}{L}x \right] + \left[e_1 - \frac{2e_1}{L}(x - l) \right] = e + e_1 - \frac{2e + 2e_1}{L}x + \frac{2e_1}{L}l,$$

og derefter som ovenfor Potentialfaldet paa Længdeenhed lig

$$\frac{2e + 2e_1}{L}.$$

Strømstyrken vil altsaa blive

$$s = kt \frac{2e + 2e_1}{L} = \frac{2e + 2e_1}{M}$$

idet M betegner den samlede Modstand.

I Almindelighed vil man altsaa have:

Strømstyrken i en sluttet Ledning er proportional med Summen af de tilstedeværende elektromotoriske Kræfter (regnede med Fortegn) og omvendt proportional med Summen af de efter hinanden følgende Modstande (Ohms Lov 1827; bevist experimentelt af Fechner).

Denne Lov er ganske vist kun vist gyldig for lineære Ledere, men dens Almengyldighed kan let indsés, ogsaa naar Lederne ere flydende. Naar et galvanisk Apparat er sluttet ved en Ledning, ere Modstandene to forskellige: den, som Apparatet selv (de deri værende Metaller og Vædske) byder, den indre Modstand, og den, som Ledningen udenfor Apparatet byder, den ydre Modstand.

64. Kombination af flere Elementer. Efter Ohms Lov vil man sé, at jo større den elektromotoriske Kraft er, og jo mindre Modstanden er, desto stærkere bliver den elektriske Strøm, og derved gives der os Midler til ved Kombination af flere Elementer at faa udviklet en stærkere Strøm, end ét Element kan give i en vis Ledning.

Paa to Maader kunne flere Elementer forbindes; enten saaledes, at den negative Pol i det ene forbindes med den positive i det næste o. s. fr., eller derved, at alle positive Poler indbyrdes og alle negative Poler indbyrdes forbindes. I dette sidste Tilfælde virker Apparatet som ét stort Element, hvis Metalplader ere lig Summen af de enkelte Elementers Metalplader og staa i samme Afstand fra hinanden som disse; da Tværnittet af den indre Ledning, hvorigjennem Strømmen gaar i et saadant stort Element, bliver større i det Forhold, som Antallet af Elementer angiver, naar disse antages ens, bliver den indre Modstand det samme Antal Gange mindre (61), medens den elektromotoriske Kraft er uforandret. Forholdene ere

fremstillede i hosstaaende Figurer: 1 Element og n Elementer kombinerede paa de nævnte to Maader.

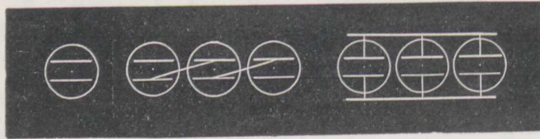


Fig. 65.

Et Elements elektromotoriske Kraft være E , dets indre Modstand M , den ydre Modstand i alle Tilfælde m ; idet Strømstyrkerne i de tre Tilfælde betegnes ved henholdsvis s , s_n og S_n , har man

$$s = \frac{E}{M + m}, \quad s_n = \frac{n E}{n M + m}, \quad S_n = \frac{E}{\frac{M}{n} + m} = \frac{n E}{M + n m}.$$

Vi betragte først to Grænsetilfælde:

a) den indre Modstand er saa lille i Forhold til den ydre, at vi kunne sætte $M = 0$ og derfor have:

$$s = \frac{E}{m}, \quad s_n = \frac{n E}{m}, \quad S_n = \frac{E}{m},$$

saa at den første af de nævnte Kombinationer er den fordelagtige;

b) den ydre Modstand er saa lille i Forhold til den indre, at vi kunne sætte $m = 0$ og faa da

$$s = \frac{E}{M}, \quad s_n = \frac{E}{M}, \quad S_n = \frac{n E}{M},$$

saa at den sidste af de to Kombinationer er fordelagtig.

Har man n Elementer, kan man endvidere dele dem i et vist Antal

(p) Grupper med lige mange $\left(\frac{n}{p}\right)$

Elementer i hver Gruppe; i de enkelte Grupper samles Elementerne paa den ovenfor først angivne Maade, saa at Gruppens elektromotoriske Kraft er

$\frac{n}{p} E$, dens Modstand $\frac{n}{p} M$, og dernæst

forbindes de enkelte Gruppers Poler paa den sidst nævnte

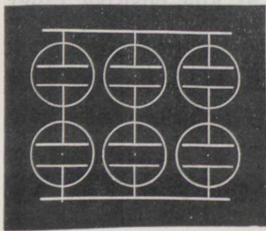


Fig. 66.

Maade, hvilket ikke forøger den elektromotoriske Kraft, men formindsker Modstanden til $\frac{1}{p}$ af hver Gruppes Modstand, saa at den hele Modstand bliver $\frac{n}{p^2} M$. Man faar da for Strømstyrken

$$S = \frac{\frac{n}{p} E}{\frac{n}{p^2} M + m}.$$

Spørges der nu om, hvorledes Elementerne skulle samles for at give den største Strømstyrke i en vis Ledning, saa vil man ved en Regning, som her forbigaaes, finde, at dette opnaaes, naar den indre Modstand er saa nær lig den ydre som mulig, altsaa naar

$$\frac{n M}{p^2} = m,$$

og Antallet af Elementer i hver Gruppe skal altsaa være

$$p = \sqrt{\frac{n M}{m}}.$$

Giver denne Kvadratrod ikke noget helt Tal for p , tages det nærmeste hele Tal.

Elementernes Kombination skér i Reglen ved tykke Kobberstrimler, hvis Ledningsmodstand er forsvindende lille.

65. **Strømforgrening.** Den simpleste Maade, paa hvilken en Strøm forgrener sig, har man, naar Ledningen paa et Stykke er delt i flere sideordnede Grene; alle disse Grene gennemløbes altsaa af en elektrisk Strøm, og Summen af alle disse Strømstyrker maa være lig Strømstyrken i den udelte Ledning, da der ellers ikke igjennem hvert Tværsnit af Ledningen vilde passere den samme Elektricitetsmængde. Strømstyrken i den udelte Ledning være s , i Grenene $s_1, s_2, \dots$, Modstandene i disse $m_1, m_2, \dots$, og Potentialerne i de to Punkter, imellem hvilke Ledningen er delt, e_1 og e_2 ; man faar da

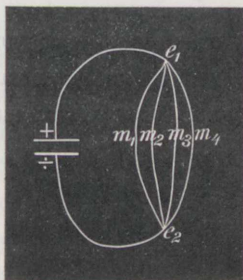


Fig. 67.

$$s = s_1 + s_2 + s_3 + \dots$$

$$\text{og } s_1 = \frac{e_1 - e_2}{m_1}, s_2 = \frac{e_1 - e_2}{m_2}, s_3 = \frac{e_1 - e_2}{m_3} \dots;$$

$$\text{heraf } s_1 m_1 = s_2 m_2 = s_3 m_3 = \dots,$$

saa at Strømstyrkerne i de enkelte Grene staa i omvendt Forhold til disses Ledningsmodstand.

Spørges der om, hvilken Modstand m en enkelt Ledning imellem e_1 og e_2 maa have, som kan erstatte Forgreningerne, uden at s forandres, ses det, at

$$s = \frac{e_1 - e_2}{m}$$

$$\text{og altsaa } \frac{e_1 - e_2}{m} = \frac{e_1 - e_2}{m_1} + \frac{e_1 - e_2}{m_2} + \frac{e_1 - e_2}{m_3} + \dots,$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3} + \dots$$

Var Ledningen saaledes kun delt i 2 Grene, vilde man have

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}.$$

Langs de enkelte Grene falder Potentiallet jævnt fra e_1 til e_2 , saa at alle Værdier imellem disse findes paa hver Gren. Vi ville nu tænke os kun 2 Grene, og forbinde vi ved en Ledning to Punkter, et i hver Gren, som have samme Potential, vil der ikke gaa nogen Strøm igjennem denne

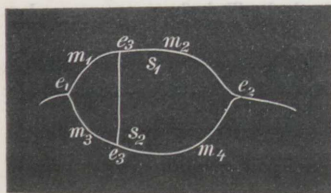


Fig. 68.

Tværlledning, og Strømstyrken i de to Grene forandres ikke derved. For Potential og Modstand bruge vi de Betegnelser, som Figuren viser; man har da

$$s_1 = \frac{e_1 - e_3}{m_1} = \frac{e_3 - e_2}{m_2}$$

$$s_2 = \frac{e_1 - e_3}{m_3} = \frac{e_3 - e_2}{m_4},$$

og deraf

$$\frac{m_1}{m_3} = \frac{m_2}{m_4},$$

saa at Modstandene i de to Grenes to Stykker ere proportionale. Tværledningen kaldes Wheatstones Bro. Dersom $m_1 = m_2$, bliver $m_3 = m_4$.

66. **Strømvendere** eller **Kommutatorer** ere Apparater, ved Hjælp af hvilke man hurtig kan slutte, afbryde eller forandre Retningen af en elektrisk Strøm.

En Strømvender kan være saaledes indrettet: en isolerende Cylinder, hvori der paa den i Figuren viste Maade er indlagt to Kobberstrimler, m og n , kan drejes om sin Axe paa et Brædt; i dette er befæstet 4 Klemmeskruer, a , α , b , β , hvorfra der gaar Metalffjere, som trykke imod Cylinderen. Klemmeskruerne b og β ere forbundne med Polerne paa det galvaniske Apparat, og den Ledning, hvori Forandringen skal ské, er indskudt imellem a og α . Strømmen gaar i den i Figuren angivne Stilling af Cylinderen

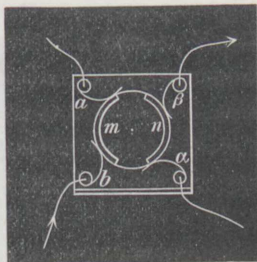


Fig. 69.

Vejen $bma\alpha n\beta$, og drejes Cylinderen 90° , f. Ex. med Viseren paa et Uhr, gaar den Vejen $bna\alpha m\beta$, altsaa gennem Ledningen imellem a og α i den modsatte Retning. Ved en mindre Drejning end den nævnte kan man afbryde Strømmen.

VI. Strømmens chemiske Virkninger.

67. Vi ville nu omtale disse Virkninger i Almindelighed; flere ere alt tidligere omtalte.

Naar en Strøm ledes igjennem et sammensat Legeme (chemisk Forbindelse) i flydende Tilstand, opløst eller smeltet, vil det blive dekomponeret af Strømmen, og disse flydende Legemer lede kun den elektriske Strøm, naar de samtidig dekomponeres. Denne Proces kaldes Elektrolyse, Stoffet, som dekomponeres, Elektrolyt, de to Steder — som Regel Metalplader — hvor Strømmen ledes ind og ud, Elektroder, henholdsvis den positive og den negative Elektrode; den Del af Elektrolyten, som udskilles ved den positive Elektrode, er den elektronegative, den, som udskilles ved den negative Elektrode, den elektropositive Del. Hyppig udskilles i Virkeligheden andre Stoffer, end det var at vente; dette hidrører da fra chemiske Processer, hvori de udskilte Stoffer i Dannelses-

øjeblikket indgaa med Opløsningsmidlet, som Regel Vand, eller med de Stoffer, hvoraf Elektroderne ere dannede (sekundære Virkninger).

Den simpleste Elektrolyse er Vanddekompositionen, som vises i Vanddekompositionsapparatet. Dette er et Glas-

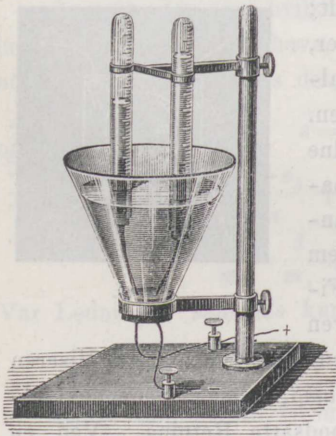


Fig. 70.

kar med en Træprop i Bunden; i denne er befæstet to Platintraade, som oppe i Karret ende i to Platinplader (Platin angribes ikke af Vandets Bestanddele). I Karret er der Vand, hvortil der er sat lidt Svovlsyre, og over de to Platinplader er stillet to Glasklokker, som ere fyldte med Vand. Ledes en elektrisk Strøm igjennem Vædsken, vil der udvikles Ilt ved den positive, Brint ved den negative Elektrode; Luftboblerne stige op i Glasklokkerne og fortrænge det dér værende

Vand. Der dannes dobbelt saa megen Brint som Ilt, saa at disse indgaa i Vandet i dette Forhold; i Klokken findes dog lidt mindre Ilt, idet der af Vandet absorberes mere Ilt end Brint, og noget af Iltten omdannes til Ozon, hvis Vægtfylde er $\frac{3}{2}$ Gange Iltens. Medens det tilsyneladende er Vandet, som er adskilt af Strømmen, er dette dog ikke Tilfælde; det er Svovlsyren $\text{SO}_4 \text{H}_2$, der er bleven adskilt i H_2 , som udvikles ved den negative Elektrode, og SO_4 , som udvikles ved den positive Elektrode, men her spalter Vandet OH_2 , forbinder sig med H_2 til $\text{SO}_4 \text{H}_2$, medens der, altsaa ved en sekundær Virkning, frigjøres Ilt. Forholdet er altsaa ganske, som om Vandet OH_2 var bleven dekomponeret, men at det er saaledes, som nys er nævnt, kan blandt andet ses deraf, at dersom den positive Elektrode var af Kobber, vilde der dannes $\text{SO}_4 \text{Cu}$ og ikke Ilt. Rent, destilleret Vand kan ganske vist i ringe Grad dekomponeres af den elektriske Strøm, men kun naar denne er meget stærk.

Man kunde ogsaa opsamle de to Luftarter Ilt og Brint i én Glasklokke; i den i en vis Tid udviklede Knaldluftmængde vilde man saa have et Maal for Strømmens Styrke, og man har ogsaa maalt denne ved Hjælp heraf, idet man som Enhed har taget den Strøm, som formaar i 1 Minut at udvikle 1 Cubikcentimeter Knaldluft ved 0° C. og 760mm. Tryk (chemisk Enhed); denne Enhed for Strømstyrken (den Jacobi'ske) er lig 0,0958 Ampère (53), altsaa $1 \text{ Ampère} = 10,44$ saadanne Enheder. Til Maaling af Knaldluften benyttes et Voltameter. Udviklingen af Knaldluft skér i en Glasflaske med meget fortyndet Svovlsyre, og igjennem et bøjet Glasrør, der er befæstet i den i Flaskehalsen tæt sluttende Prop, ledes Luften ind i et lodret, inddelt Glasrør, som fra Begyndelsen af er helt fyldt med Vand.

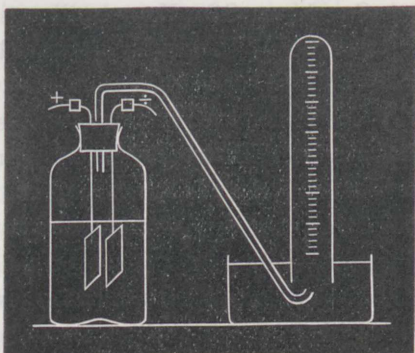


Fig. 71.

At Strømstyrken er ens overalt i en udelte Ledning, og at den udviklede Knaldluftmængde er proportional med Strøm-

styrken, kan man vise ved at lade en Strømledning paa et Stykke spalte sig i to Grene og saavel i hver af dem som ogsaa paa to forskellige Steder i den

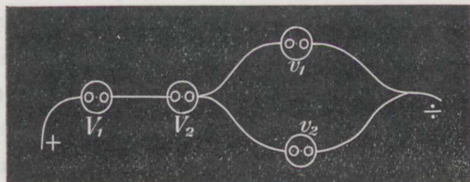


Fig. 72.

udelte Ledning indskyde et Voltameter; dersom nu en Strøm i en vis Tid i disse Voltametre udvikler Knaldluftmængder, der ere betegnede ved de paa Figuren anbragte Bogstaver, finder man $V_1 = V_2 = v_1 + v_2$.

Vandets Dekomposition (som den nævnte kemiske Proces altid kaldes) ved Hjælp af den elektriske Strøm er opdaget

1800 af Carlisle og Nicholson, men allerede i 1789 var det iagttaget, at Udladninger fra en Leydnerflaske kunde sønderdele Vand.

68. Syrer og Salte dekomponeres saaledes, at henholdsvis Brinten og Metallet altid udskilles ved den negative Elektrode (»føres med Strømmen«), den anden Bestanddel af Forbindelsen ved den positive.

Svovlsyre $\text{SO}_4 \text{H}_2$ adskilles som nævnt i SO_4 og H_2 , Saltsyre ClH i Cl og H , hvorimod det Vand, hvori ClH er opløst, ikke adskilles. — Af en Opløsning af Kobbervitriol $\text{SO}_4 \text{Cu}$ udskiller Strømmen Cu ved den negative, SO_4 ved den positive Elektrode, og er denne en Platinplade vil SO_4 fra Vandet tage H_2 , medens der frigjøres O ; dersom Elektroden derimod var et Metal, som er opløseligt i Svovlsyre, vilde dette Metals svovlsure Salt dannes. — Svovlsur Natron $\text{SO}_4 \text{Na}_2$ vil paa samme Maade adskilles i SO_4 og Na_2 , men deraf vil SO_4 foranledige Udvikling af Ilt, og Natrium vil, naar Elektroderne ere af Platin, ogsaa fremkalde en sekundær Virkning med Vand: $\text{Na}_2 + \text{OH}_2 = \text{Na}_2 \text{O} + \text{H}_2$, saa at der udvikles Brint ved den negative Elektrode, og Opløsningen kommer til at indeholde Natron (foruden fri Svovlsyre); dersom den negative Elektrode derimod var af Kvægsølv (Kvægsølvet findes paa Bunden af Dekompositionsapparatet, og den negative Poltraad føres isoleret dertil igjennem Vædsken), vilde der dannes Natriumamalgam, hvoraf Natrium kan vindes ved Destillation. — Af Salmiak ClNH_4 vil der udskilles Chlor Cl ved den positive, Brint H ved den negative Elektrode, medens Ammoniak NH_3 fordamper, altsaa ogsaa en sekundær Virkning.

Smeltede Forbindelser adskilles paa samme Maade som de opløste. Ogsaa smeltet Ætskali og Ætsnatron, KHO og NaHO , adskilles saaledes, at Metallet og Brinten udvikles ved den negative, Iten ved den positive Elektrode. Samme Dekomposition kan ogsaa ske, naar disse Forbindelser ere i fast Tilstand. Sir Humphrey Davy adskilte i 1807 første Gang disse Legemer, som man hidtil havde ansét for Grundstoffer; paa en Platinplade lagdes et Stykke Ætskali, i hvilket der var dannet et lille Hul, som fyldtes med Kvægsølv, og da

Platinpladen saa sættes i Forbindelse med den positive, Kvægsølvet med den negative Pol paa et Batteri, dannedes der Ilt ved den første, Kalium og Natrium optoges i Kvægsølv, og Brinten undveg.

69. **Faraday's elektrolytiske Lov (1833).** Som nævnt er den kemiske Virkning af den elektriske Strøm proportional med Strømmens Styrke. Ledes nu den samme Strøm igjennem flere forskellige Dekompositionsapparater, saa udskilles der altid æquivalente Mængder af Stofferne. Dersom altsaa den samme Strøm i ét Apparat dekomponerer SO_4Cu (i SO_4 og Cu), i et andet ClK (i Cl og K), maa der for hvert Molekyle SO_4Cu dekomponeres 2 Molekyler ClK , thi den udskilte SO_4 skal kunne danne en mættet kemisk Forbindelse med det i det andet Apparat udskilte Kalium, og da Forbindelsen har Formlen SO_4K_2 , saa maa der være frigjort K_2 samtidig med SO_4 ; der dannes altsaa ogsaa Cl_2 samtidig med Cu, og Chlorkobberets Formel er netop Cl_2Cu .

Istedetfor at maale Strømstyrken ved den udviklede Knaldluftmængde, kan man derfor ogsaa maale den ved den i en vis Tid af en Metalopløsning udskilte Mængde Metal; Maa-lingen skær da ved Bestemmelse af den negative Elektrodes Vægtforøgelse.

Naar en Strøm ledes igjennem en Vædske, hvori der er opløst flere Forbindelser, ville de alle dekomponeres af Strømmen samtidig. Undertiden vil man dog kun iagttage Udskillelsen af det ene Stof, ikke af det andet eller de andre, men dette hidrører fra sekundære Virkninger. Har man saaledes en Opløsning af Kobber- og Zinkvitriol, vil man kun se Kobber blive udfældet; Sagen er den, at naar et Stykke Zink nedsænkes i en Kobbervitriolopløsning, vil det udskille Kobber deraf og selv opløses, idet det træder i Kobberets Plads, og derfor vil ogsaa det af Strømmen udfældte Zink udskille en æquivalent Mængde Kobber og selv strax opløses.

70. **Galvanoplastik** (opfundet 1836 af Jacobi i St. Petersburg) er den Kunst ved Hjælp af en elektrisk Strøm at frembringe Metaludfældninger, som nøjagtig have en vis Form, som altsaa dannes paa en Model uden dog at hefte fast derved. Metallet, hyppig Kobber, aflejres i et sammenhængende Lag;

Modellen (Matricen) kan bestaa af Vox, hvori der er blandet Stearin, af Gibbs, Guttapercha, eller endnu bedre af en Masse, der er sammensat af Vox, Asphalt, Stearin og Talg, hvilken Komposition gjengiver de fineste Detailler.

Vil man danne et Aftryk af en Medaille paa en Matrice af Guttapercha, opvarmes denne, der ved almindelig Temperatur er haard, i et varmt Vandbad, til den har faaet en passende Blødhed; den gives da Pladeform og i dennes Overflade dannes Medaillens Overflade, hul og omvendt, ved at trykke Medaillen imod Guttaperchaen. Denne skal derefter metalliseres: gjøres ledende, hvilket skér ved Overgnidning med Graphit eller Bronzepulver. Den saaledes behandlede Matrice ophænges i et Kar med Kobbervitriolopløsning og ligeoverfor anbringes en omtrent lige saa stor Kobberplade; denne sidste forbindes med den positive Pol paa et galvanisk Batteri bestaaende af 2 à 3 Elementer, medens den negative Poltraad føres hen til et Par Steder af Matricens Overflade. Under Strømmens Gang vil der af Opløsningen udfældes Kobber paa Matricen, men samtidig opløses der Kobber af den positive Elektrode, og Vædsken Concentration bliver derfor uforandret. Efter et Par Dages Forløb har det aflejrede Kobberlag en passende Tykkelse og kan da med Lethed skilles fra Matricen.

Dersom man skal have en Udfældning paa en rund Model, en Kande f. Ex., danner man en Form, som bestaar af flere Stykker, idet forskjellige Dele af Gjenstanden aftrykkes i Matricemassen, og disse Stykker sammensættes derefter, saa at de danne et hult Rum af Gjenstandens Form. Indersiden heraf overgnides med Graphit, og i dette Rum findes Metalopløsningen. Men der opstaar nu den Vanskelighed at faa Metallet til at aflejre sig overalt, ogsaa i de fine Fordybninger, og der er foreslaaet adskillige Fremgangsmaader; en af de bedste er at lade den positive Elektrode bestaa af Platintraade (altsaa ikke være opløselig), som inde i Formen forgrener sig til alle Sider uden dog at berøre Overfladen, og da Formen er aaben foroven og forneden, vil Cirkulationen af Vædsken udenfor og indenfor bevirke, at Concentrationen bevares; endnu bedre og billigere er den af en Ingenieur i Christoffes Etablissement i Paris foreslaaede gjennemhullede

Blykjærne - Elektrode, som i Hovedtrækkene gives Form som vedkommende Gjenstand.

Gjælder det store Kunstværker, bliver Gjenstanden formet i Gibsmodel, denne derefter delt i mange Stykker, og af hvert Stykke dannes en Matrice, paa hvilken Metallet udfældes; de enkelte Dele sammenloddess derefter, og Lodningsstederne overtrækkes med Metal ad elektrolytisk Vej. Paa denne Maade er Guttenberg-Mindesmærket i Frankfurt a. M. udført og ligeledes flere Statuer i den store Opera i Paris. I Christofles Etablissement har man dog ogsaa udfældet monumentale Gjenstande i ét Stykke, hvilket skér derved, at en Bly-Elektrode er stillet overfor alle Dele af Formen i samme Afstand, og en stærk Strøm sendes saa igjennem den derimellem værende Kobbervitriolopløsning, som ved Gjennemboringer i Blyet cirkulerer med Væsken udenfor.

71. **Galvanisation**, galvanisk Udfældning af Metal paa andre Metaller, saaledes at det hænger ved disse, har derimod været bekendt fra Aaret 1805. Den finder navnlig Anvendelse, hvor uædle Metaller skulle overtrækkes med ædle, galvanisk Forgyltning og Forsølvning, men ogsaa i mange andre Tilfælde; galvanisk Fornikling anvendes saaledes meget i den senere Tid. Det gjælder om altid at have de Gjenstande, som skulle overtrækkes med Metal saa omhyggelig rensede som mulig; det afhænger af deres Natur, med hvilke Midler denne Renselse skal foretages.

Enten kan man lade selve Udfældningsapparatet være det galvaniske Apparat, som frembringer Strømmen, eller man kan have et særligt galvanisk Apparat. Det første anvendes ofte, naar Gjenstandene ere faa og smaa; gjælder det saaledes en Forsølvning, har man et vidt Glaskar med en Sølvopløsning og i dets Midte et Lerkar med fortyndet Svovlsyre, op fra hvilken der rager en Zinkklods, hvortil der er befæstet en stor vandret Metalring, hvorfra Gjenstandene hænge ned i Sølvopløsningen. Strømmen gaar fra Zink igjennem Vædskerne til Metalgjenstandene, og derved udfældes Sølv paa disse sidste. Men ere Gjenstandene større, haves et særligt Udfældningsapparat, hyppigst med en Sølvplade til positiv Elektrode. Sølvopløsningen komponeres i Reglen saaledes:

Solv opløses i Salpetersyre, denne Opløsning inddampes til Sirupstykkelser, der fortyndes med Vand og tilsættes Kogsalt, indtil Sølvnitratet er omdannet til Chlorsølv; dette udvaskes og opløses i et Overskud af Cyankaliumopl. Det udfældte Sølv Farve er livligst, naar Badet under Processen har været opvarmet til cr. 70° C.; tilsættes der til Vædsken nogle Draaber Svovlkulstof eller noget Svovlsølv, forøger det Sølvets Glands. Naar det er Jærn eller Staal, som skal forsøves, maa det først forkobres ved Hjælp af Cyankobberkalium, da Sølv et ellers ikke hefter ved.

Til galvanisk Forgyltning anvendes bedst følgende Komposition: 50 Gram Guldchlorid, 150 Gram Cyankalium, opløst i 1 Liter Vand; er Vædsken kobberholdig, bliver Gjenstanden rødlig, er den sølvholdig, bliver den grønlig. Badets Temperatur bør være cr. 70° C. Den største Forgyltning, som er foretaget, er Forgyltning af Fødder og Kapitæler til Søjlerne i Jakobskirken i St. Petersborg; de vare støbte af Bronze og vejede 576 Centner hver.

72. Den galvaniske Polarisation. Naar der i en elektrisk Strømledning er indskudt en Vædske, danner denne en større Hindring for Strømmen, end Vædskens Modstand frembyder. Dette hidrører fra, at der ved de metalliske Ledere, ved hvilke Strømmen ledes ind i og ud af Vædsken, udskilles

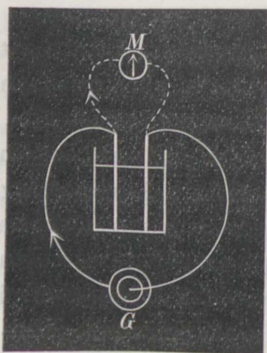


Fig. 73.

Stoffer, som give Anledning til en ny elektromotorisk Kraft, der fremkalder en Strøm i modsat Retning af Hovedstrømmen og altsaa svækker denne; denne Modstrøm er den galvaniske Polarisation. Ledes en Strøm saaledes igjennem et Vanddekompositionsapparat, ville de udskilte Ilt- og Brintlag paa Platinpladerne fremkalde en saadan Polarisationsstrøm (jfr. Groves Gas-element); denne voxer med Hovedstrømmens Styrke indtil en vis Maximumsværdi, ud over hvilken den ikke kan stige. At en saadan Strøm er tilstede, kan man let vise ved at afbryde

Hovedstrømmen og forbinde de to Platinelektroder direkte med en Multiplikator, hvis Udslag da vil tilkjendegive en Strøm fra Brint igjennem Vædske til Ilt, hvilken Strøm naturligvis ogsaa var tilstede, da Hovedstrømmen gik sin Gang; Polarisationsstrømmen taber sig nu dog hurtig, idet den dekomponerer Vandet, hvorved Luftlagene hurtig formindskes og endelig forsvinde helt. — Benyttes blanke Platinplader, beløber Polarisationens elektromotoriske Kraft sig til cr. $2\frac{1}{2}$ Volt.

Dersom Metalpladerne i den Vædske, hvorigjennem Strømmen ledes, tillige ved Elektrolysen omgives af forskellige Vædsker, kan Polarisationen blive langt større; som vi have sét, vil der, naar en Strøm ledes igjennem en Opløsning af et Kali- eller Natronsalt, omkring den positive Elektrode findes fri Syre, om den negative fri Kali eller Natron, og da Metallerne gjøres stærkt negative ved Berøring med Kali og Natron, svagere derimod eller positive ved Berøring med en Syre, saa forøges Polarisationen betydelig.

Det er hovedsagelig Polarisationen, som gjør et galvanisk Apparat inkonstant; jo mere den er undgaaet, desto mere konstant er Apparatet.

Dersom et af de ved Elektroderne udskilte Stoffer er en slet Leder, f. Ex. et Metalilte, saa forøges den Modstand, som den elektriske Strøm møder, yderligere med en Overgangsmodstand.

Af polariserede Plader kan man danne Polarisationsbatterier, hvortil Groves Gasbatteri (57) kan henregnes. Hertil slutte sig endvidere Accumulatorer eller sekundære Batterier.

Planté's Accumulator (1860) bestaar af et Glaskar med fortyndet Svovlsyre, hvori der stilles to sammenrullede, med Kautschukbaand adskilte Blyplader; sendes en Strøm fra den ene Blyplade til den anden, vil den første blive iltet til Blyoverilte, medens den anden bliver rent Bly, og forbindes disse Plader derefter direkte med hinanden, opstaar der en sekundær Strøm, som gaar fra Bly- til Blyoveriltepladen, indtil de blive lige stærkt iltede; Strømmen ophører da, og en ny Strøm maa sendes igjennem Accumulatoren, for at faa denne til at virke.

I Faure's Accumulator (1881) ere Blypladerne først overstrøgne med Mønnie; den ene reduceres af Strømmen til Bly, den anden iltes til Blyoverilte.

VII. Strømmens magnetiske Virkninger.

73. Magnetiske Virkninger af den elektriske Strøm ere først paaviste af H. C. Ørsted (1820), som fandt, at naar man leder en elektrisk Strøm hen over eller under en Deklinationsnaal, gjør denne et Udslag i vandret Retning; Strømmen har en Tendens til at stille Naalen vinkelret paa sin egen Retning, men Jordmagnetismens Indvirkning paa Naalen forhindrer, at dette skér fuldstændig. En Deklinationsnaal vil derfor intet Udslag gjøre, naar Strømmen ledes i Naalens vandrette Drejningsplan, eller naar den er vinkelret paa den magnetiske Meridianplan. Den Regel, efter hvilken Udslaget skér, er følgende: Lægger man den højre Haand i Strømmen, saaledes at denne træder ind ved Haandleddet, ud ved Fingerspidserne, og vendes Haandfladen imod Magnetnaalen, bevæger dennes Nordende sig altid ud i den Retning, som Tommelfingeren angiver (Sydenden til den modsatte Side).

Herpaa grunder sig Multiplikatoren (Schweigiger, 1821), et Instrument til at undersøge, om der i en Ledning gaar en elektrisk Strøm, og hvis en saadan findes, da i hvilken Retning (saadanne Instrumenter kaldes i Almindelighed Galvanoskopet). Multiplikatoren bestaar af en astatisk Dobbelt-

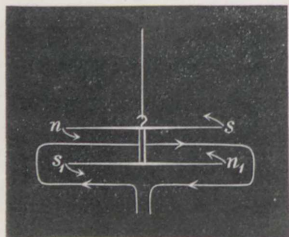


Fig. 74.

naal, to med hinanden fast forbundne, parallelle Magnetnaale med ensartede Poler til modsatte Sider; ophænges Dobbeltnaalen ved en fin Traad i en lodret Plan, vil Jordmagnetismens Indflydelse paa Naalen være ringe, og desto ringere, jo mere Naalene nærme sig til at være lige stærke. Dobbelt-

naalen vil da have en svag Direktionskraft og vil let kunne drejes ud af sin Stilling ved Hjælp af en elektrisk Strøm. En saadan ledes omkring den nederste Naal; ved at undersøge Virkningen af Strømmens forskjellige Dele paa den nederste Naal, vil man se, at de alle ville bevæge Nordenden (n_1) indefter, Sydenden (s_1) udefter; i samme Retning vil den øverste Naal blive paavirket af den

Del af Strømmen, som ligger imellem de to Naale, medens den nederste Del af Strømmen vil paavirke den øverste Naal i modsat Retning, altsaa forstyrrende, men paa Grund af den store Afstand vil denne Virkning blive meget ringe i Sammenligning med de øvrige Virkninger. Dersom Dobbeltnaalen er fuldstændig astatisk, vil den for en nok saa svag Strøm stille sig vinkelret paa denne; men er dette ikke Tilfælde, vil den for svage Strømme gjøre et Udslag, der voxer med Strømstyrken.

Ledningens Anbringelse i Instrumentet skér paa følgende Maade: omkring den nederste Naal er der sat en lodret Træramme, og udenom den er der viklet en med Silketraad overspunden Kobbertraad i mange Vindinger (lang og tynd Traad,

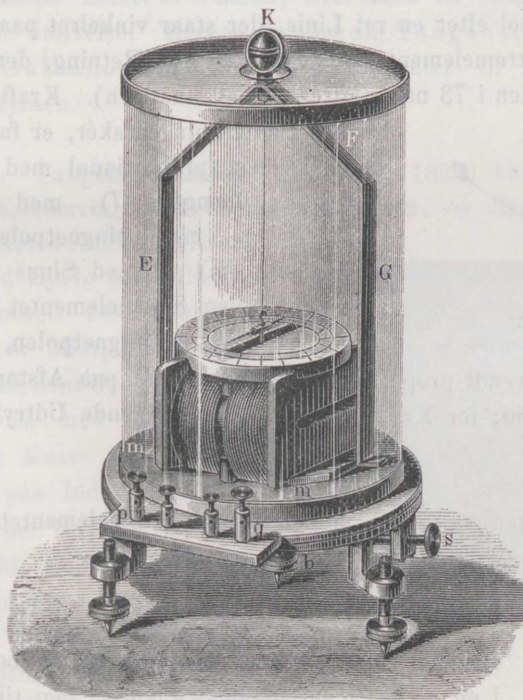


Fig. 75.

naar Multiplikatoren skal gjøre en stor Modstand imod Strømmen, kort og tyk, naar Modstanden skal være ringe); Enderne af Traaden ere fastgjorte i to Klemmeskruer, ved Hjælp af hvilke

Multiplikatoren kan indskydes i en Ledning. Ovenover Trærammen er der sat en vandret, inddelt Skive, hen over hvilken den øverste Naal altsaa bevæger sig.

Differentialmultiplikatoren er en almindelig Multiplikator, men med to Ledninger om Trærammen, og igjennem disse Ledninger sendes to modsat rettede Strømme; ved Regulering af Strømstyrkerne kan man faa dem til at paavirke Dobbeltnaalen lige stærkt i modsatte Retninger, i hvilket Tilfælde der intet Udslag skér.

74. Den omtalte Virkning af en elektrisk Strøm paa en Magnetnaal er Resultatet af Virkningerne af Strømmens enkelte Dele paa de enkelte Magnetpoler. Betragt vi et lille Strømelement (dette kan altid anses for retliniet), vil dette paavirke en Magnetpol efter en ret Linie, der staar vinkelret paa Planen igjennem Strømelementet og Polen, og i en Retning, der er bestemt ved den i 73 nævnte Regel (med Haanden). Kraften, med

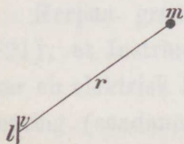


Fig. 76.

hvilken Paavirkningen skér, er funden at være ligefrem proportional med Strømelementets Længde (l), med Strømstyrken (s), med Magnetpolens frie Magnetisme (m) og med Sinus til Vinklen (v) imellem Strømelementet og Retningen fra dette til Magnetpolen, medens

den er omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden (r) imellem dem; for Kraften haves altsaa følgende Udtryk

$$K = a \cdot \frac{l \cdot s \cdot m \cdot \sin v}{r^2}.$$

Er Retningen til Polen vinkelret paa Strømelementet, bliver $v = 90^\circ$, og

$$K = a \cdot \frac{l \cdot s \cdot m}{r^2}.$$

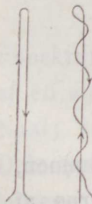


Fig. 77.

Bringer man en Strømledning, der er bøjet som i en af de to hosstaaende Figurer, hen til en bevægelig Magnetnaal, vil den efter det nævnte ikke influere paa Naalens Stilling.

Betragt vi nu en Magnetpol i Centrum af en cirkulær Strømledning, paavirkes den af en Kraft, der staar vinkelret paa Strømkredsens Plan; Cirkel-

strømmen kan betragtes som en Mængde smaa retliniede Elementer af Længde l , der alle staa vinkelret paa Retningen ind til Polen, og alle have samme Afstand — lig Cirkelns Radius — derfra; Elementernes Antal er $\frac{2\pi r}{l}$, og deres samlede Virkning paa Magnetpolen bliver

$$K = \frac{2\pi r}{l} \cdot a \cdot \frac{l \cdot s \cdot m}{r^2} = \frac{2\pi a \cdot s \cdot m}{r}.$$

Dersom der altsaa findes en ganske lille Magnetnaal i Kredsens Centrum, saa lille, at dens Længde er forsvindende i Sammenligning med Kredsens Radius, vil Strømmen søge at stille Naalen vinkelret paa sin Plan, idet Polerne paavirkes til modsatte Sider af Planen, hver med en Kraft af ovenstaaende Størrelse. Herpaa grunder sig Tangensboussolen, et af Galvanometrene, o: Instrumenter til Maaling af Strømstyrken.

75. **Tangensboussolen** (Pouillet, 1822) bestaar af en lodret Kobberring, der er aaben forneden, og disse to Ender ere befæstede til en isolerende Fod, som ved Hjælp af Stilleskruer kan stilles lodret. I Centrum af Kobberringen er Midtpunktet af en lille Deklinationsnaal; denne er anbragt inde i en med Glaslaag dækket, vandret Kasse med en Gradinddeling paa Indersiden. Til Naalen er der befæstet en lang, tynd Stilk af Kobber eller Glas for Aflæsningens Skyld; den sidder enten i Naalens Forlængelse, og i saa Tilfælde ere Udgangspunkterne (0°) for Inddelingen dér, hvor Kobberringen passerer Kassen, eller den gaar tværs paa Naalen, og i saa Tilfælde staar der 90° paa de nævnte Steder, og Endepunkterne af den paa Ringen vinkelrette Diameter have 0° . — Instrumentet bruges nu saaledes, at det først opstilles i den magnetiske Meridianplan (Stilken peger paa 0°), og derefter ledes Strømmen ind

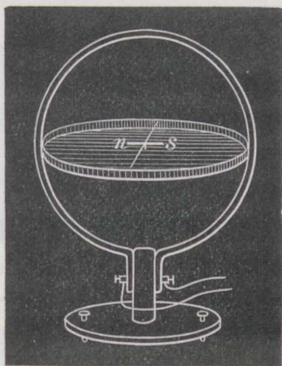


Fig. 78.

og ud igjennem to parallelle Kobbertraade (for at denne Del af Strømmen ikke skal influere paa Naalens Stilling); Magnetnaalen gjør da et Udslag, og af dettes Størrelse bestemmes

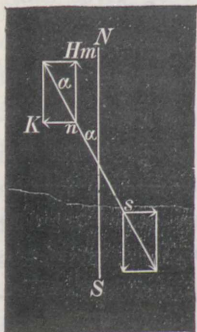


Fig. 79.

Strømstyrken. Forestiller NS den magnetiske Meridian, ns Magnetnaalen efter Udslaget (α), paavirkes enhver af Polerne af to Kræfter: Virkningen af Jordmagnetismens horizontale Komponent Hm parallel med NS og Kraften $K = \frac{2\pi asm}{r}$

vinkelret paa NS ; naar Naalen er i Ro, maa de to Kræfters Resultant falde i Naalens Forlængelse, og man faar altsaa $\frac{2\pi asm}{r} = Hm \cdot \tan \alpha$, $s = \frac{Hr}{2\pi a} \tan \alpha = k \cdot \tan \alpha$,

o: Strømstyrken proportional med Tangens til Udslaget, idet k er en Konstant for samme Instrument (r) paa samme Sted af Jorden (H). Udslaget ses at være uafhængigt af Magnetnaalens Styrke, hvad Forsøget ogsaa viser.

Værdien af k afhænger af den valgte Enhed for Strømstyrken.

VIII. Bestemmelse af den elektriske Strøms Konstanter.

76. Elektrisk Ledningsmodstand. Den Modstand, som en Leder byder den elektriske Strøm, er som tidligere (61) angivet ligefrem proportional med Lederens Længde og med Modstandskoefficienten (afhængig af Lederens Stof) og omvendt proportional med Lederens Tværsnit, saa at den kan sættes lig

$$c \frac{l}{t}.$$

Med Hensyn til Enheden for den elektriske Ledningsmodstand, da har man hidtil i Almindelighed benyttet en Siemens' Enhed, hvilket er den Modstand, en Kvægsølv-søjle, 1^m. lang, 1^{mm}. i Tværsnit, 0° varm, byder Strømmen, saa at en Kvægsølv-søjles Modstand, naar disse Enheder

anvendes, er lig $\frac{l}{t}$, idet $a = 1$ for Kvægsølv. For et andet Stof betegner da a den Modstand, som en Traad af dette Stof gjør, der er 1^m. lang og har 1^{mm}. i Tværsnit; a er altid Forholdet imellem dette Stofs og Kvægsølvets Modstandsevne. Grunden til, at Kvægsølvet bliver anvendt til Enheden, er den, at dets Modstand er saare lidt variabel (paa Grund af smaa Urenheder), medens andre Metaller Modstand (Størrelsen a) varierer, stundom ret betydelig, med Metallets Haardhed o. desl. I Modstandsmaaleapparaterne findes dog ikke Kvægsølv, men Metaltraade (Nysølv, Platin, Aluminium o. a.), hvis Modstand i Forhold til Kvægsølvet er omhyggelig bestemt, saa at man direkte paa disse Traade kan aflæse Modstandsenhederne. Efterhaanden benyttes dog mere og mere en lidt større Enhed for Modstanden, 1 Ohm = 1,06 Siemenske Enheder, altsaa lig Modstanden af en Kvægsølvstøbe, 1^{mm}. i Tværsnit og 1,06^m. lang (s. Absolute Enheder).

Modstandsmaalerne eller Rheostaterne kaldes Rheochorder, naar Metaltraadene i dem ere udspændte som Streng. En simpel Rheochord er den i Fig. 80 angivne. To Metaltraade ere spændte ud over et Brædt, fastgjorte i den ene Ende ved Kobberknapperne a og b , og udspændte derved at de i anden Ende af Brættet ere bøjede over Tridser og ved

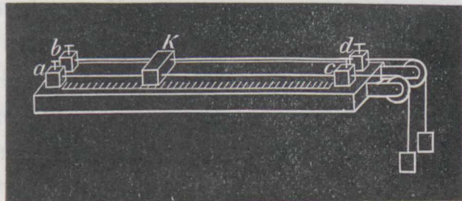


Fig. 80.

paahængte Vægte givne en bestemt Spænding; naar denne er erhvervet, kan man ogsaa klemme Traadene fast i Kobberknapperne c og d . Ved Klemmeskruer i a og b kan Rheochorden indskydes i en Strømledning, og Mængden af Rheochordtraad, som bliver gjennemløbet af Strømmen, varieres derved, at der frem og tilbage paa Brættet kan bevæges en Kasse K , fyldt med Kvægsølv og med Huller i de to parallelle Glassider, som vende hen mod Traadenes Ender, saaledes at Traadene akkurat gaa igjennem disse Huller. Da en Strøm

nu gaar f. Ex. fra *a* igjennem den dér fastspændte Traad hen til Kvægsølvet i *K* og derfra igjennem den anden Traad tilbage til *b*, saa vil der ved *K*'s Flytning ind- eller udskydes nogen Rheochordtraad, og Modstanden i Strømledningen derved forøges eller formindskes. Paa en Maalestok kan Forandringen i Modstanden aflæses.

En anden Konstruktion af en Rheostat er givet af Siemens & Halske. I en Kasse er der stillet en Mængde Ruller af Metaltraad med Modstande henholdsvis lig 1, 2, 2, 5, 10, 20 o. s. v. Siemenske Enheder (eller Ohm); paa Laaget er der befæstet en Del Metalknapper, og til enhver af disse er fastgjort Endetraaden af den ene Rulle og Begyndelses-

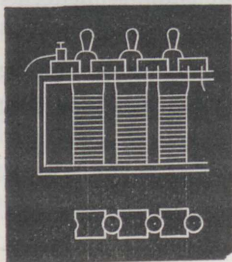


Fig. 81.

traaden af den næste Rulle (skizzeret i Figuren). Den første Metalknap er kun forbundet med Begyndelsesenden af den første Rulle, og den sidste Knap med Endetraaden af den sidste Rulle; disse to Knapper ere forsynede med Klemmeskruer, saa at man ved disse kan indskyde Rheostaten i en Strømledning. Naar der nu imellem

alle Messingknapper er anbragt tætsluttende Metalpropper, kan Apparatets Modstand sættes lig 0, men tager man en Prop ud etsteds, indskydes derved en Rulle i Ledningen; Rullens Modstand er altid angivet paa Metalproppen.

77. Til Bestemmelse af en Leders Modstand kunne følgende Metoder anvendes:

a. Substitutionsmethoden. I en Strømledning er

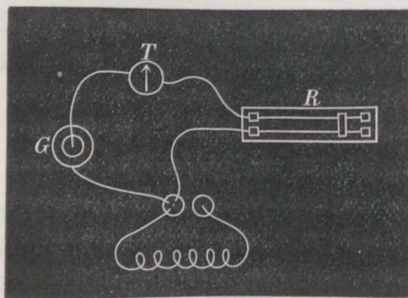


Fig. 82.

der foruden det galvaniske Apparat (*G*) indskudt en Tangens-boussole (*T*) og en Rheostat (*R*). Efter at Udslaget af Tangens-boussolens Naal er bestemt, indskydes (f. Ex. ved Kvægsølvskaale som Kontakter) den Ledning,

hvis Modstand skal bestemmes; Naalens Udslag vil derved formindskes, men den bringes tilbage til sin tidligere Værdi derved, at der udskydes en passende Del Rheostattraad; naar dette er skét, vil den søgte Modstand være lig den udskudte Rheostattraads under Forudsætning af, at den elektromotoriske Kraft er uforandret under Forsøget.

b. Wheatstones Bro (65) kan benyttes; det blev bevist, at naar der ikke gik nogen Strøm igjennem Broen, var der følgende Relation imellem de 4 Modstande i Grenene m_1 , m_2 , m_3 og m_4 :

$$\frac{m_1}{m_3} = \frac{m_2}{m_4}.$$

Methoden er den, at man gjør $m_1 = m_2$, lader m_3 være en Rheostattraad og m_4 den søgte Modstand; i Broen er der indsat en Multiplikator, og man indskyder nu saa megen Rheostattraad, at Multiplikatoren intet Udslag giver mere; da vil m_4 være lig den indskudte Rheostattraads Modstand.

c. En Differentialmultiplikator kan benyttes. I den ene Ledning, som fører hen omkring Dobbeltnaalen, findes en Rheostat, den anden er forsynet med en Kontakt (til Indskydning af den søgte Modstand), og Rheostaten reguleres, indtil Dobbeltnaalen intet Udslag giver. Derefter indskyder man den søgte Modstand i den sidste Ledning, og samtidig indskydes Rheostattraad i den første, indtil der atter intet Udslag er; Modstanden er da bestemt.

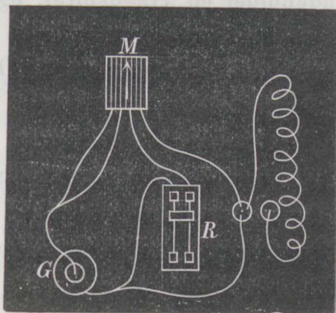


Fig. 83.

Ved saadanne Forsøg finder man, at Metallernes elektriske Ledningsevner staa i samme Forhold som deres Varmeledningsevner; Exempler paa disse Forhold ere:

Sølv	Kobber	Guld	Jærn	Platin	Nysølv	Kvægsølv
63,7	56,8	43,8	8,8	6,1	3,6	1

Gjælder det om at bestemme Vædskernes Modstand, vil Polarisationen bevirke, at de nævnte Metoder maa modificeres

lidt, idet man maa have en Vædskestrækning indskudt strax ved den første Maaling, og denne Vædskestrækning forøges eller formindskes derefter; den derved forandrede Modstand bliver altsaa upaavirket af Polarisationen. I det Øjemed er Vædsken indesluttet i et aflangt, rektangulært Trug, og den i Strømmen indskudte Vædskemasse begrændset af to Platinplader, som passe i Karret, saa at den indskudte Vædskes Længde og Tværsnit ere bekjendte.

Vædskerne — med Undtagelse naturligvis af Kvægsølv — ere daarlig ledende i Sammenligning med Metallerne; jo mere fortyndede Opløsningerne ere, desto slettere lede de.

Temperaturen influerer paa Legemernes Ledningsmodstand; Metallerne forøges desto mere, jo højere Temperaturen er, omvendt for Vædskernes Vedkommende.

Herpaa grunder sig Bolometret, Instrument til Maaling af Temperaturforandringer, fremkaldte f. Ex. af Straalevarmen. Det bestaar i sin simpleste Skikkelse af en fin Differentialmultiplikator, igjennem hvis to Ledninger sendes lige stærke Strømme, saa at Naalens Udslag er Nul; den ene Ledning indeholder en Traadspiral, og naar denne nu opvarmes, forøges dens Modstandsevne, saa at Strømmen igjennem den svækkes, og Naalen vil gjøre et af Opvarmningens Størrelse afhængigt Udslag.

Forøgelsen i Modstand ved Opvarmning er for de rene Metaller Vedkommende tilnærmelsesvis proportional med Temperaturen og lig 0,003665 (Luftens Udvidelseskoefficient ved Opvarmning) for hver Grad Celsius; kun for Kvægsølv er den 0,0097.

78. **Bestemmelse af den elektromotoriske Kraft.** Et galvanisk Elements elektromotoriske Kraft er lig Polernes Potentialforskjel; afledes derfor den ene Pol til Jorden, medens den anden sættes i ledende Forbindelse med de to til Jorden ikke afledede Kvadranter (c og d) i Kvadrantelektrometret (32), vil Udslaget α være et Maal for Elementets Potentialforskjel. Ofte bestemmes den elektromotoriske Kraft i Forhold til et bestemt Elements, f. Ex. et Daniells Element (D), og dersom dette ved samme Fremgangsmaade frembringer et Udslag α_1 , er den søgte elektromotoriske Kraft $\frac{\alpha}{\alpha_1} \cdot D$.

En anden Methode bestaar i Bestemmelse af den elektromotoriske Kraft ved Hjælp af Strømstyrke og Ledningsmodstand (Ohms Lov). Enhed for elektromotorisk Kraft (1 Volt) er den, som i en Ledning med Modstanden 1 (1 Ohm) formaar at frembringe en Strøm med Styrke 1 (1 Ampère). Fremgangsmaaden er den, at man forbinder det vedkommende galvaniske Elements Poler med et Galvanometer og paa dette maaler Strømstyrken s_1 ; derefter indskydes (f. Ex. ved Hjælp af en Rheostat) en bekjendt Modstand m , og Strømstyrken s_2 bestemmes; man har da, idet den elektromotoriske Kraft er E , og den hele Modstand i den først sluttede Ledning M ,

$$s_1 = \frac{E}{M} \text{ og } s_2 = \frac{E}{M+m};$$

$$\text{heraf faaes } s_2 \left(\frac{E}{s_1} + m \right) = E, \quad E = \frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} m.$$

Methoden kan selvfølgelig kun anvendes, naar den elektromotoriske Kraft er uforandret under Forsøget.

IX. Varme og Elektricitet.

79. **Varmeudvikling i Strømledningen.** Naar en Leder gjennemløbes af en elektrisk Strøm, opvarmes den; idet Elektriciteten nemlig drives fra et højere til et lavere Potential, udføres der et Arbejde, og den udviklede Varme er da Vederlaget derfor. Den udviklede Varmemængde er bestemt ved Forsøg af Joule; han omviklede Kuglen paa et fint Thermometer med den Metaltraad, hvorigjennem Strømmen sendtes, anbragte Thermometret i et Vandkalorimeter og bestemte saa den af Strømmen i Traaden fremkaldte Varme, idet den til Kalorimetrets Opvarmning fornødne Varmemængde var bekjendt. Joule fandt ved saadanne Forsøg, at

Varmeudviklingen er proportional med Kvadratet paa Strømstyrken og med Ledningens Modstand,

saa at den Varme, der udvikles i 1 Sekund med de almindelige Betegnelser kan sættes lig

$$a s^2 m \text{ Varmeenheder,}$$

hvor a er den Varmemængde, der i 1 Sekund udvikles i en Leder med Enhed af Modstand, naar den gennemløbes af en Strøm med Enhed af Styrke. Maales Strømstyrken i Ampère, Modstanden i Ohm, bliver $a = 0,24$, idet 1 Varmeenhed er den Varme, som kræves til at opvarme 1 Gram Vand 1° C. — Ogsaa Vædske opvarmes efter denne Lov, naar man formaar at udelukke de fra de chemiske Processer hidrørende Varmeforandringer.

Er den hele Modstand i en Ledning M , har man for den samlede Varmeudvikling

$$V = a \cdot s^2 M = a \cdot s \cdot E,$$

idet E betegner den elektromotoriske Kraft.

For samme Apparat (samme E) er den udviklede Varmemængde altsaa proportional med Strømstyrken; forandres denne — derved at Modstanden varieres — vil Varmeudviklingen forandres i samme Forhold.

For samme Strømstyrke i forskellige Ledninger vil Varmeudviklingen være proportional med de respective elektromotoriske Kræfter; disse kunne altsaa maales ved Varmeudviklingen.

Den hele Varme, der udvikles i en Strømledning, er ifølge W. Thomson (1851) lig med den algebraiske Sum af de Varmemængder, som frembringes ved de chemiske Processer, der gaa for sig i de galvaniske Apparater, der ere indskudte i Ledningen. I et Daniells Apparat f. Ex. vil der saaledes i en vis Tid opløses en vis Mængde Zink, hvorved der udvikles Varme (a), og samtidig udfældes der en vis Mængde Kobber, hvortil der forbruges Varme (b); disse Varmemængder kunne bestemmes, og Forsøg vil da vise, at den i samme Tid i den sluttede Ledning udviklede Varme netop er Differensen imellem de to Varmemængder ($a \div b$). Læren om Energiernes Vedligeholdelse er altsaa fyldestgjort.

Varmeudviklingen i Ledningen skyldes, som nævnt, direkte det Arbejde, Strømmen under sin Gang udfører, ligesom der udvikles Varme ved Gnidning. Strømmens Arbejde kan man beregne nøjagtig, og da man kjender Varmens mekaniske Æquivalent, kan den udviklede Varmemængde findes ad Regningens Vej; Resultatet heraf stemmer fuldstændig med det ovenfor angivne (s. Absolute Enheder).

80. Som Følge af ovenstaaende Resultater ansés chemiske Processer for at være Aarsag til Elektricitetsudviklingen, den chemiske Theori, medens den anden Theori, Kontakttheorien, kun ansér Berøringen for Aarsagen; Theorierne gaa imidlertid delvis Haand i Haand. Amalgameret Zink og chemisk rent Zink opløses saaledes kun i fortyndet Svovlsyre, naar en Ledning sluttes imellem Zink og f. Ex. Kobber; Tendensen til Strøm er der altsaa, men den sidstnævnte Berøring er fornøden, for at den potentielle Energi skal blive omsat til kinetisk (chemisk Energi).

Blandt de mange Theorier om Elektricitetsudviklingen skal her kortelig nævnes ved et Exempel den af Schönbein fremsatte. Anbringer man en chemisk ren Zinkplade i Vand (egentlig kan Vand, som paavist, ikke dekomponeres af den elektriske Strøm, men vi kunne nu antage det), saa, da dette bestaar af det elektropositive Brint og det elektronegative Ilt, og denne sidste tiltrækkes af Zinket (Ilt forbinder sig let med Zink), vil Zinket faa positiv Elektricitet nærmest de Steder, hvor det er bedækket af Ilt, negativ paa de Steder, der rage op af Vædsken. Brintatomerne i de Zinket berørende Vandmolekyler vendes derved bort fra Zinket og ere ladede med positiv Elektricitet, hvilken ved sin Tiltrækning paa de næste Vandmolekyler drejer disse om i en lignende Stilling o. s. fr., saa at Iltatomerne helt igjennem Vædsken vende imod Zinket, Brintatomerne bort derfra. Naar der saa i Vædsken i nogen Afstand fra Zinkpladen staar en Metalplade, der f. Ex. ikke har nogensomhelst chemisk Virkning med Vandets Bestanddele (en Platinplade), ville de denne Metalplade nærmest liggende Brintatomer tiltrække negativ Elektricitet i Pladen og frastøde positiv, saa at, naar denne Metalplade forbindes ledende med Zinkpladen, de modsatte Elektriciteter i disse to forenes; Metalpladen bliver altsaa den positive Pol. Men tillige forenes Zinkets bundne, positive Elektricitet med de nærliggende Iltatomers negative, og der dannes samtidig tillige Zinkilte; de derefter følgende Brintatomers positive Elektricitet forener sig med de næste Iltatomers negative Elektricitet, og samtidig forenes Atomerne selv til nye Molekyler, o. s. fr.; de sidste, op til den neutrale Metalplade liggende Brintatomer faa deres positive Elektricitet

forenet med Metalpladens bundne negative, og de blive tilbage uelektriske. Med de nye Vandmolekyler gaar det nu ligesom før, de lejre sig paa lignende Maade, og Omdannelserne foregaa som før.

Havde man staaende i Vædsken istedetfor en Zinkplade et Metaloverilte (Blyoverilte i Faures Accumulator, Brunsten i Leclanché's Element), vilde dette Overilte virke paa Vandmolekylerne som før Zinket, kun paa den omvendte Maade, idet de positive Brintatomer tiltrækkes, de negative Iltatomer frastødes, saa at Overiltepladen bliver Elementets positive Pol. Havde man istedetfor havt en neutral Metalplade (Platin), overtrukket med Brint, vilde denne virke paa samme Maade som et elektropositivt Metal, altsaa dreje Vandmolekylerne saaledes, som Zinket gjorde det.

Dersom der foruden Zinket stod i Vædsken et Legeme, der ikke var neutralt, men som udøvede en chemisk Indvirkning paa en af Vandets Bestanddele, saa vilde dette forøge eller formindske den alt tilstedeværende elektromotoriske Kraft, eftersom Legemet virkede tiltrækkende paa Brinten eller paa Iltten; størst elektromotorisk Kraft faar man altsaa, naar de to ledende Legemer, der ere anbragte i Vædsken, tiltrække forskellige Bestanddele af Vædsken.

Tænke vi os i Modsætning hertil nedsat i Vædsken to Metalplader, som ikke forbinde sig med nogen af Vædskens Bestanddele, men vel udøve en forskjellig Tiltrækning derpaa, saa dreje Molekylerne sig paa lignende Maade som ovenfor angivet, og sluttes Ledningen ved Forbindelse af Metalpladerne, ville de Elektriciteter, som blive frie paa den angivne Maade, forenes i Ledningen, saa at der kommer en øjeblikkelig Strøm, ligesom ogsaa Molekylerne omsættes, idet de ved Metalpladerne liggende Atomter udskilles af deres Molekyler, og nye Molekyler dannes, men videre skér der ikke, da der ingen chemisk Indvirkning er imellem disse udskilte Atomter og Metalpladerne. Vi kunne altsaa sige, at de enkelte Substanser fremkalde en Polarisation, der ganske tilintetgjør den første elektromotoriske Kraft.

Ligesom Vædskemolekylerne drejede sig om i bestemte Stillinger, bleve polariserede, kunne vi ogsaa tænke os Molekylerne i de faste Ledere, i Metalpladerne, drejede, saa at

i hvert Molekyle af f. Ex. Zinket den positive Elektricitet blev tiltrukken, den negative frastødt, og denne frastødte Elektricitet bandt atter den positive i det følgende Molekyle, medens den negative blev frastødt o. s. fr., og til Slut var der følgelig kun fri negativ Elektricitet i Enden af Zinket. Betragter man derfor et galvanisk Batteri, f. Ex. Voltas Bægerapparat, saa vil denne Adskillelse af Molekylernes Elektriciteter gaa for sig helt igjennem, baade i Vædskerne og i Metalpladerne, og dette i desto stærkere Grad, jo flere Elementer der er i Batteriet, saa at de i Batteriets Poler værende frie Elektriciteter voxe med Elementernes Antal. Forbindes saa Polerne ved en metallisk Ledning, hvori der ogsaa godt kan være indskudt en Elektrolyt, skær der en lignende Adskillelse af Elektriciteterne i dens Molekyler, og under Strømmens Gang foregaar der uafbrudt saadanne Adskillelser og Foreninger af modsatte Elektriciteter, hvortil i Elektrolyterne kommer Adskillelser af Molekylernes Atomer og Forening af Atomer til nye Molekyler.

81. **Elektrisk Belysning.** Naar Varmeudviklingen er tilstrækkelig stærk i en elektrisk Ledning, indtræder der en Lysudvikling, og paa denne grunder sig den elektriske Belysning; de Apparater, hvori det elektriske Lys frembringes, kaldes elektriske Lamper. Det elektriske Lys er enten Buelys eller Glødelys i henholdsvis Buelamper og Gløde- eller Inkandescenzlamper.

I Aaret 1813 opdagede Humphrey Davy, at naar man forbinder Polerne paa et stærkt galvanisk Batteri med to Kulspidser og nærmer disse til en nok saa lille Afstand, vil der ingen Lysudvikling finde Sted, thi Potentialforskjellen vil være for ringe, til at der kan dannes nogen elektrisk Gnist; men bringes Kulspidserne til Berøring, og fjærnes de derefter lidt fra hinanden, vil der opstaa en Lysbue imellem dem med et meget intensivt Lys og en meget stærk Varmeudvikling, saa stærk, at alle Metaller kunne smelte deri. Lyset dannes derved, at Kulspidserne blive hvidglødende, den positive mest, Kulpartikler løsriveres og føres fra den ene Spids til den anden, hvorved den ledende Forbindelse vedligeholdes, og Lysbuen forholder sig i det Hele som en metallisk Leder. Den posi-

tive Spids fortæres hurtigere end den negative (i Forholdet 8:5), og paa Grund af denne Fortæring ville Spidserne efterhaanden fjernes fra hinanden, Lyset svækkes og slukkes snart. Det gjælder da om at træffe en saadan Foranstaltning, at Kulspidserne stedse bevare den samme Afstand; dette skér ved en Regulator, og deraf haves mange Konstruktioner. Men for at det elektriske Lys skulde faa nogen praktisk Anvendelse, var det desuden nødvendigt at dele det, d. v. s. at kunne indskyde flere Lamper i den samme Ledning.

Denne Fordring er først bleven tilfredsstillet ved Jabloch-koffs Lys, som bestaar af to tynde Kulstænger, adskilte ved et isolerende Lag Kaolin; naar Lyset brænder imellem Kulspidserne for Enden af Kaolinen, fortæres Kullene, og Kaolinen smelter samtidig; man anvender stadig skiftende Strømme, for at Kullene kunne fortæres samtidig. En Kjærte af denne Form er vel egentlig Idealet, men der maa findes et bedre isolerende Stof end Kaolinen, thi der danner sig Kager af dette, som falde af nu og da, hvorfor Lysets Intensitet saa vel som Farve vexler.

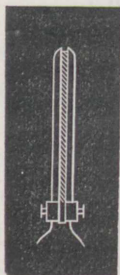


Fig. 84.

I langt fuldkommnere Grad skér Delingen af det elektriske Lys for Tiden i Differentiallamperne.

Den af Siemens og Halske konstruerede Differentiallampe er konstrueret saaledes: den ene Kulspids (K_1) er fast, den anden (K) bevægelig og anbragt i den ene Ende af en toarmet Vægtstang, paa hvis anden Ende der er befestet et lodret Jærnanker ved dettes Midte. Strømmen deles

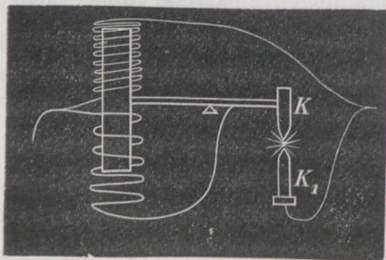


Fig. 85.

i to Grene; i den ene er der en Spiral af tyk Traad, som omgiver Jærnankrets nederste Halvdel, og den igjennem denne Gren gaaende Strøm ledes igjennem Kullene og frembringer Lyset; i den anden Gren er der en Spiral af tynd Traad omkring Jærn-

ankerets øverste Del. Ved bestemt Forhold imellem Strømstyrkerne i de to Grene, virke disse saaledes tiltrækkende paa Jærnankeret i modsatte Retninger, at Kulspidserne ere i den rette Afstand fra hinanden; forøges denne Afstand, medens Lyset brænder, ville Strømstyrkerne forandres, Strømmen i den nederste Spiral bliver svagere og virker altsaa ikke saa stærkt tiltrækkende paa Ankeret, medens den øverste Spirals Tiltrækning forøges, saa at der vil indtræde en Bevægelse af Vægtstangen, indtil K atter er kommen i den rette Afstand fra K_1 . Enhver Forandring af Strømstyrken i Ledningen vil forandre de to Grenes Strømme i samme Forhold, saa at Ligevægten ikke forstyrres; slukkes en Lampe i Ledningen, er denne ikke derved afbrudt, men da Strømmen nu maa søge ud i Sideledningen med den store Modstand, indtræder der en kjendelig Svækkelse i alle de andre Lamper; denne Ulempe er hævet i C. P. Jürgensens Differentiallampe, som er konstrueret efter et lignende Princip, der foruden det nævnte Gode har det, at den giver et roligere Lys.

I Glødelamperne frembringes Lyset ved Glødning af en Traad. Edison (1879) har først konstrueret en praktisk anvendelig Glødelampe; Traaden er en ved stærk Hede forkullet Trævl af Bambusrør, som er indesluttet i en lufttom Glasklokke, for at der ingen Forbrænding af Traaden skal ske; Traadens Ender slutte sig til Platintraade, ved hvilke Strømmen føres ind i Kultraaden. De andre af Swan, Maxim o. fl. konstruerede Glødelamper ere i Principet som Edisons og adskille sig blot derfra ved Traadens Substans (Bomuld, Papir etc.) og Form. Lyset er smukt hvidt eller gulligt med en Lysstyrke lig 8—30 Stearinlys. Mange Glødelamper kunne indesluttet i samme Ledning, og ved en Art »Hane« kan en hvilkensomhelst af dem sættes ud af Virksomhed (slukkes).

Den elektriske Belysning har flere Fordele fremfor Gassen; der udvikles saaledes ingen skadelige Luftarter, Varmeudviklingen ved Glødelamper er ringe m. m. Den benyttes flere Steder til

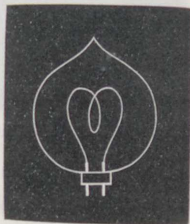


Fig. 86.

Oplysning af store Pladser, Glødelamper ere indførte i en stor Del Fabrikker, flere Theatre o. s. v. Den økonomiske Side af Sagen afhænger af Anvendelsens Art.

82. **Thermoelektriske Strømme** (Seebeck, 1823). Opvarmes Berøringsstedet imellem to forskellige Metaller, forandres deres Potentialforskjel, og derpaa bero de thermoelektriske Strømme. Berøre to Metaller derfor hinanden paa to Steder, og bringes de to Berøringssteder paa forskjellig Temperatur, vil der opstaa en Strøm i den sluttede Ledning. Lodder man saaledes en Antimonbøjle *k* til en Wismuthstang *ab* og opvarmer det

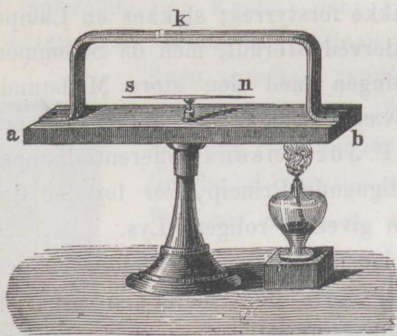


Fig. 87.

ene Lodningssted, opstaar der en Strøm, som gaar fra Wismuth igjennem det varme Lodningssted til Antimon, hvilket kan ses ved en indenfor Ledningen ophængt Magnetnaal, efterat Ledningen er opstillet i den magnetiske Meridianplan. Den frembragte elektromotoriske Kraft voxer med Lodningsstedernes Tempera-

turforskjel — omtrent proportional dermed indtil cr. 80°'s Forskjel — saa at man ved Afkøling af det andet Lodningssted kan frembringe en Strøm i samme Retning som før. Metallerne kunne opstilles i en Række, f. Ex.

Wismuth, Nysølv, Kobber, Zink, Jærn, Antimon, saaledes at, naar to af disse sammenloddess til en sluttet Ledning, gaar Strømmen fra det tidligere Led i Rækken igjennem det varmeste Lodningssted til det senere Led. For samme Temperaturforskjel imellem Lodningsstederne bliver den elektromotoriske Kraft desto større, jo længere de vedkommende to Metaller staa fra hinanden i Rækken, følgende en lignende Lov som Voltas Spændingslov. Et Wismuth-Antimon Element har for 100°'s Temperaturforskjel en elektromotorisk Kraft lig 0,01 Volt.

Vil man have stærkere thermoelektriske Strømme, danner man Thermosøjler. Figuren viser en saadan (Nobili's) af Wismuth- og Antimonstænger. Hvert andet Lodningssted — altsaa alle paa samme Side — opvarmes, og Strømmen fremkommer da, naar Ledningen sluttet. Dersom man har indskudt en Multiplikator i Ledningen, vil dens Naals Udslag tilkjendegive Strømmen og dens Retning. En Thermosøjle med en Multiplikator — en Thermomultiplikator — er et fintmærkende Thermometer, som anvendes ved Undersøgelser over Straalevarmen; i Almindelighed vil Opvarmningen være proportional med Naalens Udslag for Værdier af dette, der ligge under 25° ; Afhængigheden bestemmes iøvrigt ved Forsøg.

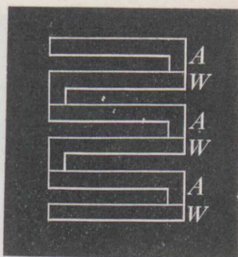


Fig. 88.

Noë's Thermosøjle er dannet af Stænger af en Zink-Antimon-Legering, som f. Ex. gaa radiært ud fra et Sted og ere forbundne med Nysølvtraade paa skraa, som Fig. viser. Stængerne have indadgaaende Spidser, som opvarmes af en Flamme; de inderste Lodningssteder blive derved altid varmere end de yderste, og derinde gaar Strømmen fra Nysølvtraaden over til Legeringen. For at holde de yderste Lodningssteder saa meget afkølede som mulig, er der til Cylindrenes ydre Endeflader loddet bøjede Kobberplader, som enten ere stukne ned i koldt Vand eller ere sværtede for derved at udstraale saa megen Varme som mulig.

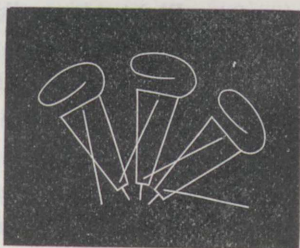


Fig. 89.

83. I Forbindelse hermed skal omtales nogle særlige Varmevirkninger af den elektriske Strøm. Naar Strømmen ledes igjennem et Lodningssted imellem to Metaller, vil der paa dette Sted fremkomme en særlig Temperaturforandring, proportional med Strømmens Styrke, og altid en saadan, som vil frembringe en thermoelektrisk Strøm i modsat Retning. Ledes saaledes en Strøm fra Wismuth til Antimon, fremkommer der en Afkøling paa

Lodningsstedet, thi en saadan Afkjøling vil frembringe en Strøm fra Antimon igjennem Lodningsstedet til Wismuth. Dette kan f. Ex.

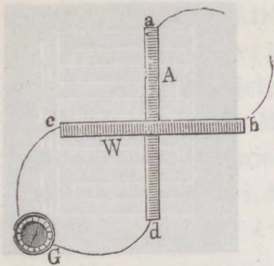


Fig. 90.

sés ved Peltiers Kors: to over Kors sammenloddede Stænger, den ene (*cb*) af Wismuth, den anden (*ad*) af Antimon; *a* og *b* forbindes med Polerne paa et galvanisk Batteri, *d* og *c* med Enderne af en Multiplikatortraad. Ledes Strømmen ind ved *a*, ud ved *b*, gaar den fra Antimon til Wismuth, vil altsaa frembringe en Opvarmning i Lodningsstedet, og denne vil atter

i den anden Ledning fremkalde en Strøm, der gaar fra *d* igjennem Multiplikatoren til *c*.

X. Elektrodynamik.

84. **Elektrodynamik** er Læren om den indbyrdes Virkning imellem elektriske Strømme og Virkningen imellem elektriske Strømme og Magneter; de sidste ere tildels omtalte tidligere.

Ampère's Lov (1823) for Virkningen imellem elektriske Strømme er følgende:

To parallelle Strømme i samme Retning tiltrække hinanden, to parallelle Strømme i modsat Retning frastøde hinanden; to Strømme, der danne en Vinkel med hinanden, ville søge at stille sig parallelt med hinanden, løbende i samme Retning, saa at de altsaa ville tiltrække hinanden, naar de begge løbe til eller begge fra Vinkelspidsen, og frastøde hinanden, naar den ene løber til og den anden fra Vinkelspidsen.

For at kunne undersøge disse Virkninger maa man have en bevægelig Strømleder; en saadan kan faaes paa følgende Maade. Paa et Træbord er der to lodrette Metalstænger med vandrette, parallelle Grene, der ende i to med Kvægsølv fyldte Metalskaale, den ene lige over den anden. En Polygon *abcdef* af Kobbertraad, formet som Figuren viser, har sine Ender, der ere platinerede, anbragte i de to Skaale, saa at den bliver

drejelig omkring en lodret Axe; kun den ene Spids hviler paa Skaalens Bund. Ind og ud igjennem Metalstængerne ledes en elektrisk Strøm, saa at Polygonen gennemløbes deraf, f. Ex. i den ved Pilene angivne Retning.

Ved nu til en af de lodrette Sider, f. Ex. bc , at nærme en anden retliniet Strømleder saavel som ved at stille en saadan under en Vinkel med den vandrette Side dc vil ovennævnte Lovs Rigtighed let godtgjøres. — Virkningen imellem to Strømelementer er proportional med

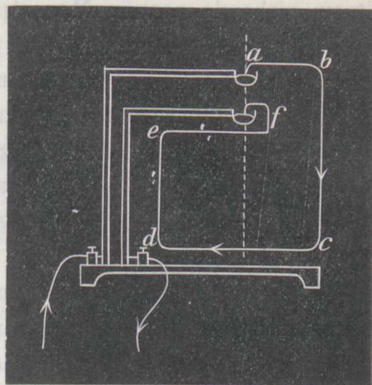


Fig. 91.

Produkterne af Strømstyrkerne og af Elementernes Længder, omvendt proportional med Kvadratet paa Afstanden imellem dem, og afhænger ellers af Elementernes indbyrdes Stilling.

Dersom Strømmen i den bevægelige Polygon har en tilstrækkelig stor Styrke, vil man let sé, at Polygonen har en bestemt Ligevægtsstilling vinkelret paa den magnetiske Meridianplan og altsaa har en Nord- og en Sydside; dog holdes den i denne Stilling med en meget lille, hyppig umærkelig lille, Kraft. Nord vil være til den Side, hvorhen Tommelfingeren peger, naar højre Haand lægges i Strømmen med Haandfladen imod Polygonens Indre; bc vil altsaa vende imod Øst, de imod Vest. Dersom der i Jorden gik Strømme fra Øst til Vest (magnetisk), vilde disse Strømme netop stille Polygonen i denne Stilling, thi en Strøm under cd fra Øst imod Vest holder cd i denne Stilling og paavirker bc med en Kraft imod Øst, de med en Kraft imod Vest (efter Loven for Vinkelstrømme); at der virkelig eksisterer saadanne Jordstrømme, har man paavist ved at forbinde Metalplader, der vare nedgravede i Jorden paa to langt fra hinanden liggende Steder, ved en Ledningstraad, hvori der var indskudt et Galvanoskop.

85. *En lukket cirkulær Strømleder virker udadtil som en magnetisk Flade med modsatte Magnetismer paa de to Sider og*

med et magnetisk Moment, der er proportionalt med Produktet af Strømstyrken og det indesluttede Areal.

For at undersøge denne Sag tænke vi os 1) en cirkulær Strøm virkende paa en Magnetpol, der ligger i en ret Linie vinkelret paa Strømmens Plan i dens Centrum og saa langt borte, at Afstandene fra Polen til dette Centrum og til et Punkt af Peripherien kunne betragtes som ligestore, og endvidere 2) Virkningen af en Magnet paa en i dens Forlængelse liggende Magnetpol, hvis Afstand fra Magneten er meget stor i Sammenligning med Magnetens Længde.

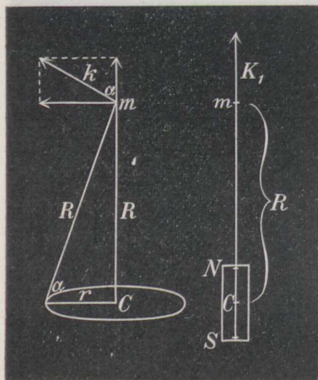


Fig. 92.

I Figuren er Magnetpolen (m) tænkt at være en Nordpol i Afstanden R fra Strømmen (med Radius r og Styrke s) eller fra Magneten (med Moment M).

1) Tænke vi os Strømmen delt i en Mængde smaa, ligestore Elementer, vil ethvert af dem paavirke m med en Kraft k , idet ifølge 74

$$k = \frac{alsm}{R^2}.$$

Alle disse Kræfter k virke efter

Frembringerne i en Kegleflade om Cm som Axe; hver af dem kan opløses i en Komposant vinkelret paa Cm , hvilke Komposanter tilsammen ville ophæve hinanden, og en Komposant i Retningen Cm af Størrelse

$$k \cos \alpha = \frac{alsm}{R^2} \cdot \frac{r}{R} = \frac{arls m}{R^3}.$$

Alle disse Komposanter give en resulterende Kraft

$$K = \frac{2\pi r}{l} \cdot \frac{arls m}{R^3} = \frac{2a\pi r^2 sm}{R^3},$$

idet Strømelementernes Antal er $\frac{2\pi r}{l}$.

2) Magneten paavirker m med en Kraft K_1 i Cm 's Retning, og hvis Størrelse ifølge 10 b (Side 12) er

$$K_1 = \frac{2M \cdot m}{R^3}.$$

Det ses altsaa, at den cirkulære Strøm har samme Virkning paa Magnetpolen som en Magnet, der staar vinkelret paa dens Plan med sit Midtpunkt i dens Centrum og har et Moment

$$M = a\pi^2 rs,$$

hvorved Sætningen er godtgjort.

1 Ampère er nu Styrken af den Strøm, der omkredsende 10 □ Cm. virker udadtil som en Magnet med Enhed af magnetisk Moment (98), og altsaa bliver $a = 1/10$, naar Arealet maales i □ Cm. og Strømstyrken i Ampère.

Den Kraft, hvormed et Strømelement paavirker en Magnetpol (74), er derfor, naar den maales i Dyn,

$$K = 1/10 \frac{sm}{r^2} \sin v \text{ Dyn.}$$

86. Man kan nu let danne en astatisk Strømpolygon ved f. Ex. at forme Lederen som vist i Figuren; denne vil være bedre til Forsøg over de nævnte Tiltrækninger og Frastødninger imellem elektriske Strømme end den før nævnte Strømleder.

To Dele af samme retliniede Strøm frastøde hinanden, hvilket let indsés, naar de betragtes som to Strømme, der danne en Vinkel med hinanden paa 180°.

En saadan Frastødning kan ogsaa iagttages, naar man forbinder to Traade, der hvile paa Kvægsølv i to Glasrender, med en Traadbue og leder en Strøm ind i det ene Kvægsølv, ud af det andet; de forbundne Metaltraade ville da bevæge sig bort fra det Sted, hvor Strømmen ledes ind og ud.

Leder man en Strøm igjennem en fin, skrueformig viklet Traad, der er ophængt ved sin øverste Ende, og hvis nederste Ende dypes lidt ned i Kvægsølv, opstaar der en »hoppende Strøm«, idet de enkelte Vindingers indbyrdes Tiltrækninger ville hæve Traaden

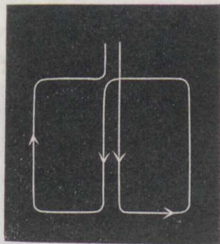


Fig 93.

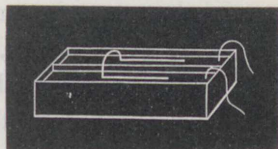


Fig 94.



Fig. 95.

op af Kvægsølv, hvorved Strømmen afbrydes, saa at den igjen retter sig ud og derved berører Kvægsølv, etc.

87. Da Vindingerne i en Strømspiral kunne betragtes som ligesaa mange parallelle Strømpolygoner, kan den i 84 nævnte Indstilling bedre vises ved Hjælp af en saadan Strømspiral eller Solenoide, der anbringes drejelig om en lodret Axe

paa det før nævnte Stativ, idet Spiralens Midtlinie er vandret. Leds Strømmen igjennem Solenoiden, vil denne stille sig med Midtlinien i den magnetiske Meridianplan, Vindingerne altsaa vinkelrette derpaa, og det med en kjendelig Direktionskraft.

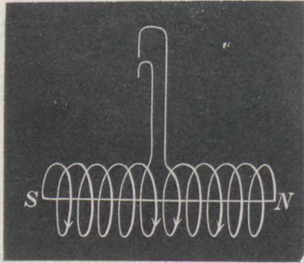


Fig. 96.

Solenoiden har tillige andre magnetiske Virkninger, idet dens to Ender paavirkes af en Magnets

Poler saavel som af Enderne af en anden Strømspiral paa lignende Maade, som Magnetpoler indbyrdes paavirke hinanden.

Leds en Strøm hen over eller under en Solenoide, der kan dreje sig paa den nævnte Maade, vil den efter Ampère's Lov søge at stille Strømmene i de enkelte Vindinger parallelt med sig; dette stemmer med Ørsted's Forsøg.

En Solenoide, der kan dreje sig om en vandret Axe, som er vinkelret paa den magnetiske Meridianplan og gaar igjennem dens Tyngdepunkt, vil stille sig med Midtlinien parallel med en Inklinationsnaal; en Strømpolygon, der er bevægelig paa samme Maade, stiller sig med sin Plan vinkelret paa Inklinationsnaalens Retning.

Man kan som Følge heraf altid betragte en Strømspiral

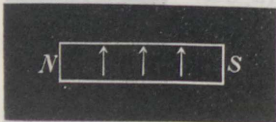


Fig. 97.

som en Magnet og omvendt Magnetismen i en Magnet som en Række elektriske Strømme, der omkredse den i Retninger, der ere bestemte paa vanlig Maade (med højre Haand).

Betragtningen af Jordens Magnetisme som elektriske Strømme, der omkredse Jorden fra Øst til Vest, er nu iøjnefaldende.

Man har endvidere fundet, at en stor Del af de i Greenwich iagttagne Forstyrrelser i Jordens Magnetisme optraadte samtidig med Jordstrømme, som man iagttog ved Hjælp af Metalplader, der vare nedsænkede i Jorden i Nærheden. Man saa ogsaa, at en saadan Forstyrrelse indvirkede paa en Magnetnaal ganske paa samme Maade, som den samtidig iagttagne Strøm vilde gjøre det, naar den blev ledet igjennem en Traad under Magnetnaalen.

Solens Varmevirkninger betinge de elektriske Strømme i Jorden, og Forandringer i Jordmagnetismen ere da let at forstaa; ogsaa Maanen har aabenbart en vis Indflydelse paa Jordmagnetismen, idet den formentlig frembringer Virkninger i Jordens Indre, ligesom den kan fremkalde Tidevande.

89. Gaaende ud fra de i det Foregaaende beskrevne Virkninger har Ampère opstillet den Theori, at Magnetisme er et Resultat af elektriske Strømme, idet han antager, at de enkelte Smaadele i et Legeme, der overhovedet kan gjøres magnetisk, omkredsnes af elektriske Strømme, der, saa længe Legemet er umagnetisk, gaa i alle mulige Retninger, men naar Legemet magnetiseres, drejes de alle, saa at de blive parallelle og have samme Omløbsretning. Det ses da let, at i Magnetens Indre ville i samme Tvær-snit to Strømme i modsatte Retninger overalt støde op til hinanden, saa at Forholdet bliver det samme, som om Legemets Tvær-snit var omkredset af en elektrisk Strøm.

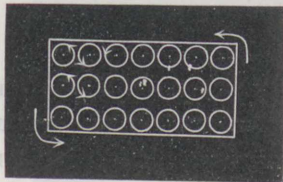


Fig. 98.

90. **Rotationsapparater.** Paa de elektrodynamiske Love grunde sig nogle Rotationsapparater. Figuren viser et saadant. En lodret Magnet er anbragt saaledes, at den er let drejelig om sin Axe (den øverste Ende har en Spids, der gaar op igjennem et Hul i en Opstander, den nederste Ende har en Platinspids, der hviler i en Kvægsølvskaal *B*). Omkring Midten af Magneten er der en cirkulær Rende *E* med Kvægsølv, og paa Magneten er befæstet en lille Platintraad *g*, som gaar ned i Kvægsølvet. Fra dette gaar der endvidere en Lednings-traad nedefter langs Opstanderen, altsaa parallel med Mag-

neten, endende i Klemmeskruen *P*. Klemmeskruen *H* er i ledende Forbindelse med Kvægsølv i *B*. — Sender man nu

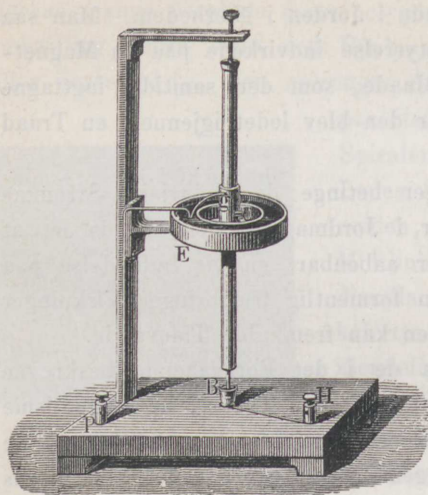


Fig. 99.

en Strøm ind ved *H*, ud ved *P*, vil den faste Ledning langs Opstanderen ved sin Virkning paa Magnetens nedre Halvdel bringe Magneten til at rotere; er den nederste Ende en Nordpol, gaar Bevægelsen imod Viseren paa et Uhr, naar Bevægelsen sés fraoven. Dette forklares let saaledes: tænkes Magneten bestaaende af en Mængde tynde Magnetstænger,

paavirkes alle Nordpolerne forneden med Kræfter, der gaa ud efter, men de ved Strømledningen nærmest liggende paavirkes stærkest, og derved kommer Drejningen i Stand. Var Sydpolen nederst, gik Bevægelsen den modsatte Vej.

Dersom i det nys nævnte Apparat Ledningen fra *g* til *P* var let bevægelig om Magnetens Axe, saa vilde den,

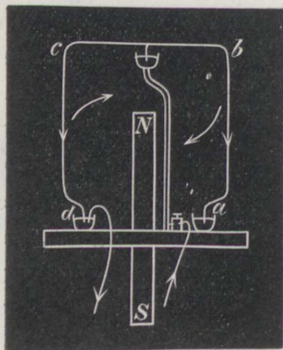


Fig. 100.

naar Magneten blev holdt fast, dreje sig rundt i den modsatte Retning. Dette er udført i hestaaende Apparat. En Metalopstander bærer foroven en lille Skaal med Kvægsølv, i hvilken Metalledningen *abcd* hviler ved en Platinspids; de lodrette Traade *ab* og *cd* have deres nederste Ender platinerede og stikkende ned i en cirkulær Rende med Kvægsølv. Igjennem Centrum for denne Rende

gaar en lodret Magnet med Halvdelen af sin Længde over Renden, f. Ex. den nordmagnetiske Del, og leder man nu en Strøm op igjennem Metalopstanderen og ud af Kvægsølv et i Renden, vil den bevægelige Ledning sætte sig i Bevægelse i den ved Pilen angivne Retning paa Grund af Magnetens Virkning paa de lodrette Traade *ab* og *cd*.

Borttages Magneten i det sidste Apparat og erstattes af en Strømledning udenom den cirkulære Rende, saa vil, naar begge Strømme ere sluttede, den bevægelige Strømleder *abcd* dreje sig rundt ligesom før; Bevægelsen skyldes den udvendige Lednings Virkning paa de derpaa vinkelrette Strømme i *ab* og *cd*.

91. **Webers Elektrodynamometer** bestaar af en Multiplikator, hvor Magnetnaalen er erstattet af en Solenoide, der er ophængt bifilar inde i Multiplikatorvindingerne og, naar Instrumentet skal bruges, drejes hen med sin Axe i den magnetiske Meridian og altsaa parallel med Multiplikatorvindingerne. Sendes den samme Strøm igjennem disse Vindinger og igjennem Solenoiden, gjør denne et Udslag, hvis Tangens er proportional med Kvadratet paa Strømstyrken. Da en Forandring af Strømmens Retning ingen Indflydelse faar paa Solenoidens Udslag (thi Strømforandringen finder Sted i begge Ruller), kan Elektrodynamometret anvendes til Maaling af Vexelstrømme.

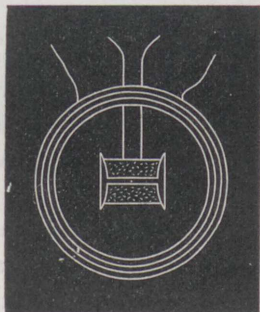


Fig. 101.

XI. Elektromagneter. Diamagnetisme.

92. Naar man omvikler en Jærnstang med en med Silke overspunden Kobbertraad i en Spiral og sender en Strøm igjennem Traaden, vil hver enkelt Vindings Strøm virke paa de i Jærnets Indre værende Molekularstrømme, idet de søge at stille dem med parallelle Strømplaner og Strømmene gaaende i samme Retning som Strømmen udenom Jærnet; dette vil med

andre Ord blive magnetisk, og Polernes Beliggenhed kan let findes ved at tænke sig den højre Haand flyde i Strømmen.

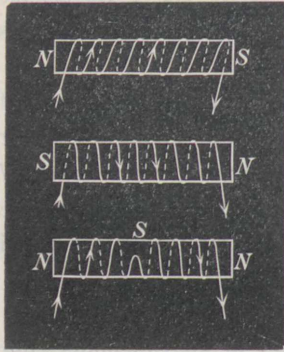


Fig. 102.

Er Jærnstangen tynd, kan man lægge den i et Glasrør og vikke Strømledningen udenom dette; Traaden behøver da ikke at være overspunden, men Vindingerne maa saa ikke røre ved hverandre. — Dersom man, naar man omvikler en Jærnstang med en Traad, vender denne etsteds, saa at den øvrige Del bliver viklet op den modsatte Vej, faar Jærnet 3 Magnetpoler, 2 ensartede i Enderne og 1 dermed uensartet paa det Sted, hvor Strømmen vendes.

Magneter, som paa den nævnte Maade ere blevne magnetiserede af en elektrisk Strøm, kaldes Elektromagneter; er det Jærn, mister det Magnetismen, naar Strømmen afbrydes (Fastholdelsen af et Anker vil dog bevare Magnetismen, indtil Ankeret rives af), og paa dette Forhold grunder sig den store praktiske Anvendelse af Elektromagneter; er det Staal, magnetiseres det vanskeligere af en elektrisk Strøm, men naar denne afbrydes, forbliver der altid nogen (remanent) Magnetisme i Staalet.

Elektromagneter have hyppig Hesteskoformen, og da det

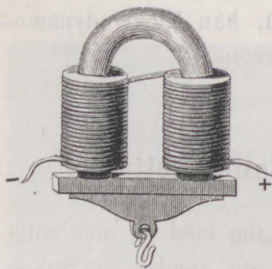


Fig. 103.

ingen Nytte er til at omvikle den midterste Del med Strømledningen, gaar denne fra den ene Gren tværs over til den anden; vil man have forskellige Poler i de to Ender af Magneten (og dette er jo altid Tilfældet) maa Traaden, der gaar fra Gren til Gren, gaa foran paa den ene, bag om paa den anden Gren; ellers faar man det samme, som da Traaden blev vendt om etsteds paa Stangen.

Ved uforandret Traad om Elektromagneten, vil dennes Styrke indtil en vis Grændse voxe med Strømstyrken, i Be-

gyndelsen (for svagere Strømme) omtrent proportionalt, senere i mindre Forhold.

93. **Det elektriske Ringeapparat.** Dette bestaar af en Elektromagnet med et Jærnanker, der er befæstet til en Metalfjer, som holder Ankeret i en lille Afstand fra Magnetens Polender, naar Strømmen ikke er sluttet, og Jærnet altsaa er umagnetisk; men sluttet Strømmen, tiltrækkes Ankeret, og man sørger da for, at Strømmen afbrydes ved denne Bevægelse af Fjeren (Kontakten *k*), hvorved Magnetismen forsvinder, saa at Fjeren med Ankeret gaar tilbage, og Strømmen atter sluttet, hvorved Ankeret tiltrækkes, o. s. v. Ankeret vil altsaa bevæges frem og tilbage, og forsynes Fjeren med en Hammer, vil denne ved stadige, hurtige Slag paa en Klokke kunne frembringe Ringningen. Etsteds i Ledningen er der en Kontakt *K* (to Metalfjere, som kunne trykkes imod hinanden); kun naar Ledningen her er sluttet, tilvejebringes Ringningen, ellers ikke.

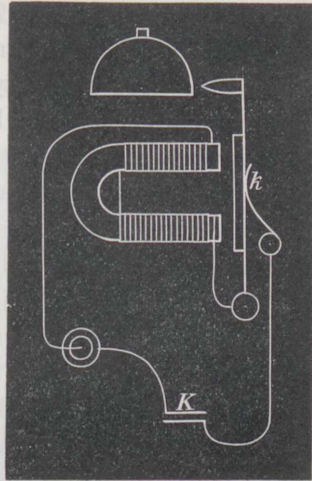


Fig. 104.

94. **Elektriske Uhre.** Man har anvendt Elektromagneter til at holde en Række af Uhre i samme Gang som et Normaluhr; ved Bevægelsen i dette vil man let være i Stand til for et Øjeblik at slutte en Strøm med regelmæssige Mellemrum; en (eller flere) i Ledningen indskudt Elektromagnet vil altsaa taktfast kunne tiltrække et Anker, og ved dettes frem- og tilbagegaaende Bevægelse kan der let etableres en regelmæssig, stødvis Bevægelse af et Tandhjul, og det elektriske Uhr er derved i Principet tilstede. Der har dog altid vist sig saadanne Ulemper ved disse Uhre, at de ikke have faaet nogen stor praktisk Anvendelse.

Et andet Princip er dette, med visse Mellemrum, f. Ex. hver Time, at lade Normaluhret slutte en Strøm, der gaar hen til en Række ganske almindelige Uhre, hver med et sæd-

vanligt Uhrværk, og ved Hjælp af en Elektromagnet i hvert Uhr bringe Viserne i den rette Stilling, hvis der skulde være en Mangel i saa Henseende; skulde Strømmen udeblive en Gang, forbigaaes en Rettelse, men Fejlen kan ikke blive stor og ophæves ganske, naar Strømmen næste Gang kommer.

95. **Den elektriske Telegraph** er et Apparat, i hvilket den elektriske Strøm er anvendt til at sende Signaler imellem Steder, der ligge i en betydelig Afstand fra hinanden, og det med en forsvindende lille Hastighed.

Kort efter Ørsteds Opdagelse af den Bevægelse, som en elektrisk Strøm kan fremkalde hos en Magnetnaal, begyndte man paa at ville anvende den i det her nævnte Øjemed, men uden at faa en tilstrækkelig simpel Mekanisme.

En elektrisk Telegraph, der kan bruges uden særlig Øvelse, og derfor har faaet Anvendelse i Jærnbantjenesten m. m., er Wheatstone's Skrivetelegraph. Principet for denne er følgende: Paa Afsender- og Modtagerstedet er der en Skive, i hvis Omkreds Alfabets Bogstaver ere anbragte; paa hver Skive peger en Viser, som paa det ene Sted kan bevæges med Haanden, og som paa det andet Sted kan bevæges af et Uhrværk. Hver Gang man forskyder Viseren paa den første Skive fra et Bogstav til det næste, sluttet en elektrisk Strøm, som gaar hen til det andet Apparat, hvor den omkredser en Elektromagnet, der ved sin Tiltrækning paa et Anker sætter Uhrværket for et Øjeblik i Bevægelse, saa at Viseren dér foretager den samme Flytning som den første. Strømmen var kun sluttet et Øjeblik, og den skal sluttet og afbrydes lige saa mange Gange som Antallet af Bogstaver angiver, hen over hvilke den første Viser bevæges; man maa altid dreje rundt i samme Retning, hvilket forsinker Telegrapheringen.

Den almindelige Telegraphering skér imidlertid efter et Princip, der allerede i 1837 foresloges af Amerikaneren Morse, men som først blev udført i 1843. Vi ville tænke os to Telegraphstationer, forbundne ved en Telegraphledning og indrettede saaledes, at man kan telegraphere i begge Retninger.

Paa hver Station er der en Nøgle, med hvilken Telegrammet afsendes, og et Skriveapparat, med hvilket Telegrammet modtages, begge fastgjorte paa Telegraphbordet.

Nøglen (N) består af en vandret Metalvægtstang, der hviler i en lille Metalopstander; de to Ender af Vægtstangen kunne skiftevis bringes i Berøring med to paa Bordet anbragte Metalknapper (b og c); ved en lille Metalfjer (a) holdes Vægtstangen saaledes, at der er Kontakt ved den ene Knap (c), men ved et Tryk paa en isolerende Knap i Vægtstangens anden Ende kan der tilvejebringes Kontakt ved b , medens den ved c ophører. Skriveapparatet består af en Elektromagnet, over

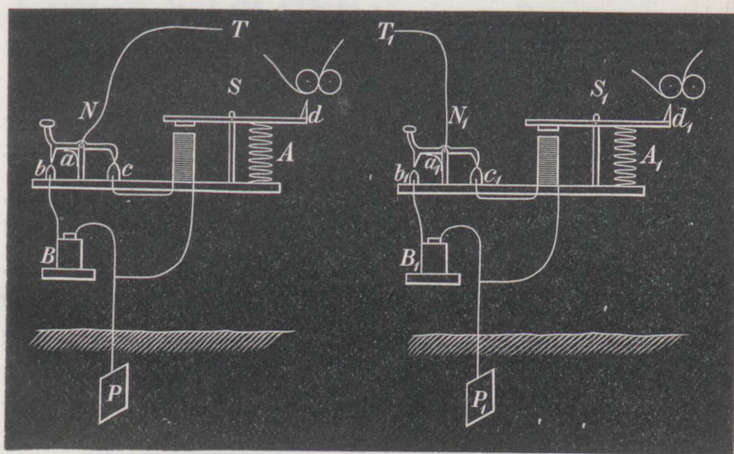


Fig. 105.

hvis Poler der sidder et Jærnanker i den ene Ende af en vandret Vægtstang, som ved Hjælp af en Spiralfjer (A) holdes i en vis Stilling med Ankeret lidt fra Polerne, naar Elektromagneten er umagnetisk.

Paa hver Station findes et galvanisk Batteri (B) og en Kobberplade (P), som er gravet ned i Jorden til et vandførende Lag. Batteriets positive Pol er ved en Ledningstraad forbunden med Knappen b , den negative Pol med den nævnte Kobberplade, »Jordpladen«; fra c fører en Traad til den ene Ende af Elektromagnetens Traad, medens dennes anden Ende er forbunden med Jordpladen.

De to Stationer ere forbundne med hinanden ved Telegraph-traad, som, naar det er en Luftledning, er en galvaniseret Jærntraad (Jærntraad, overtrukken med Zink for derved at

beskyttes imod Atmosfærens Indflydelse), befæstet i isolerende Porcellænsklokker paa Telegraphpæle.

Vil man nu telegraphere fra den ene Station til den anden, trykker man paa Nøglens Vægtstang, saa at denne berører Knappen b , og en elektrisk Strøm fra Batteriet B er da sluttet, idet den negative Pol er afledet til Jorden, og den positive Pol ligeledes, thi der gaar en Ledning fra B til b , videre igjennem Nøglens Vægtstang og Telegraphtraaden hen til den anden Station og dér igjennem Vægtstangen til c_1 , omkring Elektromagnetens Grene og ned til Jordpladen P_1 . Saa længe man altsaa har Kontakt ved b paa den første Station, vil Elektromagneten i Skriveapparatet paa den anden Station tiltrække sit Anker, og den modsatte Arm af denne Vægtstang vil gaa et lille Stykke tilvejs. Paa denne Arm sidder der nu enten en Spids eller et lille Hjul med en skarp Kant, hvilken, naar der ingen Bevægelse har fundet Sted, hviler imod en Pude med blaa Sværte; naar Bevægelsen er indtraadt, trykker Spidsen eller Kanten imod en Papirstrimmel, som af et Uhrværk bevæges jævnt fremad imellem to Valser, og paa denne Strimmel skrives der da enten en Prik eller en Streg, eftersom man holder Strømmen sluttet i kortere eller længere Tid. Alfabets Bogstaver, Tallene etc. ere da betegnede ved Prikker og Streger.

Dersom Telegraphledningen er lang, bliver Strømmen for svag til at skrive sikkert, og man benytter da et Relais, idet der ved Ankerets og den dertil hørende Vægtstangs Bevægelse sluttes en Strøm fra et paa den modtagende Station værende Batteri, Lokalbatteriet, og dettes Strøm benyttes saa i Skriveapparatet.

Ved Hjælp af Lauritzens Slangetelegraph eller Undulator er man i Stand til at afsende et Telegram langt hurtigere end ved Morse's Apparat, hvad der jo har stor Betydning paa Telegraphledninger, der benyttes stærkt; den anvendes af det store nordiske Telegraphselskab. Ved Hjælp af Mangefoldstelegrapher kan man sende flere Telegrammer samtidig igjennem samme Ledning; hertil hører Poul la Cour's System, hvori en Stemmegaffel ved sine Svingninger udsender Tone- eller Bølgestrømme, til hvis Udsendelse

og Modtagelse hans Tonehjul benyttes. Disse Systemer forbigaaes imidlertid her.

Til Telegraphledninger under Vand — submarine Kabler — benyttes Kobbertraad, som isoleres med et Lag af Guttapercha; udenom denne er der et Lag af tjæret Hamp, om hvilket der atter er viklet Jærntraad; Ledningen dannes dog ikke af én, men af flere, ofte syv, Traade, i hvilke Strømmen fordeles, og skulde derfor en Traad gaa itu, hindrer dette ikke Telegrapheringen. Der er for Tiden 9 Kabler imellem Amerika og Europa (de fleste fra Irland).

96. **Diamagnetisme og Paramagnetisme.** Det er vist, hvorledes Jærn og Staal kunne blive magnetiske, men en nærmere Undersøgelse vil vise, at alle Legemer i alle Tilstandsformer ere paavirkelige af Magnetismen; for Nikkels, Kobolts og Chroms Vedkommende har dette længe været bekjendt. Vil man undersøge Legemernes Forhold overfor Magnetismen, anbringes de imellem de tilspidsede to Poler af en meget stærk Elektromagnet; det maa være smaa Mængder af de faste og draabeflydende Legemer og en fin Ophængning. Det vil da vise sig, at de faste Legemer, der altid tildannes som meget smaa Stænger, enten stille sig med Længderetningen i Polernes Forbindelseslinie (axialt), og da ere de magnetiske eller paramagnetiske, eller ogsaa stille de sig med Længderetningen tværs paa Polernes Forbindelses-

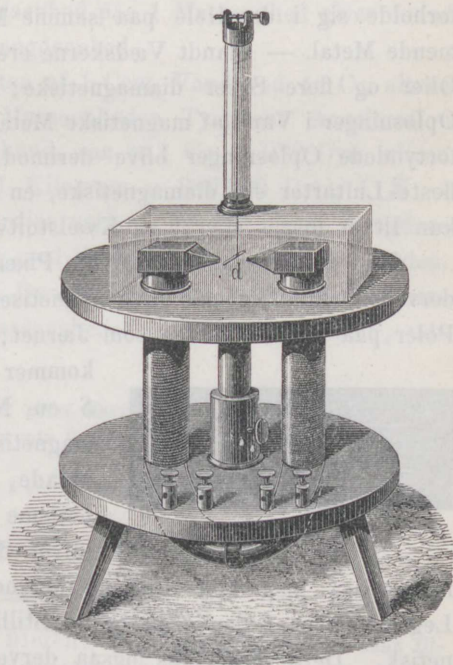


Fig. 106.

linie (æquatorialt), og da ere de diamagnetiske. Vædsker inde-sluttes enten i et lille Glasrør, der hænges op imellem Polerne, eller anbringes i et fladt Glas, der stilles paa Magnetpolerne; i dette Glas vil Vædsken da enten ophobe sig lidt ved Polerne (paramagnetiske) eller i Midten (diamagnetiske). Luftarter blandes, naar deres Forhold skal undersøges, med Ammoniakluft, der er temmelig neutral i magnetisk Henseende, og denne Luftblanding strømmer op imellem Polerne imod et System af Glasrør, der ere befugtede med Saltsyre; hvor Luftblandingen kommer til Saltsyren, dannes hvide Salmiakdampe, og derved bliver det let at se, om Luften er para- eller diamagnetisk.

Paramagnetiske ere af faste Legemer Jærn, Staal, Nikkel, Kobolt, Chrom, Mangan, Platin, Papir, Glas; diamagnetiske ere de fleste Metaller, især Wismuth, Antimon, Zink, endvidere Phosphor, Svovl og Kul. Ilt og Salte af Metaller forholde sig i det Hele paa samme Maade som det vedkommende Metal. — Blandt Vædskerne ere Vand, Alkohol, Æther, Olier og flere Syrer diamagnetiske; derfor ere kun stærke Opløsninger i Vand af magnetiske Metalsalte magnetiske, meget fortyndede Opløsninger blive derimod diamagnetiske. — De fleste Luftarter ere diamagnetiske, en Stearinflamme ligeledes; kun Ilt er meget stærkt og Kvælstoftveilt svagt magnetisk.

De i det Foregaaende nævnte Phænomenere lade sig forklare derved, at alle Legemer blive magnetiserede af Elektromagnetens Poler paa samme Maade som Jærnet, saa at der nærmest *N*

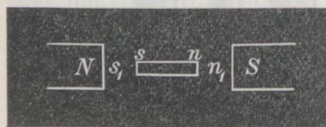


Fig. 107.

kommer en Sydpol *s* og nærmest *S* en Nordpol *n*; men Luften magnetiseres ogsaa paa denne Maade, og er nu Luftens Magnetisme svagere end Legemets, bliver dette i sit Forhold para-

magnetisk, men faar Luftens Magnetisme Overhaand, gaar Legemet over i den æquatoriale Stilling og viser sig diamagnetisk. Dette bestyrkes ogsaa derved, at et Legeme, der i Luften viser sig diamagnetisk, godt i en anden Luftart eller en Vædske kan vise sig at være magnetisk og omvendt. Da mange diamagnetiske Legemer ogsaa ere diamagnetiske i det lufttomme Rum, maa det antages, at ogsaa Ætheren er paa-virket af Magnetismen.

XII. Absolute Enheder.

97. Grundenhederne for Længde, Tid og Masse ere følgende:

Længdeenhed er 1 Centimeter, bestemt oprindeligt saaledes, at Kvadranten af Jordmeridianen skulde være 10 Mill. Meter = 10^9 Cm.; 1 Meter er dog lidt mindre. I Paris opbevares Normalmeteren.
1 Meter = $3,186119$ Fod.

Tidsenhed er 1 Middelsoldags Sekund.

Masseenhed er Massen i 1 Cubikcentimeter Vand ved 4^0 C. (Om to Legemer have samme Masse undersøges ved at se, om de have samme Vægt paa samme Sted af Jorden.)

Kraftenheden er 1 Dyn, hvorved forstaaes den Kraft, som ved at virke i 1 Tidsenhed paa 1 Masseenhed giver denne en Acceleration lig 1 Længdeenhed.

Da 1 Gram er Vægten af 1 Ccm. Vand ved 4^0 C., altsaa den Kraft, som giver Masseenheden Tyngdens Acceleration $9,82 \text{ m} = 982 \text{ Cm.}$ i 1 Sekund, saa er $1 \text{ Gr.} = 982 \text{ Dyn.}$ altsaa $1 \text{ Dyn} = \frac{1}{982} \text{ Gr.}$, og 1 Kilogram = $982\,000 \text{ Dyn.}$ $1 \mathcal{H} = 491\,000 \text{ Dyn.}$ Disse Værdier variere dog lidt, fordi Tyngdens Acceleration forandrer sig med Stedets Beliggenhed paa Jorden.

Kraftens Størrelse i Dyn faaes altsaa ved at multiplicere Antallet af Legemets Masseenheder med Accelerationen, udtrykt i Centimeter.

Har man en Kraft k , der giver Massen m en Hastighed v i Løbet af en Tid t , alle udtrykte i de nævnte Enheder, saa har man

$$k = \frac{mv}{t} \text{ Dyn;}$$

Hastigheden v faaes ved Division af en Vej s med en Tid t , saa at $v = \frac{s}{t}$, og deraf

$$k = \frac{ms}{t^2} = m. s. t^{-2}.$$

Kraften siges at være af Dimensionen $m. s. t^{-2}$, hvorved man tilkjendegiver, at naar man vil gaa over fra et System af Enheder til et andet, maa man, for at faa Kraften udtrykt i det nye System, multiplicere Kraften, udtrykt i det gamle System, med Forholdet imellem den nye og den gamle Masseenhed, med Forholdet imellem den nye og den gamle Længdeenhed, og dividere med Kvadratet paa Forholdet imellem den nye og den gamle Tidsenhed.

Arbejdsenhed er 1 Erg, o: det Arbejde, der udføres, naar et Legeme med jævn Hastighed bevæges 1 Cm. mod en Modstand, der er lig Kraftenheden 1 Dyn; den kaldes ogsaa 1 Dyncentimeter, da den er lig 1 Dyn $\times$ 1 Cm.

1 Ergten er 10^{10} Erg.

Det Maal, hvori Arbejdet ellers hyppig angives, er Kilogrammeter; 1 Kilogrammeter er lig 1 Kilogram $\times$ 1 Meter = $10^3.982$ Dyn $\times$ 100 Cm. = $10^5.982$ Erg.

Varmeenheden er i absolut Maal 1 Ergcalorie, o: den Varme, der er æquivalent med et Arbejde paa 1 Erg; forstaar man ellers ved 1 Calorie den Varme, der skal til for at opvarme 1 Gram Vand 1° , bliver Ergcalorien lig $\frac{1}{424.10^3.982}$ Calorier, fordi der kræves et Arbejde paa 424 Grammeter = $424.10^3.982$ Erg til at frembringe 1 Calorie; ved Udregning finder man, at en Gramcalories mekaniske Æquivalent er cr. 42 Mill. Erg, altsaa en Ergcalorie lig $\frac{1}{42.10^6}$ Gramcalorie.

98. Enheden for Magnetisme er den Magnetisme, der virker paa en lige saa stor Mængde i Enhed af Afstand med en Kraft lig 1 Dyn.

Da Virkningen imellem to Magnetismer er ligefrem proportional med deres Produkt og omvendt proportional med Kvadratet paa deres Afstand, har man til Bestemmelse af Magnetismens (p 's) Dimension

$$\frac{p^2}{s^2} = m s t^{-2},$$

$$p = m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-1}.$$

Enhed for magnetisk Moment er omtalt i 10's Slutning.

Da en Magnets magnetiske Moment er Produktet af hver af Polernes Magnetisme og deres Afstand, bliver dets Dimension $m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{5}{2}} t^{-1}$.

Enhed af Strømstyrke har den Strøm, der, omkredsende 1 $\square$ Cm., virker udadtil som en derpaa vinkelret Magnet med Enhed af magnetisk Moment.

Strømstyrkens Dimension faaes saaledes: det er fundet (85), at en Strøm af Styrke i , der omkredser en Cirkelflade med Radius r , udøver samme Virkning som en Magnet med det magnetiske Moment $a \pi r^2 i$; da dette Moment har Dimensionen $m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{5}{2}} t^{-1}$, og πr^2 har Dimensionen s^2 , faaes i 's Dimension lig $m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{5}{2}} t^{-1} : s^2 = m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-1}$.

I Praxis bruges ikke denne Enhed for Strømstyrken, men 1 Ampère, der er lig $\frac{1}{10}$ af denne Enhed, og altsaa lig

Styrken af en Strøm, der, omkredsende $10 \square \text{ Cm.}$, virker som en Magnet med Enhed af Moment (85).

Enhed for Elektricitetsmængde er den Elektricitet, som i 1 Sekund føres igjennem et Tværsnit af Ledningen af en Strøm med Enhed af Styrke.

Elektricitetsmængdens Dimension faaes altsaa, idet Strømstyrken er bestemt ved Forholdet imellem den Elektricitetsmængde, der passerer Tværsnit af Ledningen, og Tiden, i hvilken dette skér:

$$i = \frac{e}{t},$$

$$e = i \cdot t = m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}} t^{-1}. \quad t = m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}}.$$

I Praxis bruges ikke denne Enhed, men 1 Coulomb (29, 31), der er lig $\frac{1}{10}$ af denne Enhed, saa at altsaa Strømstyrken er 1 Ampère, naar Elektricitetsmængden 1 Coulomb hvert Sekund føres igjennem et Tværsnit af Ledningen (53).

Enhed for elektromotorisk Kraft haves, naar den elektriske Strøms Arbejdsværdi er lig 1 Erg, naar der altsaa kræves et Arbejde lig 1 Erg for at føre Enhed af Elektricitetsmængde uden Ledningsmodstand imod Strømmen helt rundt i Kredsløbet.

Dimensionen faaes, idet den elektromotoriske Kraft er Kvotient af et Arbejde og Elektricitetsmængden:

$$\frac{m \cdot s \cdot t^{-2} \cdot s}{m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}}} = m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2}.$$

I Praxis bruges ikke denne Enhed, men 1 Volt, der er 10^8 Gange saa stor som denne Enhed. Spørges der altsaa om, hvor stort et Arbejde der udføres, naar Elektricitetsmængden 1 Coulomb føres fra et fjært Sted hen til en Leder med Potentiallet 1 Volt, bliver det $10^8 \cdot \frac{1}{10} \text{ Erg} = 10^7 \text{ Erg}$; var Elektricitetsmængden kun en Mikroculomb vilde Arbejdet have været 10 Erg (31).

Den elektriske Strøms Arbejdsværdi maales altsaa ved Produktet af den elektromotoriske Kraft og den Elektricitetsmængde, som hvert Sekund føres igjennem et Tværsnit af Ledningen, altsaa Produktet af elektromotorisk Kraft og Strømstyrke; Arbejdsværdien angives i Voltampère, naar den elektromotoriske Kraft maales i Volt, Strømstyrken i Ampère. Udtrykt i Arbejdsenheden Erg bliver 1 Volt-

ampère = $10^8 \cdot \frac{1}{10}$ Erg = 10^7 Erg = 10 Mill. Erg, som ogsaa nys angivet. Antallet af Calorier (Gramcalorier), som derved frembringes, er (97) $10^7 : 42 \cdot 10^6 = 0,24$, altsaa fuldstændig stemmende med det i 79 angivne.

En Hestekraft er som bekendt 75 Kilogrammeter = $75 \cdot 1000 \cdot 100$ Gramcentimeter = $7\,500\,000 \cdot 982$ Erg = $7\,365\,000\,000$ Erg = 7365 Millioner Erg. Paa 1 Hestekraft gaar der altsaa 7365 Mill. : 10 Mill. Voltampère = 736,5 Voltampère. Frembringes Strømmen af elektriske Maskiner (s. Induction), giver 1 Hestekraft dog kun cr. 500 Voltampère.

Enhed af elektrisk Ledningsmodstand har en Ledning, naar Enhed af elektromotorisk Kraft frembringer en Strøm deri med Enhed af Styrke.

Dens Dimension faaes, idet Strømstyrken er Kvotient af elektromotorisk Kraft og Ledningsmodstand, saa at denne sidste bliver

$$\frac{\text{elektrom. Kraft}}{\text{Strømstyrke}} = \frac{m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2}}{m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}} t^{-1}} = s \cdot t^{-1}.$$

I Praxis bruges 1 Ohm, der er lig 10^9 Gange den absolute Enhed (1 Ohm = 1 Volt : 1 Ampère = $10^8 : 10^{-1} = 10^9$ abs. Enh.). 1 Ohm = 1,06 Siemenske Enheder (76).

Enhed for elektrisk Capacitet har det Legeme, hvis Potential forøges med Enhed ved at lades med Enhed af Elektricitetsmængde.

Dens Dimension faaes, idet Capaciteten er Kvotient af Elektricitetsmængden og Potentialet, altsaa lig

$$\frac{m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2}} = s^{-1} t$$

I Praxis bruges ikke denne Enhed, men 1 Farad, der er 10^9 Gange mindre. Et Legeme har Capaciteten 1 Farad, naar dets Potential hæves 1 Volt ved Tilførelsen af Elektricitetsmængden 1 Coulomb. (1 Farad = 1 Coulomb : 1 Volt = $10^{-1} : 10^8 = 10^{-9}$ abs. Enh.).

Ved at sætte Mega foran en af de i det Foregaaende omtalte Benævnelser betegner man en Værdi, der er 1 Million Gange saa stor, og ved at sætte Mikro foran betegnes en Værdi, der er 1 Million Gange saa lille.

De Enheder, som bruges i Praxis, ere udledte af de absolute Enheder, derved at Længdeenheden er 10^9 Cm. og Masseenheden 1 Hundred-

tusindmilliontedel af 1 Gram istedetfor henholdsvis 1 Cm. og 1 Gram. — Ex. Den elektromotoriske Kraft i absolute Enheder er $m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2}$, og bliver derfor i det nævnte System

$$(10^{-11} m)^{\frac{1}{2}} (10^9 s)^{\frac{3}{2}} t^{-2} = 10^{-\frac{11}{2}} 10^{\frac{27}{2}} m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2} = 10^8 m^{\frac{1}{2}} s^{\frac{3}{2}} t^{-2},$$

hvilket netop er 1 Volt.

XIII. Induktion.

99. Naar en elektrisk Strøm ledes igjennem en Elektrolyt, udfører den et chemisk Arbejde, idet Elektrolyten spaltes; dette Arbejde udføres paa Bekostning af de Kræfter, der virke i Ledningen, hvilke Kræfter altsaa svækkes, og vi have jo ogsaa sét, at der opstaar en Polarisations, en ny elektromotorisk Kraft, som virker imod den i Ledningen tilstedeværende, og som saaledes søger at forhindre Udførelsen af det chemiske Arbejde.

Paa lignende Maade gaar det, naar Strømmen skal udføre et mekanisk Arbejde, f. Ex. bevæge Magneten i det i 90 først beskrevne Rotationsapparat. Holdes Magneten fast, har Strømmen alene Ledningsmodstanden at overvinde, saa at hele Strømmens Arbejde bliver omsat til Varme, men slippes Magneten, gaar en Del af Strømmens Arbejde med til at bevæge Magneten, og kun en mindre Del bliver omsat til Varme; Strømmen svækkes altsaa, hvilket er ensbetydende med, at der er opstaaet en ny elektromotorisk Kraft imod den tidligere. — Er Strømstyrken i det første Tilfælde s Ampère, Ledningens elektromotoriske Kraft E Volt og den samlede Modstand M Ohm, have vi sét, at Strømmens Arbejde i 1 Sekund, omsat til Varme, er $0,24 s E$ Gramcalorier, og da Varmeudviklingen i Ledningen i 1 Sekund er $0,24 s^2 M$ Gramcalorier, har man

$$0,24 s E = 0,24 s^2 M.$$

I det andet Tilfælde være Strømstyrken s_1 , saa at Varmeudviklingen i Ledningen i 1 Sekund er $0,24 s_1^2 M$ Gramcalorier; Strømmens Arbejde er æquivalent med $0,24 s_1 E$ Gramcalorier, men af dette Arbejde medgaar altsaa noget til Magnetens Bevægelse; da Strømmens Virkning paa Magneten er proportional med Strømstyrken, faar man, idet hver Ampère udfører et Arbejde, som omsat til Varme kan sættes lig $0,24 e$,

$$0,24 s_1 E = 0,24 s_1^2 M + 0,24 s_1 e,$$

hvoraf

$$s_1 = \frac{E - e}{M}.$$

Man sér altsaa, at der er opstaaet en ny elektromotorisk Kraft e under Magnetens Bevægelse, og denne Kraft virker imod den tilstedeværende; e er alene afhængig af den Virkning, som en Strøm af Styrken 1 Ampère har paa Magneten, saa at e er den samme, hvad enten den i Ledningen værende Strøm er stærk eller svag; e maa altsaa ogsaa opstaa, naar der ingen Strøm var i Ledningen, og man paa anden Maade (f. Ex. med Haanden) gav Magneten den samme Bevægelse. Den elektromotoriske Kraft e siges da at være induceret i Ledningen ved Magnetens Bevægelse.

100. **Induktionsstrømmenes Fremkomst.** Vi kunne i Almindelighed sige, at naar der i Nærheden af en sluttet Ledning foregaar en Forandring med en elektrisk Strøm eller en Magnet, opstaar der en elektrisk Strøm i Ledningen, som varer, saa længe Forandringen finder Sted; en saadan elektrisk Strøm kaldes en Induktionsstrøm (Faraday, 1831). Denne vil altid være af den Beskaffenhed, at den modarbejder den Forandring, der har fremkaldt den (Lenz's Lov, 1834).

Lad os tænke os to Ledningstraade udspændte parallelt med hinanden i en ringe Afstand, den ene forbunden med

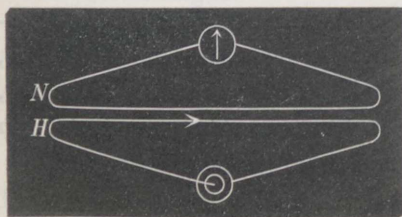


Fig. 108.

Polerne paa et galvanisk Apparat, den anden med en fin Multiplikator; den første kaldes Hovedledningen (H) med Hovedstrømmen, den sidste Naboledningen (N), hvori Induktionsstrømmen opstaar. Nærmes H og N til hinanden (det er ligegyldigt, hvilken af dem der bevæges), vil Multiplikatornaalens Udslag tilkjendegive en Strøm i N , der varer saa længe, Bevægelsen vedvarer, og hvis Retning er modsat Hovedstrømmens Retning, stemmende med hvad der ovenfor er sagt, idet de to Strømme frastøde hinanden, medens Forandringen, der foregaar, er en Tilnærmelse imellem Ledningerne. Fjærnes H og N fra hinanden, vil Naalens Ud-

slag angive en Induktionsstrøm i N i samme Retning som Hovedstrømmen.

Ved de nævnte Bevægelser induceres der altsaa i Naboledningen elektromotoriske Kræfter, som sætte Elektriciteterne dér i Bevægelse. Den inducerede elektromotoriske Kraft er proportional med Hovedstrømmens Styrke og voxer desuden med den Hastighed, hvormed Bevægelsen foregaar, ligesom den bliver desto større, jo nærmere Ledningerne komme hinanden.

Istedetfor at bevæge de to Ledninger imod og fra hinanden kunde man ogsaa slutte og afbryde Hovedstrømmen, hvilket er ensbetydende med en pludselig Nærmelse og en pludselig Fjernelse af Hovedstrømmen, saa at der opstaar stærkere inducerede Strømme.

Endelig vil en Forøgelse og en Formindskelse af Hovedstrømmens Styrke (ved Udskyden eller Indskyden af Modstand) fremkalde Induktionsstrømme, idet de nævnte Forandringer ere ensbetydende med en Nærmelse og en Fjernelse af Hovedledningen.

Til Paaavisning af de nævnte Induktionsstrømme maa man helst betjene sig af Traadruller med mange Vindinger, baade til Hoved- og til Induktionsstrømmen.

101. **Magnetoelektriske Strømme.** Induktionsstrømme, fremkaldte af en Magnet, kaldes magnetoelektriske Strømme.

Bevæges en Magnet ned i en Traadrulle, hvis Ender ere satte i Forbindelse med en Multiplikator, der staar saa langt borte, at Magneten ikke influerer paa Multiplikatornaalen, vil denne gjøre et Udslag og angive en Strøm i Traadrullen i en Retning, der er modsat den, Magnetens Strømme have, saa at Induktionsstrømmen har en Pol

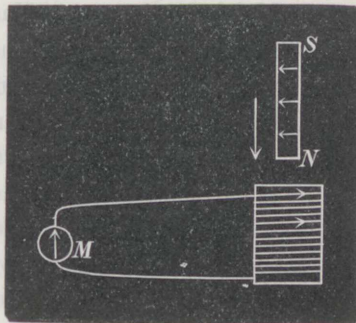


Fig 109.

øverst af samme Art som Magnetens nederste Pol (der finder altsaa en Frastødning Sted imellem dem). Hæves Magneten

ud af Traadrullen, opstaar der en Induktionsstrøm i modsat Retning af den forrige. I hver Vinding har Magneten induceret en elektromotorisk Kraft, der er proportional med Magnetens magnetiske Moment, og for saa vidt skal man have saa mange Vindinger som mulig, naar man vil have stærke Induktionsstrømme, men det maa erindres, at den Ledningsmodstand, disse møde, tillige voxer med Vindingernes Antal; om man derfor skal have mange Vindinger eller kun faa Vindinger (og af tyk Traad), det afhænger af den ydre Modstand (64).

Magneten maa kun bevæges saa langt ned, at dens Midte naaer Traadrullens Midte; bevæges den længere ned, skifter Strømmen Retning.

Naar der frembringes Induktionsstrømme ved Bevægelse af en Magnet og en Traadrulle i Forhold til hinanden, bliver Virkningen langt stærkere, naar der inde i Rullen ligger et Stykke Jærn, thi dette vil da magnetiseres af Magneten, og baade Magnetens Bevægelse og Forandringerne (Forøgelse eller Formindskelse) i Jærnets Magnetisme fremkalder Induktionsstrømme, som adderes. Det samme er naturligvis ogsaa Tilfældet, naar elektriske Strømme fremkalde Induktionsstrømme i Traadruller.

Vi vide, at en drejelig Strømkreds stilles af en Magnet paa den Maade, at dens Plan er vinkelret paa Magnetens Axe, og saaledes, at Strømmen i Kredsen er parallel med Magnetens Molekylarstrømme. Naar man derfor drejer en Strømkreds hurtig foran en Magnet fra en Stilling, hvor dens Plan er parallel med Magnetens Axe, til en Stilling, hvor den staar vinkelret derpaa, opstaar der i Kredsen en Strøm, hvis Retning er modsat Molekylarstrømmenes Retning; drejer man Kredsen den modsatte Vej, faar man en Induktionsstrøm, der er ensrettet med Molekylarstrømmene.

En Induktion som den nævnte maa Jordmagnetismen kunne frembringe. Er en Cirkelledning opstillet i den magnetiske Meridianplan, og den derfra pludselig drejes 90° om den lodrette Diameter, vil der opstaa en Strøm, der modsætter sig denne Bevægelse, idet altsaa den Side, der bringes til at vende imod Nord, vil faa en Sydside, og omvendt; drejes Cirkelledningen

pludselig tilbage igjen, gaar Strømmen i den modsatte Retning. Disse Strømme, der skyldes Jordmagnetismens horizontale Komposant, kunne paavises, naar Ledningens Ender ere forbundne med en Multiplikator. — Drejes en Cirkelledning fra den magnetiske Meridianplan 90° om den vandrette Diameter (eller den modsatte Vej), vil Jordmagnetismens vertikale Komposant fremkalde Induktionsstrømme. De fremkaldte Induktionsstrømme ere proportionale med de Jordmagnetismens Komposanter, de skyldes; Weber har paa den Maade maalt Inklinationen med sin Jordinduktor (1838). Jordmagnetismens hele Intensitet vil virke inducerende, naar man drejer en Cirkelledning, der staar vinkelret paa Inklinationsnaalens Retning, om en Diameter.

102. **Extrastømme** (Faraday, 1835). De enkelte Dele af samme Ledning kunne virke inducerende paa hverandre. Har man saaledes en Spiralledning og slutter en Strøm i denne, vil den i hver enkelt Vinding opstaaende Strøm inducere i Nabovindingerne Induktionsstrømme i modsat Retning, saa at Strømstyrken kun gradvis, om end i kort Tid, voxer til sin rette Værdi; og afbrydes Strømmen, vil den i hver enkelt Vinding forsvindende Strøm ved sin Forsvinden inducere i Nabovindingerne Induktionsstrømme i samme Retning som den, Strømmen har, saa at denne vil blive forstærket, før den forsvinder, og paa Afbrydelsesstedet vil der vise sig en stærk Gnist. Hosstaaende Figur *H* giver et Billede af, hvorledes de nævnte Forhold stille sig, idet Ordinaten betegner Strømstyrken; ved *s* sluttes Strømmen, ved *f* har den naaet sin fulde Styrke, ved *a* afbrydes Strømmen.

Dersom man altsaa frembringer Induktionsstrømme i en Traadrulle ved skiftevis at afbryde og slutte en elektrisk Strøm i en anden Rulle (Hovedrullen), giver *H* et Billede af Hovedstrømmen, og da vil den

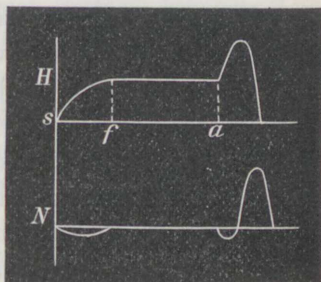


Fig. 110.

ved N betegnede Figur give et Billede af Induktionsstrømmen; denne er stærkest, naar Hovedstrømmen afbrydes, idet den da frembringes ved en stærk Strøms pludselige Forsvinden.

103. **Induktionsstrømme af højere Orden.** Induktionsstrømme kunne virke inducerende ligesom almindelige elektriske Strømme. Henry anvendte til Paavisning heraf Spiraler af baandformig Kobberblik, stillede paa den i Figuren viste Maade. Hovedstrømmen sendes igjennem a , den inducerer

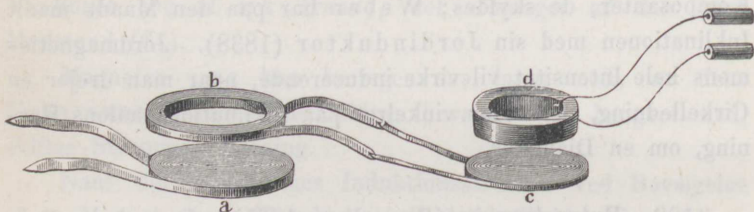


Fig. 111.

Strømme i Spiralen b og den dermed forbundne Spiral c , hvilken sidste virker inducerende paa Spiralen d , hvis to Ender ere forbundne med to Haandtag. Sluttes en Strøm i a , kommer der en kort Strøm i b og c , og ved dens Fremkomst og strax derpaa følgende Forsvinden induceres der to modsatte Strømme i d , naar denne er sluttet; holder man derfor Hænderne om Haandtagene, mærker man et Stød; paa lignende Maade, naar Strømmen i a afbrydes.

Henry kalder Strømmen i a en Strøm af første Orden, den i b og c en Strøm af anden Orden o. s. v. Ved at tage flere Spiraler kan man faa Strømme af stedse højere Orden, men de blive svagere og svagere. Strømmen af tredje Orden (i d) er dobbelt, den af fjerde Orden maa bestaa af 4 frem- og tilbagegaaende Strømme o. s. fr.

Paa Grund af det her sagte ere Forholdene ved Induktionen i Reglen meget komplicerede, idet Induktionsstrømmene virke inducerende paa Hovedstrømmen o. s. fr.

Det er indlysende, at Udladningen fra et Leydner-Batteri vil kunne fremkalde lignende Induktionsstrømme som dem, der opstod før i d , nemlig ligestore, modsat rettede Strømme, der følge saa hurtig efter hinanden, at de ikke kunne paavises ved Hjælp af et Galvanometer, men maa paa-

vises f. Ex. ved Haandtag paa den før nævnte Maade. Er Udladningen stærk, vil der ogsaa kunne opstaa en Gnist imellem den inducerede Spirals Ender, naar disse anbringes lidt fra hinanden.

104. **Induktion i Legemer.** Ikke alene i Metaltraade, men i alle ledende Legemer vil der opstaa Induktionsstrømme, naar Magneter eller elektriske Strømme i deres Nærhed forandres paa lignende Maade som før omtalt; da disse Strømme kunne forplante sig i mange Retninger, opstaar der almindelig et helt System af Strømme. Sættes saaledes en Deklinationsnaal i Svingninger over eller under en Kobberplade, vil den ved sine Bevægelser inducere Strømme i Pladen, som ville modarbejde Naalens Bevægelser og derfor bringe den hurtigere til Ro, end om Kobberpladen ikke havde været. Dette anvendes til Dæmpning af en Magnetnaals Svingninger, idet Naalen da omgives med en tyk Ring af Kobber (dette leder bedst, næst efter Sølv, og dæmper derfor bedst).

Dersom man omvendt drejer en vandret Kobberskive hurtig rundt over en Magnetnaal, idet Kobberskivens Axe ligger lige over Naalens Midtpunkt, vil Naalen komme i Bevægelse og gjøre Udslag i den Retning, hvori Omdrejningen skér. Udslaget bliver desto større, jo hurtigere Kobberskiven drejes, ja Naalen kan endog bringes til at rotere.

Foucault har undersøgt disse Forhold videre. Imellem Polerne af en stærk Elektromagnet bragte han en Kobberskive i hurtig Rotation, medens Magnetismen endnu ikke var fremkaldt; men i det Øjeblik Magnetismen opstaar, hæmmes Rotationen strax, og naar man da igjen vil bringe Skiven til at rotere, mærkes der en betydelig Modstand, og ved en ikke altfor lille Rotationshastighed tillige en kjendelig Opvarmning.

Matteucci har gjort et lignende Forsøg med en Tærning, der var dannet af kvadratiske Kobberplader, adskilte ved Papir. Blev denne Tærning nu ophængt ved en Traad imellem Elektromagnetens Poler og med Kobberpladerne lodrette, skéte det samme som i Faraday's Forsøg, men blev den ophængt saaledes, at Pladerne vare vandrette, kom der ingen Virkning, fordi de inducerede Strømme skulle gaa i lodrette Planer, men herimod ere Papirskiverne en Hindring.

Metalmasser og sluttede Strømkredse, der ere i Nærheden af en Induktionsspiral, virke paa Grund af de deri opstaaede Strømme hæmmende paa Spiralens Strømme, hvilket tydelig kan iagttages f. Ex. ved de physiologiske Virkninger. Det vil derfor ogsaa forstaaes, at naar vi i de i det Følgende omtalte Maskiner have Jærn inde i en Induktionsspiral, saa er det ikke en massiv Jærnkjerne, men et Bundt af ferniserede Jærntraade eller Jærnstænger; disse ville nemlig langtfra hæmme Strømmen saa stærkt.

105. **Induktionsapparater.** Et Induktionsapparat (Induktor) bestaar af et Bundt af Jærntraade, som er omgivet med en Spiral til Hovedstrømmen (forholdsvis faa Vindinger af tyk Traad), og denne atter med en Spiral af mange Vindinger af tynd Traad. Hovedstrømmen slutter og afbryder sig selv paa en lignende Maade som i det elektriske Ringeapparat (ved en »Hammer«).

I de mindre Induktionsapparater gjøre de omtalte Jærntraade tillige Tjeneste som den til Hammeren hørende Elektromagnet. Figuren viser et saadant Apparat, hvis Virkemaade nu let kan indsés. *M* er Bundtet af Jærntraade, omgivet af Hovedspiralen, hvis to Endere ere forbundne med henholdsvis Klemmeskruen *k* og Opstanderen *o*; til *o* er Fjeren *f*, som bærer Ankeret til *M*, befæstet, og naar Ankeret ikke er tiltrukket, trykker Fjeren imod en lille Platinspid, som sidder paa

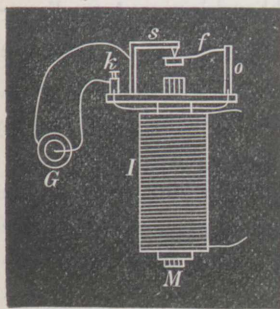


Fig. 112.

Støtten *s*; Hovedstrømmen ledes ind og ud igjennem *k* og *s*.

Ved store Induktionsapparater (Ruhmkorff, 1851) har man et særligt, stort Batteri (*B*) til Hovedstrømmen og et mindre Hjelpebatteri (*H*) til Hammerens Bevægelse; man benytter da tillige Kvægsølvkontakter (Foucault). Figuren viser Indretningen. *V* er en Vægtstang, befæstet til en Metal-fjer *F*, som svinger frem og tilbage, naar Maskinen er i Gang; ved Hjælp af Tandhjul og Tandstang kan *V* hæves og sænkes, saa at dens Stilling bliver tilpas, og dens Svingninger kunne

reguleres ved Hjælp af en forskydelig Vægt *v*. Til *V*'s ene Ende er der befæstet et til Elektromagneten *M* hørende Jærnanke *A*, og fra dens anden Arm gaar der to Platinspidser ned i Skaale med Kvægsølv, saaledes at naar det nævnte Anker er tiltrukket af Elektromagneten, hæve Spidserne sig op af Kvægsølv; derved haves altsaa to Kvægsølvkontakter, *C* og *D*. Hjælpe-

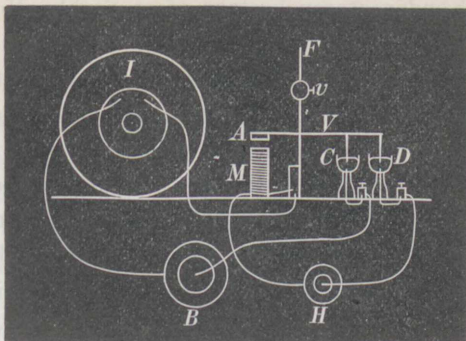


Fig. 113

strømmen fra *H* ledes om Elektromagneten *M*, derfra over i Vægtstangen og igjennem *D* tilbage til *H*. Hovedstrømmen fra Batteriet *B* ledes ind i Hovedspiralen, derefter over i *V* og igjennem *C* tilbage til Batteriet *B*. Man vil altsaa se, at Strømmen fra *H* vil ved Hjælp af Elektromagneten *M* skiftevis afbryde og slutte sig selv, men tillige afbryde og slutte Hovedstrømmen fra *B*. — Til Venstre i Figuren ere Jærnkjærne, Hovedspiral og Induktionsrulle skizzerede. Jærnkjærnen er indesluttet i et Paprør, uden om hvilket Hovedledningen er viklet i flere Lag Vindinger med tyk (cr. 2^{mm}), isoleret Traad; om Hovedrullen er der lagt et Ebonitrør, om hvilket Induktionsrullen er viklet; denne bestaar af en meget lang (ofte flere Mil lang) og tynd (cr. 1/4^{mm}) Traad, hvis enkelte Vindinger (i almindelige Apparater 20—30,000) og Lag af Vindinger ere godt isolerede. Enderne af Induktionsrullen gaa hen til to Klemmeskruer, der ere anbragte paa ferniserede Glasstænger, og imellem disse Klemmeskruer kan man da anbringe det, hvorigjennem man vil lede Induktionsstrømmene.

Den Gnist, som paa Grund af Extrastømmen dannes, naar den inducerende Strøm afbrydes, vil forhale Afbrydelsen og saaledes svække Induktionsstrømmens Styrke. Ved over Kvægsølv i Foucault's Afbryder at helde noget Vinaand, vil Gnisten delvis slukkes, men endnu er den fra Gnisten hidrørende

Svækkelse meget betydelig. For at bøde herpaa er Induktionsapparatet i Almindelighed forsynet med en Kondensator (Fizeau), som er anbragt i den Fod, hvorpaa Apparatet er befæstet. Kondensatoren bestaar af et Stykke Voxtaft, paa begge Sider belagt med Stanniol; disse to Stanniolplader ere forbundne ledende hver med sin af de to Traadstykker paa begge Sider af Kontakten *C* (Helmholtz har foreslaaet en Traad med stor Modstand istedetfor Kondensatoren). I Afbrydelsesøjeblikket ville Elektriciteterne da fornemmelig søge ned til Kondensatorens to Plader, der saaledes lades med modsatte Elektriciteter, og kun i mindre Grad til selve Afbrydelsesstedet, hvorved Gnisten betydelig svækkes. Naar den inducerende Strøm atter sluttes, strømme Elektriciteterne fra Kondensatoren tilbage i Ledningen og fremkalde da en Gnist.

I Ledningen til den inducerende Strøm er der altid indskudt en Kommutator, saa at man ved den kan sætte Maskinen i og ud af Virksomhed.

106. Magnetoelektriske Maskiner. Bevæges et Jærnanker, der er omviklet med overspunden Kobbertraad i en sluttet Led-



Fig 114.

ning, henimod Polerne paa en Hestekomagnet, voxer Jærnankerets Magnetisme, hvilket fremkalder en Induktionsstrøm i Traaden, der søger at svække Magnetismen; omvendt, naar Jærnankeret fjærnes fra Magnetpolerne. Istedetfor at bevæge Jærnankeret frem og tilbage, kan man anbringe det saaledes, at det drejes om en Axe forbi Magnetens Poler. Dette er Principet for de magnetoelektriske Maskiner. Franskmanden

Pixii, der konstruerede den første Maskine (1836), havde en faststaaende Elektromagnet og en drejelig, permanent Magnet, men i alle senere konstruerede Maskiner er der den langt fordelagtigere Ordning med en fastsiddende Magnet og en bevægelig Elektromagnet (Jærnanker med overspunden Kobbertraad). Vi ville her omtale Stöhrers lille Maskine, hvis Indretning er skizzeret i hosstaaende Figur. *M* er den fastliggende Magnet, foran hvis Poler Jærnankeret bevæger sig; dette bestaar af en Jærnplade, som er fastgjort til Rotationsaxen, og paa denne Plade sidde to Jærnkjærner, som naa

omtrent helt hen til Magnetpolerne, og om hvilke Induktionsrullerne J og J_1 ere vikled.

Lad os for et Øjeblik tænke os den ene Rulle bevæge sig om Axen, f. Ex. J . I den Stilling, dens Jærnkjerne har i Figuren, har den en Sydpol; ved Rotationen vil Sydpolen fjærne sig fra Magnetens Nordpol, dens Syd magnetisme vil altsaa svækkes, indtil den er drejet 90° fra den nævnte Stilling; den vil derefter faa Nordmagnetisme i stedse stærkere Grad, indtil den kommer ud for den faste Magnets Sydpol. Under denne halve Omdrejning vil Syd magnetismens Formindskelse og derefter Nordmagnetismens Forøgelse frembringe Induktionsstrømme i samme Retning, men midtvejs er Strømstyrken dog Nul, da Jærnkjernen i den Stilling ingen Magnetisme har. Naar derefter Rullen J under den fortsatte Omdrejning fjærnes fra Magnetens Sydpol, vil der induceres en Strøm i Rullen i den modsatte Retning af den tidligere, og forøvrigt vil det under denne anden halve Omdrejning gaa som før. Induktionsstrømmene, der fremkomme under hver Omdrejning, fremstilles derfor graphisk ved den øverste hosstaaende Figur. Naar man forsyner Maskinen med en Kommutator, kan man dog vende den ene Strøm, saaledes som nedenfor skal blive vist, og da vil den nederste Figur

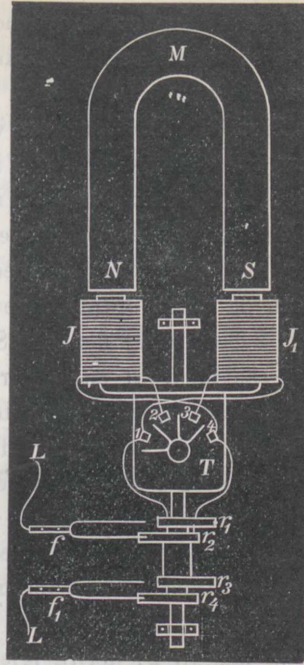


Fig. 115.

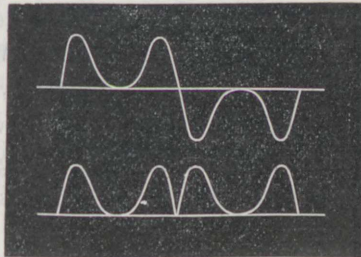


Fig. 116.

fremstille Induktionsstrømmens Gang. Paa lignende Maade gaar det med Induktionen i Traadrullen J_1 .

Enderne af Spiralerne J og J_1 ere nu enten forbundne med hinanden som Traaden om en Elektromagnet, eller paa følgende Maade: Traadenderne gaa hen til 4 Kobberknapper, der ere anbragte i en Cirkelbue paa Træpladen T ; J 's to Ender gaa til Knapperne 2 og 4, J_1 's til Knapperne 1 og 3, som vist i Figuren; Traadene ere vikled saaledes op, at 1 og 2 altid ere ens elektriske, 3 og 4 ligeledes, 3 kommer Strømmen i J ud ved 2, kommer den i J_1 samtidig ud ved 1. Om Cirkelbuens Centrum kan der drejes en lille Trævalse, hvorpaa der sidder to Kobberstrimler, formede som angivet paa Figuren. Man kan da enten stille denne Valse 1) saaledes, at Knapperne 1 og 2 berøres af den ene Strimmel, 3 og 4 af den anden, eller 2) saaledes, at en af Strimlerne berøre 2 og 3 (den andens ene Gren berører da enten 1 eller 4, men dette har ingen Betydning). Naar nu den ydre Ledning sluttet i Knapperne 1 og 4, vil man se, at i den første af de to Stillinger ville Strømmene fra J og J_1 løbe f. Ex. ned til henholdsvis 2 og 1 og altsaa gaa sammen ud i den ydre Ledning, naa tilbage til 4 og den dermed forbundne 3 og derfra gjennebløbe hver sin Spiral; i den anden Stilling derimod vil Strømmen fra J gaa ned til 2, derfra igjennem Kobberstrimlen til 3, saa over i Rullen J_1 , derfra ud ved Knappen 1, igjennem den ydre Ledning til 4 og saa tilbage til Rullen J ; paa lignende Maade gaar det Strømmen fra J_1 . Disse to Forbindelsesmaader svare altsaa ganske til de to Maader, paa hvilke galvaniske Elementer kunne kombineres.

Strømmene ville, efter hvad der før er udviklet, træde ud i Ledningen, der forbinder 1 og 4, skiftende Retning for hver halve Omdrejning; anvendes der ingen Kommutator, gaar der Traade fra 1 og 4 hen til to Metalskiver, der sidde paa Axen isolerede fra denne, og den ydre Ledning indskydes imellem to Metalfjere, der berøre Skiverne. For at faa Strømmene vendte i samme Retning, fastgjøres der til Axen en Kommutator, der er vist i Gjennemsnit i den lille Figur. Denne Kommutator bestaar af to fra hinanden ved et Kautschukrør isolerede Metalrør med ligestore, excentriske Kraver for Enderne,

hvilke Kraver skiftevis have Centrum liggende tilhøjre og tilvenstre for Axen; det inderste Metalrør er isoleret fra Axen. Traaden fra 1 fører isoleret hen til det ene Rør, den fra 4 isoleret hen til det andet Rør. Imod Kraverne klemme to gaffeldelte Metalbjere, saaledes at den ene Fjers Grene kunne hvile paa de to nærmeste, den anden Fjers Grene paa de to fjærmeste Kraver, og den ydre Ledning forbinder de to Fjere. I enhver Stilling af Axen vil da altid én Gren af hver Fjer hvile paa en Krave, og Ordningen er saaledes, at hver Gang Ankeret passerer Magnetpolerne, skifter Kontakten. Det vil da let ses, at Strømmene i den ydre Ledning altid have samme Retning; under den ene halve Omdrejning gaar Strømmen nemlig Vejen $1r_1 r_4 f_1 L f r_2 4$, idet L betegner Ledningen, som er indskudt imellem de to Fjere, og under den anden halve Omdrejning $4r_2 r_3 f_1 L f r_1 1$.

Saadanne Maskiner som den her omtalte har man modificeret paa forskjellig Maade, gjort dem stedse større og stærkere for at faa forskjellige Anvendelser af dem, saaledes til det elektriske Lys.

107. Stöhrer har konstrueret en Maskine med 3 Hestekomagneter, der have de 6 Polflader i en Kreds, skiftevis Nord- og Sydpol, og ovenover dem bevæges i en ligesaa stor Kreds 6 Jærnkjærner med omviklet Traad, hvis Ender ere forenede saaledes, at Strømmene fra alle 6 Ruller samtidig gjennebløbe den ydre Ledning i samme Retning. Alliancemaskinen, bragt i Anvendelse af et Selskab »l'Alliance«, er en sammensat Stöhrers Maskine; 24 Hestekomagneter ere opstillede i 3 parallelle Planer lidt fra hinanden, 8 Magneter i hver Plan, med Grenene radiært ind efter, saa at de 16 Magnetpoler i hvert Plan danne en Kreds; to Nabopoler have modsat Magnetisme, hvad enten de følge efter hinanden i samme Kreds eller i to Nabokredse (langs samme Frembringer i den af dem dannede cylindriske Aabning). I det af Magneternes Polflader dannede Rør drejes en Cylinder rundt, uden paa hvilken Jærnkjærnerne ere anbragte i Kredse saaledes, at i den axiale Stilling hver Jærnkjærne kommer til at ligge imellem to Magnetpoler, der ligge bag hinanden i Retning med Axen; af saadanne Kredse bliver der altsaa to, hver med 16 Jærnkjærner. Enderne af Traadrullerne om Jærnkjær-

nerne ere samlede saaledes, at Strømmene adderes. Man faar Vexelstrømme, men ved visse Arter af elektrisk Lys er dette jo ogsaa nødvendigt, og denne Maskine har derfor faaet Anvendelse dertil. Antallet af Magnetkredse kan naturligvis forøges. Som det ses, have Jærnkjærnerne her Retning vinkelret paa Magneternes Grene, hvad der ogsaa kan finde Sted ved de simplere magnetoelektriske Maskiner. Axeomdrejningen i Maskinerne kan ske ved Hjælp af Gaskraft- eller Dampmaskiner.

108. En anden Konstruktion har Werner Siemens's Cylinder-Induktor (1857), hvor Ankeret magnetiseres paa tværs og ikke som før i Længderetningen; Magneterne stode jo før over Endefladerne af Ankeret, der hyppig var langt og tyndt. — Ved denne nye Ordning opnaar man, at Magnetismen kan

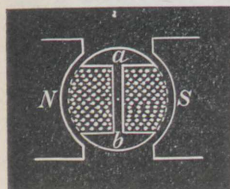


Fig. 117.

vexle raskere og kraftigere end før, og at mange Magneter kunne paavirke samme Anker, naar dette gives en Længde lig Højden af Magnetsøjlen. Jærnkjærnen har Form som et Dobbelt-T; det af Cylinderen udskaarne Rum er fyldt med Traaden, som er viklet op om Midterstykket i mange Vindinger i Ankerets

Længderetning.

Magneterne ere uddrejede saaledes, at de omslutte omtrent en Fjerdedel af Cylinderens Overflade; Jærnankeret bliver her stadig i det magnetiske Felt, og derved opnaaes, at de to ensrettede Strømskød, der fremkomme under en halv Omdrejning, forenes til en Strøm, saa at Strømstyrken kan fremstilles graphisk i hosstaaende Figur, den første med, den anden uden Anvendelse af Kommutator.

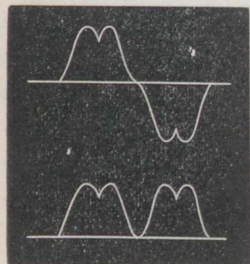


Fig. 118.

109. I de nævnte magnetoelektriske Maskiner anvendtes Staalmagneter, hvilke imidlertid gjøre Maskinerne meget store og tunge. Man har derfor indført Elektromagneter istedetfor Staalmagneter; Magnetismen i Elektromagneterne fremkaldes af en elektrisk Strøm fra et galvanisk Batteri eller fra en lille magnetoelektrisk Maskine med Staalmagneter.

En Udvikling heri skete ved Indførelsen af det »dynamiske Princip«, omtrent samtidig af Werner Siemens og Wheatstone (1867); derom mere nedenfor.

110. De hidtil omtalte Maskiner give enten Strømme med skiftende Retning eller i hvert Fald stødvis Strømme og kaldes derfor i begge Tilfælde Vexelstrømmaskiner. Gramme har i Aaret 1870 konstrueret en Maskine, der giver ensrettede, konstante Strømme.

I Gramme's Maskine er Jærnankeret en Jærnring, som anbringes imellem Magnetens to Poler. Lad os tænke os en Axe af et isolerende Stof til denne Jærnring, og at der langs denne Axe løber nogle korte Kobberstænger i ligestore indbyrdes Afstande (i Fig. er tænkt 8, men i Virkeligheden er der langt flere). Jærnringen er omviklet af ligesaa mange, ens Lag af Vindinger som Antallet af Stænger, og fra hvert Lag gaa Traadenderne ind hver til sin af to paa hinanden følgende Kobberstænger, saaledes at enhver af disse har Endetraaden af en Rulle og Begyndelsestraaden af den næste. Magnetens Poler *N* og *S* frembringe nu i Jærnankeret de to diametralt modsatte Magnetpoler *s* og *n*. Drejes Jærnringen med sin Axe, ligge *s* og *n* stille, medens Ringen drejes, d. v. s. et Punkt af Jærnringen, der bevæges op efter fra *B* bliver sydmagnetisk i stedse stærkere og stærkere Grad, indtil det faar sit Maximum

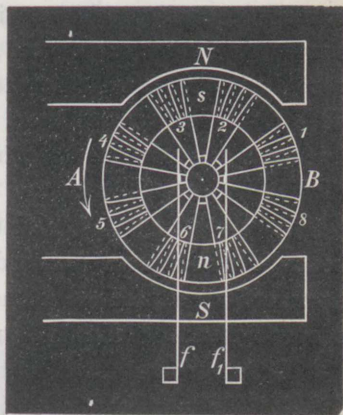


Fig. 119.

af Sydmagnetisme, naar det passerer *N*, derefter bliver Sydmagnetismen svagere, i *A* er den Nul, saa opstaar der voxende Nordmagnetisme o. s. fr. Forholdene blive derfor de samme, som naar man tænker sig Jærnringen liggende fast og Traadrullerne glidende hen over den. De forskjellige Ruller ville vi numerere, som Figuren viser. 1 og 2 nærmes til *s* og der opstaar derfor i dem Strømme, som ville frastøde *s*, saa at de maa have en

Sydpol henimod s , α : tilvenstre sét fra Axen, en Nordpol tilhøjre; i 3 og 4 maa de ved Bevægelsen fremkaldte Strømme ligeledes have en Sydpol tilvenstre og en Nordpol tilhøjre, thi Polen tilhøjre maa virke tiltrækkende paa s , fordi Rullerne fjærnes derfra; altsaa ville Strømmene i de Ruller, der befinde sig over den Diameter (AB), der staar vinkelret paa Forbindelseslinien imellem Magnetpolerne, alle gaa i samme Retning og i Retning fra B til A med den valgte Omdrejningsretning. Ved en lignende Betragtning vil man finde, at Strømmene i de Traadruller, der ligge under den nævnte Diameter, altsaa i 5, 6, 7, 8, ville gaa i den modsatte Retning, d. v. s. i Retning fra B til A . Det gjælder altsaa om at aflede Strømmene paa disse to Steder, thi ellers bliver Strømmen i Rullerne Nul, de modsat rettede Strømme ophæve hinanden. Denne Afledning skér derved, at to Metalfjere (f og f_1) klemmes ind imod Axen, idet de altid berøre denne i de Kobberstænger, der ligge indenfor A og B eller bedre forskudte lidt derfra i Omdrejningsretningen, da Forandringen i Magnetismen ikke er pludselig; sluttes da Ledningen derved, at f og f_1 forbindes med den ydre Ledning, træde Strømmene fra de to Halvdele af Ringen ud i f fra den Kobberstang, som f i Øjeblikket berører, gaa igjennem den ydre Ledning hen til f_1 og derfra tilbage, hver til sin Halvdel af Ringen.

Strømstyrken vil, alt andet lige, voxe med Omdrejningshastigheden, dog ikke proportionalt dermed, og saalænge denne er konstant, er Strømstyrken det ogsaa; enhver Maskine har et Maximum, udover hvilken den inducerede elektromotoriske Kraft ikke kan naa.

Det er godt at have Vindingerne delt i mange Lag, da i saa Tilfælde Potentialforskjellen imellem to Kobberstænger ikke er saa stor, og derved svækkes den Gnist, der dannes, naar Fjerene springe fra én Kobberstang til den næste.

En Jærnring til Anker i en Maskine, der skal give en konstant Strøm, er først proponeret af Paccinotti i Pisa (1860) og kaldes derfor ogsaa Paccinottis Ring; han gjorde imidlertid ikke sin Opfindelse videre bekjendt, og Gramme konstruerede sin Maskine uden at kjende denne Opfindelse.

111. Betragte vi Paccinottis Ring og tænke os et Snit lagt igjennem Centrum vinkelret paa Ringens Plan, men ikke

igjennem de neutrale Punkter, σ : efter Diametren AB , saa maa Magnetismen og altsaa de ved Bevægelsen fremkaldte elektromotoriske Kræfter være ligestore i de to Snitflader. Den elektromotoriske Kraft i 1 og 4 er ens, og ligeledes den i 2 og 3, men denne sidste er meget ringe, thi for det første trækker Ringens Magnetisme sig mest til Yderfladerne, og dernæst vil f. Ex. baade n og S fremkalde elektromotoriske Kræfter i 2, der gaa i modsatte Retninger og ikke ere langt fra at være ligestore, hvorimod de frembringe elektromotoriske Kræfter i 1, der gaa i samme Retning. Derfor maa det være fordelagtigt at faa den indre Traad bort, altsaa istedetfor en Jærnring at anvende en Jærncylinder, der maa være lang, da der ikke i Traaden, som ligger paa Cylinderens Endeflader, udvikles nogen elektromotorisk Kraft.

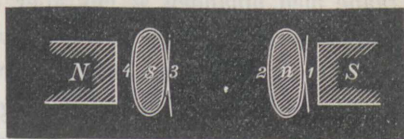


Fig. 120.

Vanskeligheden ligger nu kun i Opviklingen af Traaden; denne kan ikke ske saaledes, at 1 og 4 i ovennævnte Figur umiddelbart forbindes eller gaa ud i ét, thi da ville ogsaa de to Vindinger, der i Øjeblikket berøre Fjerene, forbindes, saa at disse ikke kunne føre nogen Strøm bort. Opviklingen er af v. Hefner-Alteneck udført paa en Maade, der bedst oplyses ved hosstaaende Figur, hvor de ved Tallene anbragte Prikker angive Traadenderne ved Cylinderens ene Endeflade; ens Tal ere diametralt modsatte og betyde, at Traaden paa Cylinderens anden (bageste) Endeflade gaar imellem dem. De smaa, firkantede Prikker betegne de Steder af Traadene, hvor disse ere blanke og udvidede til Knap-

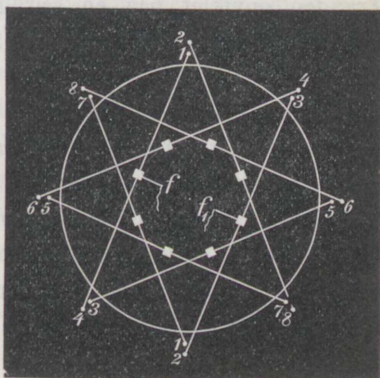


Fig. 121.

per, ved hvilke der kan dannes Kontakter med Fjerene; disse ere markerede ved f og f_1 . En af de to Traade gaar saaledes: $f11775533f_1$; Traadene danne altsaa et i sig selv tilbagevendende Kredsløb som ved Paccinottis Ring; alle Traades Strømme understøtte hverandre, og der er stedse forbundet Traade med hinanden af ens eller omtrent ens elektromotorisk Kraft. Fjerene berøre to Steder, hvor der ingen elektromotorisk Kraft er, og som dele den hele Traad i to ligestore Dele.

(Jærnkjærnen kan ogsaa ligge stille, og Traaden være viklet op paa et Messing- eller Nysølvør, der ligger tæt op til Jærnkjærnen og drejes udenom denne).

I Siemens & Halske's Konstruktion efter dette Princip

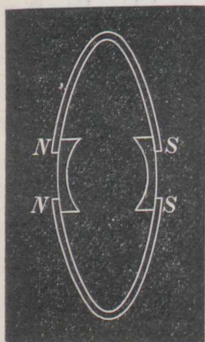


Fig. 122.

bestaar det magnetiske Magazin af to Rækker af Staal magneter, som ere lagte imod hinanden med ens Poler paa samme Side; til hver Række af de ens Poler er der befestet et halvrundt, uddrejet Jærnstykke, hvis indre Flade altsaa danner en Polflade.

En Mængde andre Konstruktioner ere foreslaaede, baade til Vexelstrømmaskiner og til Maskiner med konstant Strøm, men Variationerne ere dog ikke store. I

C. P. Jürgensens Maskine ere de magnetiske Polflader Endefladerne af Magnetens Grene, hvorved Virkningen forøges,

tilmed da Magneten er Elektromagnet (112); paa denne er Traaden opviklet paa en særlig Maade (med tiltagende Lag ud imod Polfladerne) for at frembringe den størst mulige Virkning.

112. Vi skulle nu tilføje den Forandring, der er foregaaet ved Indførelse af det dynamiske Princip, ved hvilket de magnetoelektriske Maskiner faa Navn af dynamoelektriske Maskiner. Magneten i Maskinen er ingen Staal magnet, men en Elektromagnet, i hvilken Magnetismen fremkaldes af Maskinens egen Strøm, som sendes igjennem Elektromagnetens Vindinger, idet disse ere en Del af den ydre Ledning. Alt Jærn har nemlig nogen remanent Magnetisme, om endog meget lidt, naar det en Gang er bleven magnetisk, og det kan jo ske én Gang for alle

ved Hjælp af et galvanisk Batteri. Drejes nu Ankeret rundt, vil Magnetens svage Magnetisme frembringe en svag Strøm, som dog vil forstærke Magnetismen, hvilket atter har en Forøgelse af Strømmens Styrke til Følge, o. s. fr., indtil Magnetismen og Strømmen have faaet en betydelig, konstant Styrke. Saadanne Maskiner anvendes nu mest.

113. **Den elektriske Kraftforplantning.** Vi have sét, hvorledes der f. Ex. i Gramme's Maskine ved Ankerets Omdrejning frembringes en jævn elektrisk Strøm ganske som den, der leveres af et mægtigt galvanisk Batteri. Sender man nu omvendt en Strøm igjennem Vindingerne om Jærnankeret, vil dette give sig til at rotere, og vi faa da en elektrisk Arbejds-maskine (elektromagnetisk eller elektrodynamisk Maskine). Den Strøm, der skal bruges til at fremkalde denne Bevægelse i Maskinen, kan faaes af en anden Maskine, Kraftmaskinen, hvis Anker sættes i Bevægelse. Denne elektriske Kraftforplantning kan benyttes, naar man f. Ex. vil benytte et Vandfalds Arbejdsværdi; Vandet driver Turbiner, som atter bringer en Gramme's Maskines Ring til at rotere, og den derved frembragte Strøm ledes igjennem Traadledninger (anbragte paa Telegraphpæle eller nedlagte isolerede i Jorden) hen til det Sted, hvor Kraften skal benyttes; dér ledes de ind i en anden Gramme's Maskine, hvorved dennes Ring kommer i Rotation. Under denne Forplantning gaar der naturligvis en Del Arbejde tabt, ofte mindst Halvdelen i de Anvendelser, som ere gjorte, men man er dog paa Veje til at naa bedre Resultater; Tabet hidrører navnlig fra Opvarmningen i Ledningen. Hvor der kun er Tale om korte Afstande, ere Resultaterne mere tilfredsstillende; som Exempel herpaa kan nævnes den elektriske Jærnbane, hvor Kraftmaskinen er fast opstillet og igjennem Skinnerne eller særlige Ledninger sender Strømmen til Arbejdsmaskinen, som findes i Jærnbanevognen og ved sin Bevægelse driver denne frem. Paa mangfoldige Omraader kan denne elektriske Kraftforplantning faa Anvendelse. Franskmanden Deprez har navnlig gjort sig fortjent ved Arbejder om denne Sag.

114. **Telefonen** (Graham Bell, 1876). En af de smukkeste Anvendelser af elektriske Strømme er den elektriske Lydforplantning, hvilken skér ved Telefonen. En saadan bestaar

af et Træ- eller Ebonitrør med en Udvidelse i den ene Ende; i Røret er befæstet en Magnet med et Stykke blødt Jærn for

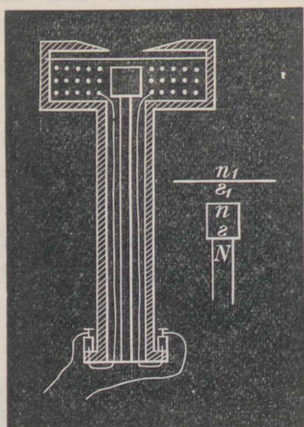


Fig. 123.

den Ende, der gaar op i Udvidelsen, og dette Jærnstykke er omviklet med overspunden Kobbertraad, der faar Plads i Udvidelsen; Traadens Ender føres ned til to Klemmeskruer. I Udvidelsen er der over Jærnstykket fastspændt en meget tynd Jærnplade, og lige over denne lukkes Røret med et Laag, der paa Midten har en tragtformig Aabning. Magnetens ene Magnetpol (N) vil magnetisere Jærnankeret (s og n), og dets ene Pol (n) vil atter fremkalde Magnetisme i Jærn-

pladen (s_1 og n_1). De nævnte Klemmeskruer forbindes ledende med de tilsvarende Klemmeskruer paa en anden, aldeles lignende Telefon. Taler man da imod den ene Telefons Jærnplade, sættes denne i visse bestemte, hurtige, for hver enkelt Lyd karakteristiske Svingninger; nærmer Pladen sig i en Svingning til Jærnstykket, forstærkes dets Magnetisme, og der induceres i Traadledningen en momentan Strøm i én Retning; svinger Pladen derefter bort fra Jærnstykket, svækkes dets Magnetisme, og der induceres en Strøm i Ledningen i den modsatte Retning. Vi faa altsaa en hel Række Bølgestrømme, der ankomme til den anden Telefon og omkredse dens Jærnstykke i skiftende Retninger; derved ville de skiftevis forøge og svække dette Jærnstykkets Magnetisme og saaledes forårsage, at Jærnpladen i denne Telefon sættes i Svingninger, der ere ligedannede med dem, Talen har fremkaldt i den første Telefons Plade. Lægges Øret altsaa til, høres den Tale, der er ført foran den første Telefon.

Dersom man i Ledningen havde indskudt et galvanisk Apparat, vilde Bølgestrømmene afvexlende forstærke og svække den tilstedeværende Strøm, saa at Virkningen bliver den samme. Med en saadan Ordning vil man være istand til ved Hjælp af

et elektrisk Ringeapparat at hidkalde den, til hvem man vil telefonere.

Den samme Telefon kan paa en Station tjene som Af-sender og som Modtager. Man maa tale højt og meget tydelig i Telefonen, for at Lyden skal kunne høres, og den bliver endda altid meget svag. Denne Ulempe kan man hæve ved som Afsendertelefon at benytte Edisons Kultelefon, men man maa da have en Edisons og en Bells Telefon paa hver Station, thi Kultelefonen kan ikke bruges som Modtager.

115. **Edisons Kultelefon** har følgende Indretning: Imellem to smaa Platinplader, *a* og *b*, er der et tyndt Lag Kul *c*, dannet af sammenpresset Kjørnøg. Lidt fra den ene Platinplade (*b*) er der udspændt en tynd, elastisk Plade *p*, som i Midten er understøttet af en lille Jærncylinder *e*, der ved Pladen *d* hviler paa Platinpladen *b*; *a* og *b* ere ledende forbundne med de to Klemmeskruer *k* og *k*₁, imellem

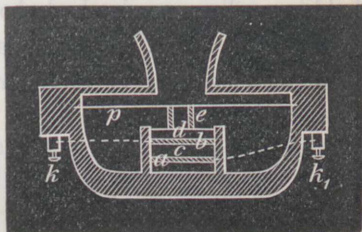


Fig. 124.

hvilke den ydre Ledning er sluttet. I denne Ledning er indskudt et galvanisk Apparat, hvis Styrke man varierer efter de foreliggende Forhold, og en Bells Telefon. Taler man nu imod Pladen *p*, sættes denne i Svingninger, hvorved Kulstykket *c* bliver skiftevis mer eller mindre sammentrykket af de to Platinplader og byder derved Strømmen en henholdsvis mindre og større Ledningsmodstand, saa at Strømmen bliver i bestemt Takt stærkere og svagere, hvilket i Bells Telefon fremkalder de tilsvarende Svingninger af Jærnpladen.

116. **Mikrofonen** er et Apparat til Opfattelse af meget svage, ellers uhørlige Lyd som f. Ex. Insekters Bevægelser. Den er konstrueret af Hughes og indrettet saaledes: *D* er et Træ-

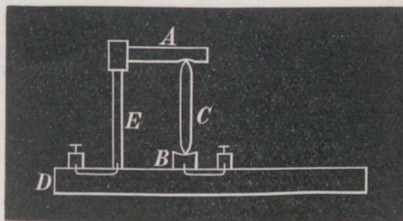


Fig. 125.

brædt, hvorpaa er fastgjort Kulstykket *B* og i en Metalopstander *E* Kulstykket *A*, der gaar henover *B*; imellem *A* og *B* er stillet et i Enderne lidt tilspidset Kulstykke *C*, der hviler let i Fordybninger i *A* og *B*. Fra *E* og *B* fører der Ledningstraade hen til to Klemmeskruer, og ved Hjælp af dem indskydes Kulstykkerne i en Ledning, hvori der findes et galvanisk Element (eller to) og en Telefon. Kryber der nu et Insekt paa Pladen *D*, kommer denne i Svingninger, og derved varieres Berøringen imellem Kulstykkerne, hvilket foraarsager smaa Forøgelsers og Formindskelsers af Strømmens Styrke, dog tilstrækkelig store til at sætte Telefonens Jærnplade i saa stærke Svingninger, at Lyden høres meget stærkt. For at holde uvedkommende Lyd borte (Stød til Bordet, hvorpaa Mikrofonen staar, etc.), maa Mikrofonen stilles paa noget blødt som Stykker af Kautschukrør eller lignende.

Rettelser.

- S. 12, L. 5 f. n. I den første Brøk tilføjes i Tælleren 2.
 - 49, - 14 f. n.: AA_1 l. BB_1 .
 - 52, - 13 f. n.: er omtrent proportionalt l. voxer noget.
 - 103, øverste Stykke: a l. c .

TILLÆG

til

H. O. G. Ellinger: Lærebog i Magnetisme og Elektricitet.

I efterfølgende Linier skulle nogle af de nyeste Arbejder paa Elektricitetens Omraade blive fremsatte i Korthed, efter at der først til deres Forstaaelse er givet nogle almindelige Bemærkninger, der udvide, hvad der tidligere i Bogen er omtalt af forskellige Phænomenener.

Grundlaget for den nu almindelig herskende Anskuelse om Elektricitetens Natur er givet af Faraday (1837), og derpaa har Maxwell (1865) bygget videre i sin elektromagnetiske Lystheori, der af H. Hertz først (1889) har faaet sin experimentale Støtte; senere have Mange arbejdet videre i det af Hertz angivne Fodspor. L. Lorenz har 1867, uafhængig af Maxwell, fremsat lignende Anskuelser som denne.

Faraday studerede Phænomenerne ved den elektriske For-
deling (statiske Influens) og benyttede dertil to ligestore
Kondensatorer; hver saadan bestod af to koncentriske Kugle-
skaller, og igjennem et Hul i den yderste kunde en Traad
føres isoleret ind til den indre Kugleskal; Rummet imellem
dem var i den ene Kondensator fyldt med atmosfærisk Luft,
i den anden med et andet Legeme. Faraday ladede nu Luft-
Kondensatoren med Elektricitet og maalte Potentiallet; der-
paa forbandt han den med den anden Kondensator, og dersom

de to Apparater nu besad samme Kapacitet, maatte Elektriciteten fordele sig ligelig imellem dem, saa at Potentialet, efter at denne Forbindelse var tilvejebragt, havde det halve af sin tidligere Værdi; Potentialet blev imidlertid mindre end det halve, saa at den anden Kondensator maatte have en større Kapacitet end den første. Faraday slutter heraf, at Substansen, der findes imellem de to Metalbelægninger, spiller en anden Rolle foruden den, at den isolerer; den har en aktiv Betydning for Elektriseringen, og han kalder den et Dielektrikum. Dettes specifikke Induktionsevne eller dets Dielektricitetskonstant er bestemt ved Forholdet imellem den Kapacitet, som den med Substansen fyldte Kondensator har, og den, som den ligesaa store Luft-Kondensator har. At Ebonitens Dielektricitetskonstant er $3,2$, vil derfor sige, at en Kondensator med Luft imellem de to Metalplader har samme Kapacitet som en ligesaa stor Kondensator, i hvilke Metalpladerne ere adskilte ved en Ebonitplade, der er $3,2$ Gange saa tyk som Luftlaget. Ved en Mængde Forsøg af højst forskjellig Art har man bestemt Konstanterne for en Række af Stoffer, navnlig i de senere Aar, da deres Betydning er traadt stærkt frem.

Cavendish havde forresten allerede i 1775 gjort en lignende Iagttagelse angaaende Forskjellen imellem forskellige Legemer som Isolatorer imellem Metalbelægningerne i Kondensatorer, men uden dog at drage nogle Slutninger af sine Forsøg, hvilke iøvrigt vare Faraday ubekjendte.

Det er S. 139 omtalt, hvorledes en Leder, der er spiralformig, kan virke inducerende paa sig selv; de derved opstaaende Induktionsstrømme kaldes Extrastrømme. Extrastrømmenes elektromotoriske Kraft er afhængig af den primære Strøms Styrke og af den Hurtighed, med hvilken denne forandres. Naar en Spiralstrøm sluttes, gaar Extrastrømmen imod Hovedstrømmen og bevirker, at denne gradvis voxer til sin fulde Styrke, og da Hovedstrømmen altsaa kun langsomt forandres, bliver Extrastrømmens elektromotoriske Kraft, Spænding, kun lille. Naar en Spiralstrøm derimod afbrydes, saa kommer Extrastrømmen til at gaa i samme Retning som

Hovedstrømmen; denne har sin fulde Styrke lige til det Øjeblik, da Afbrydelsen foregaar, og naar dette sker, bliver Strømstyrken lig Nul; denne pludselige Tilintetgørelse af Hovedstrømmen frembringer imidlertid en Extrastrom med stor Spænding, mange Gange større end den, som Hovedstrømmen havde, og dette viser sig ogsaa ved, at der kan opstaa en lille Gnist paa Afbrydelsesstedet; denne Extrastrom varer naturligvis kun et Øjeblik, saa er den forsvunden. Men den pludselige Forsvinden af denne Extrastrom bevirker, at i et Induktionsapparat faar den Induktionsstrom, som fremkommer, naar Hovedstrømmen afbrydes, en langt større Spænding end den, der opstaaar ved, at Hovedstrømmen sluttet.

Ogsaa i en Leder, der ikke er spiralformet, men som f. Ex. er udspændt retliniet, opstaaar der Extrastømme, naar der foregaar Forandringer med en Strøm, som gennemløber Lederen. Lederen kan nemlig opfattes som bestaaende af en Mængde fine indbyrdes parallelle Traade, og en Forandring af Strømstyrken vil altsaa bevirke, at den enkelte Traadfiber virker inducerende paa de andre. Men for en bestemt Forandring af Strømstyrken faar man ikke samme Induktionsvirkning, hvilken Form saa Lederen har; Extrastømmens elektromotoriske Kraft er afhængig af Lederens Form.

En Leders Selvinduktion er altsaa variabel og maales ved en Størrelse, man kalder dens Selvinduktionskoefficient. Denne beroer altsaa paa Ledningens Form og Størrelse. En Spiral, der er fri for Selvinduktion, faar man dannet af en Traad ved først at bøje den om paa Midten, saa at den bliver dobbel, og saa vikle den op paa en Rulle, thi derved vil man opnaa, at i to Traadstykker, som ligge op til hinanden, gaa Strømmene i modsatte Retninger, og Extrastømmene ophæve derfor hinanden.

Det er S. 53 nævnt, at en Udladning af en elektrisk Kondensator bestaar af en Række af Partialudladninger eller med andre Ord: den Udladningsgnist, vi se, bestaar af en Mængde hurtig paa hinanden følgende Svingninger, saaledes som det ogsaa tydelig fremgaar af de Photographier, man har taget af Gnisten.

Før Udladningen begynder, have de to Belægninger en vis Potentialforskjel, men naar Udladningen indtræder, idet Elektriciteten strømmer igjennem den metalliske Udlader og en vis Strækning af Luft, saa formindskes denne Forskjel; derved bliver Strømmens Styrke mindre, og dette fremkalder en Extrastrom, der gaar den modsatte Vej, og som, naar Ledningens Selvinduktion er stor nok, overvinder den sig hurtig tabende Hovedstrom. Men Extrastrommen aftager hurtig i Styrke, hvorved der dannes en ny, modsat rettet Extrastrom o. s. v.; med andre Ord: man har med en svingende Udladning at gjøre. Svingningstallet afhænger af Kondensatorens Kapacitet og Ledningens Selvinduktion; Feddersen fandt f. Ex. 1 Million Svingninger i Sekundet.

Et Induktionsapparat kan levere os en fortsat Række af saadanne Udladningssgnister, og hver enkelt af disse bestaar altsaa af en Mængde Svingninger.

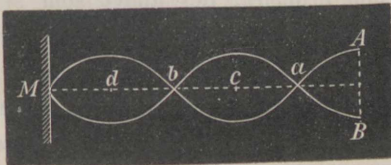
Vi have lært, hvorledes hvilende Elektriciteter paavirke hinanden, hvorledes elektriske Strømme tiltrække eller frastøde hinanden, have set, at en Strøm paavirker en Magnet og omvendt, men stadig have vi her blot tænkt paa en Virkning slet og ret paa Afstand, uden at det mellemliggende Rum skulde spille nogen Rolle. Faraday har imidlertid som nævnt paavist, at ved nogle elektriske Virkninger spiller Beskaffenheden af dette Rum en Rolle, og Maxwell gaar i sin Theori videre i samme Spor. Rummet spiller en aktiv Rolle: det, vi se, hidrører fra, at der har forplantet sig en Virkning igjennem Rummet, og Spørgsmaalet er nu dette, med hvilken Hastighed denne Virkning udbreder sig, og af hvad Art den er. Den elektriske Virkning udbreder sig i Straaler med samme Hastighed som Lyset, og der er ingen Tvivl om, at det er Æthersvingninger, man her har at gjøre med ligesom for Lysets Vedkommende, kun er Svingningstallet mange Gange mindre, Bølgebredden mange Gange større. Det er nylig omtalt, hvorledes det bestemt kan paavises og forklares, at Elektriciteten kan komme til at svinge. Det gjælder da nu om ad experimental Vej at godtgjøre, at saadanne elektriske Svingninger udbrede sig i Rummet, følgende de samme Love som Lyssvingningerne; Forplantnings-

hastigheden skal være den samme, Lovene for Tilbagekastning, Brydning, Polarisation, Bøjning etc. de samme.

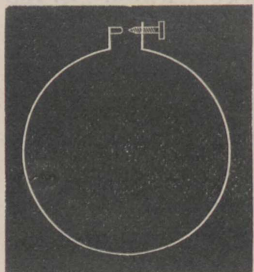
Det er S. 40 nævnt, hvorledes man kan definere Enheden for Elektricitetsmængde ud fra Kraftenheden (Dyn.); men sammesteds er nævnt, at man dog i Reglen benytter Enheden 1 Coulomb, som er 3000 Millioner Gange større; den førstnævnte Enhed kaldes den elektrostatiske Enhed. S. 133 er nævnt, at Enheden i Coulomb er $\frac{1}{10}$ af den absolute Enhed for Elektricitetsmængden, defineret af Strømstyrke-Enheden, hvilken atter er defineret ud fra Magnetisme-Enheden (S. 10); denne absolute Enhed kaldes den elektromagnetiske, og vi se altsaa, at denne sidste er 30,000 Millioner eller $3 \cdot 10^{10}$ Gange større end den elektrostatiske. Af Maxwells Hypothese følger, at det Tal, der angiver Forholdet imellem den elektromagnetiske og den elektrostatiske Enhed er lig med det Tal, som angiver Lysets Hastighed i Centimeter, og dette slaar altsaa ganske rigtig til, thi Lysets Hastighed i Luft er cr. 300,000 Kilometer.

H. Hertz har givet Maxwells Theori den experimentale Støtte. Til Frembringelse af de elektriske Svingninger benyttes et Induktionsapparat; Svingningstallet i de af Induktionsstrømmene fremkaldte Gnister lader sig beregne af Apparatets Beskaffenhed. Dersom disse Svingninger nu kunne udbrede sig i Rummet med en vis Hastighed, saa maa denne Udbredelse ske bølgeformig; og kan man saa bestemme Størrelsen af Bølgebredden, saa faar man Forplantningshastigheden ved at multiplicere Bølgebredden med Svingningstallet. Bølgebredden bestemmer man ved at frembringe staaende Svingninger (jfr. Mekanisk Fysik S. 128 o. fl.), og dette sker ved, at man lader de elektriske Bølger træffe en plan, metallisk Væg;

denne vil da delvis kaste Bølgerne tilbage, og ved Interferens med de indfaldende Bølger opstaar da staaende Bølger, d. v. s. fastliggende Knudepunkter, hvor der ingen Bevægelse er, og derimellem svingende Buge. I Figuren er AB Udgangspunktet for Svingningerne, altsaa Luftstræk-



ningen imellem Polerne paa Inductionsrollen, og M en Metalvæg; der dannes, hvis Theorien er rigtig, Knudepunkter ved M , b og a , men stærkest Svingninger ved d og c . Til at finde Beliggenheden af disse Punkter benyttede Hertz en Søger, en sekundair Leder af forskjellig Form, f. Ex. en cirkelrund Ledningstraad, der er afbrudt etsteds, og paa Afbrydelsesstedet



har en fin Metalspids ovenfor en blank Metalkugleflade; den lille Luftstrækning imellem Spids og Kugle kan man forlænge eller forkorte ved Hjælp af en Skrue, idet Spidsen er Enden af denne Skrue. Naar de elektriske Svingninger ankomme til denne eller en paa en anden Maade formet Ledning, ville de sætte Elektriciteten i den i Svingninger,

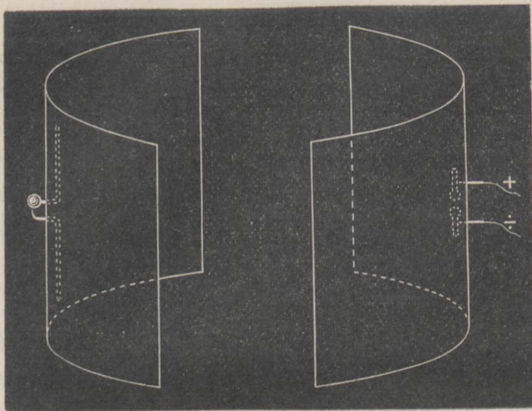
hvad der giver sig tilkjende ved smaa Gnister imellem Spids og Kugle. Ved Hjælp af denne sekundære Leder kan man nu opsøge Bugene og Knudepunkterne; de største Gnister findes, naar Lederen er i Midten af en Bug; Afstanden imellem Midtpunkterne af to Buge er lig den halve Bølgebredde, og denne kan altsaa udmaales.

Ved Fremgangsmaader som den, der nys er omtalt, finder man nu, at de elektriske Straalers Forplantningshastighed er netop lig med Lysets, saa at der ingen Tvivl kan være om, at det er det samme Medium, der er Bærer for Lysets og Elektricitetens Svingninger.

Forsøg over Tilbagekastning af de elektriske Bølger kunne anstilles ved Hjælp af cylindriske Spejle med et parabolisk Gjennemsnit. Hertz anvendte to saadanne, det ene som primært, det andet som sekundært Spejl; i det førstes Brændlinie fastgjordes to smaa tykke Messingcylindre med Kugler i de mod hinanden vendte Ender, og ved Traade, der fra disse Cylindre førtes isolerede ud igjennem Spejlet, sattes de i Forbindelse med Induktionsapparatets Poler; i det sekundære Spejls Brændlinie var Modtageren anbragt, og den havde Form som en lang Metalstang, der var delt i Midten, og fra disse to Afbrydelsessteder førtes Traade ud til henholdsvis en lille

Metalkugle og en Metalspids, der kunde bringes meget nær ind til Kuglen (Gnistmikrometer). Spejlene vare 2 Meter høje.

Opstilles disse to Hulspejle med Aabningerne imod hinanden, saaledes at de have fælles, lodret Axeplan, saa vil der,



naar Induktionsapparatet sættes i Virksomhed, og der altsaa springer Gnister over imellem den primære Leders Kugler, tillige vise sig smaa Gnister i den sekundære Leder imellem Spids og Kugle. De i lodret Retning foregaaende Svingninger, udbrede sig fra den primære Leder til alle Sider; de Bølger, der træffe dette Hulspejl, kastes tilbage i indbyrdes parallelle Retninger, træffe saa det sekundære Hulspejl og blive af dette forenede til Brændlinien, hvor den sekundære Leder er anbragt. Stiller man en stor Metalplade ind imellem de to Hulspejle paatværs af Straaleretningen, standses Straalerne derved, og de smaa Gnister udeblive; dette sker derimod ikke, naar man holder en Træ-, en Ebonit-, en Glasplade o. s. v. ind i Straaleretningen. — Man kan ogsaa lade de fra det primære Spejl tilbagekastede Bølger træffe en plan, lodret stillet Metalplade under en eller anden Vinkel, og saa flytte det sekundære Spejl hen til en saadan Stilling, at det modtager de fra Metalpladen tilbagekastede Straaler; naar Spejlet da staar saaledes, at Gnisterne komme tilsyne, viser det sig, at Tilbagekastningen fra den plane Metalflade følger samme Lov som den, der gjælder for Lyset.

Brydningen af elektriske Bølger kan man vise ved at lade de fra det primære Spejl kommende Bølger træffe den ene Sideflade af et stort Prisme, med lodret brydende Kant, af et af de Legemer, som lade Bølgerne trænge igjennem sig, — Hertz gjorde Forsøg med et Begprisme — ; de af Prismet udtrædende Bølger opfanges af det sekundære Spejl, og har man fundet den Stilling for dette, i hvilken Gnisterne komme tilsyne, saa vil man se, at der har fundet en Retningsforandring Sted; af dennes og af den brydende Vinkels Størrelse kan man beregne Stoffets Brydningsforhold. Et Legemes optiske Brydningsforhold giver, som det vides fra Lyslæren, et Maal for Lysets Forplantningshastighed i Legemet, idet denne sidste er lig Forplantningshastigheden i Luft divideret med Brydningsforholdet. Overføres dette nu til de elektriske Svingninger, saa er man altsaa i Stand til ved Hjælp af disses Brydningsforhold i et Legeme at finde deres Forplantningshastighed i Legemet; denne er som Regel bleven bestemt ad andre Veje end ved Prismets Hjælp.

Maxwells Theori fordrer, at de elektriske Bølgers Brydningsforhold i et Legeme er lig Kvadratrod af dets Dielektricitetskonstant; i de Tilfælde, hvor man har bestemt begge de to Størrelser, der her er Tale om, har denne Lov ogsaa vist sig at slaa til. Da det er af en særlig Betydning at undersøge denne Ting for Vandets Vedkommende, fordi Vand har en Dielektricitetskonstant paa cr. 80 og altsaa skulde have et Brydningsforhold for de elektriske Bølger, der er betydelig større end for Lyset, har jeg anstillet Forsøg med et Vandprisme, d. v. s. et stort, prismeformet Trækar, fyldt med destilleret Vand; Prismets brydende Vinkel var $3^{\circ} 45'$, og det viste sig, at de elektriske Bølger led en Retningsforandring i Prismet, som, naar dette stod i sin Hovedstilling, var meget nær 30° ; af Ligningen $a = (n-1)p$, faar man da Brydningsforholdet cr. 9, stemmende med, hvad Theorien kræver.

Endnu staar der dog meget tilbage at faa klaret, saaledes hele Afsnittet om de konstante elektriske Strømme.

Opgaver.

(Nogle af Müller-Erzbach, Budde, Silv. Thompson).

1. En Magnetpol med 40 Enheder af Magnetisme paa-
virker en anden Pol i 5 Cm.s Afstand med en Kraft paa 32 Dyn;
hvor stærk er denne Pol?

2. To smaa Kugler er ladede med de respektive Elektri-
citetsmængder $+ 24$ og $- 8$; med hvilken Kraft tiltrække de
hinanden i 4 Cm.s Afstand? Naar de derefter bringes til at
røre hinanden et Øjeblik og saa føres tilbage til deres tidligere
Pladser, med hvilken Kraft paavirke de saa hinanden?

3. 50 Gram Jerntraad med Vægtfylde $7,6$ skal byde en
Modstand mod en Strøm paa 54 Ohm. Hvor lang og hvor
tyk skal Traaden være?

4. Hvor mange Fod lang skal en Kobbertraad være, som
er 1 Linie tyk og skal byde en Modstand paa 1 Ohm?

5. Hvor stor Modstand byder en Kobberledning paa
 $1 \square$ Cm.s Tværsnit, naar den skal naa fra Niagara til New York
(480 Kilometer)?

6. Et Bunsens Element med den elektromotoriske Kraft
 $1,9$ Volt og den indre Modstand $0,15$ Ohm bliver sluttet med
en Ledningstraad med Modstanden $0,9$ Ohm; hvor stærk bliver
Strømmen?

7. Et Bunsens Element har den elektromotoriske Kraft
 $1,8$ Volt, og dens indre Modstand er $0,4$ Ohm. Naar 8 saa-
danne Elementer indskydes efter hverandre, og Batteriets Poler
forbindes med en Ledning paa 3 Ohms Modstand, hvor stor
bliver da Strømstyrken?

8. Naar de i forrige Opgave nævnte Elementer indskydes
ved Siden af hinanden (d. e. de $+$ Poler forbindes indbyrdes,
og ligesaa de $\div$), hvor stor bliver da Strømstyrken for samme
ydre Modstand?

9. 50 Groves Elementer, hvert paa 1,5 Volt og med en indre Modstand af 0,3 Ohm, ere forenede til et Batteri, der sender sin Strøm igjennem en Ledning paa 15 Ohms Modstand; hvor stærk er Strømmen?

10. En Telegrafledning, 120 Mil lang, byder en Modstand af 13 Ohm pr. Mil, og de i Ledningen indskudte Instrumenter byde en Modstand, der svarer til 20 Mils Ledningstraad. Hvor mange galvaniske Elementer paa 1,5 Volt skal man forene til et Batteri for at sende en Strøm paa 12 Milliampère (Tusindele af en Ampère) igjennem Ledningen?

11. To Traade med de respektive Modstande 28 og 24 Ohm indskydes saaledes i en Ledning, at Strømmen deler sig imellem dem; hvilken Modstand byde de paa denne Maade Strømmen?

12. Hvor stor skal Modstanden være i den ene af de to sideordnede Grene, naar den i den anden er 6 Ohm og den samlede Modstand skal være 4 Ohm?

13. Et Batteri paa 6 Daniells Elementer, hvert med den elektromotoriske Kraft 1,05 Volt og den indre Modstand 0,5 Ohm, sender sin Strøm afvexlende igjennem Traade med Modstandene 3, 30 og 300 Ohm; hvilke blive Strømstyrkerne i disse tre Tilfælde, og hvor stor bliver Strømmens samlede Styrke, naar Polerne samtidig forbindes ved alle 3 Traade, saa at Strømmen fordeler sig i dem.

14. 15 Elementer, hvert med den elektromotoriske Kraft 1,6 Volt og den indre Modstand 0,3 Ohm, skulle deles i 3 Grupper og kombineres saaledes at Elementerne i hver Gruppe have de ensartede Poler indbyrdes forbundne, medens Grupperne forenes til et Batteri, idet de indskydes efter hverandre; naar den ydre Modstand er 0,12 Ohm, hvor stor bliver da Strømstyrken?

15. Hvorledes skulle 30 Elementer, hvert med den elektromotoriske Kraft 1,4 Volt og den indre Modstand 0,2 Ohm, kombineres for at give den størst mulige Strømstyrke i en ydre Ledning med 1,4 Ohms Modstand? Hvor stor bliver denne Strømstyrke?

16. 24 ens Elementer ere delte i 4 Grupper saaledes, at i hver Gruppe de ensartede Poler ere indbyrdes forbundne, og Grupperne ere dernæst forenede til et Batteri, saaledes at den enes positive Pol er forbunden med den næstes negative. Hvor

stor er Batteriets elektromotoriske Kraft og indre Modstand i Forhold til hvert enkelt Elements?

17. Dersom i forrige Opgave Grupperne ere forenede, som det blev nævnt for Elementerne i hver Gruppe, og omvendt, hvilke blive da Løsningerne?

18. Hvor stærk en Strøm formaar at udvikle 56 ccm. Knaldluft ved 750 mm. Tryk og 16° Temperatur?

19. I en Ledning er indskudt et galvanisk Batteri, en Tangensboussole og et Voltameter. Naalens Udslag er 28° , og der udvikles i Voltametret 120 ccm. Knaldluft i Løbet af 3 mm. ved et Tryk af 740 mm. og en Temperatur af 20° . Hvor stærk er Strømmen, og hvor stor er Tangensboussoles Konstant (Reduktionsfaktor)?

20. Et stort Element af forsvindende ringe Modstand sender Strøm igjennem en Modstand paa 435 Ohm, saa at Naalen i en indskudt Tangensboussole gjør et Udslag paa 9° . Naar denne Modstand ombyttes med en anden, formindskes Udslaget til 5° ; hvor stor er denne anden Modstand?

21. Hvor stort er Forholdet imellem de elektromotoriske Kræfter i to Batterier, naar man ved om dem, at deres indre Modstande ere henholdsvis 8 og 12 Ohm, og naar de ved at indsættes i Ledninger paa henholdsvis 50 og 110 Ohm frembringe samme Udslag paa et Galvanometer.

22. Et Batteri med den elektromotoriske Kraft 3 Volt og en samlet Modstand paa 15 Ohm frembringer i en Tangensboussole et Udslag paa 11° ; hvor stor en Modstand skal man yderligere indskyde for at faa Udslaget formindsket til 6° ?

23. Hvor stor er den i en Ledning tilstedeværende elektromotoriske Kraft, naar en i Ledningen indskudt Tangensboussole med Konstanten (Reduktionsfaktoren) 0,27 efter Indskydelse af 8 Ohms Modstand giver et Udslag paa 41° og efter Indskydelse af 14 Ohm et Udslag paa 26° ?

24. Et Batteri paa 5 Leclanché's Elementer var forbundet med en Tangensboussole og en Rheostat; ved Hjælp af denne reguleres Modstanden saaledes, at Udslaget bliver 40° ; ved yderligere at indskyde 150 Ohm sank Udslaget til 29° . Batteriet blev dernæst ombyttet med et bestaaende af 10 Daniellske Elementer, hvert paa 1,079 Volt, og ligesom før blev Modstanden

reguleret saaledes, at Udslaget blev 40° ; men nu skulde der 216 Ohm til for at faa Udslaget formindsket til 29° . Hvor stor er et Leclanché's Elements elektromotoriske Kraft?

25. Hvor megen Varme udvikles der i en Traad paa 4 Ohms Modstand, naar den i 10 Min. gennemløbes af en Strøm paa 14 Ampères Styrke?

26. En Dynamomaskine har den elektromotoriske Kraft 140 Volt og den indre Modstand 2 Ohm; den ydre Ledning, der forbinder Maskinens Poler skal deles i saa mange Grene, at der i hver kan indskydes en Glødelampe paa 40 Ohms Modstand, som skal fødes med en Strøm af Styrke $\frac{3}{4}$ Ampère. Hvor mange Lamper kan Maskinen da føde?

27. En Strøm paa 9 Ampère driver en Buelampe, hvor Potentialforskjellen mellem Polerne viser sig at være 140 Volt. Hvor mange Hestekraft forbruger Lampen?

Løsninger.

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. 20 Enheder. | 15. 2 Grupper; $7,2$ Ampère. |
| 2. 12 Dyn, 4 Dyn. | 16. 4 Gange saa stor elektr. |
| 3. 576 cm. lang, $1,2$ mm. | Kr. $\frac{2}{3}$ af Modstanden. |
| 4. cr. 710'. | 17. 6 Gange saa stor elektr. |
| 5. cr. 80 Ohm. | Kr. $1\frac{1}{2}$ Gange Modstan- |
| 6. $1,81$ Ampère. | den. |
| 7. $2,32$ Ampère. | 18. 5 Ampère. |
| 8. $0,59$ Ampère. | 19. $3,48$ Ampère, $6,54$. |
| 9. $2,5$ Ampère. | 20. 790 Ohm. |
| 10. 15. | 21. $29 : 61$. |
| 11. $12,92$ Ohm. | 22. $12,7$ Ohm. |
| 12. 12 Ohm. | 23. $1,8$ Volt. |
| 13. $1,05$ Ampère. | 24. $1,5$ Volt. |
| $0,19$ — | 25. $112,9$ Kilogramcalorier. |
| $0,021$ — | 26. 73. |
| $1,105$ — | 27. $1,71$. |
| 14. 16 Ampère. | |

LÆREBOG I VARME.

AF

H. O. G. ELLINGER.



KJØBENHAVN.

C. A. REITZELS FORLAG.

THIELES BOGTRYKKERI.

1888.

LIBRARY OF THE

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

WASHINGTON, D. C.

1911

INDHOLD.

	Side.
I. Temperatur og Rumfang (1—20)	1.
II. Thermometre (21—26)	27.
III. Varmefylde (27—33)	33.
IV. Varmens Forplantning (34—47)	42.
a. Varmestraaling (35—43)	43.
b. Varmeledning (44—46)	52.
V. Smeltning og Størkning (48—54)	58.
VI. Fordampning og Fortætning (55—83)	66.
VII. Varme og Arbejde (84—87)	94.
VIII. Maskiner, der bero paa Varmens Arbejdsværdi (88—92)	104.
IX. Kilder til Varmen (93—96)	113.

I. Temperatur og Rumfang.

1. Temperatur. Varmen er en Naturvirksomhed, som ytrer sig hos alle Legemer. Ved Følelsen afgøre vi, om et Legeme er hedt, varmt, koldt o. s. v., men vi kunne ikke med nogen synderlig Nøjagtighed paa denne Maade bestemme Legemets Varmetilstand. En Vædske, der er kold, naar vi tage den i Munden, kan være varm, naar vi stikke Haanden ned i den; tager man en varm Jærnstang i den ene Haand og en ligesaa varm Træstang i den anden Haand, forekommer Jærnstangen os varmest, hvilket hidrører fra, at der ledes langt mere Varme over i Haanden fra Jærnstangen end fra Træstangen, da Jærn er en god, men Træ en slet Varmeleder; havde de to Stænger derimod været meget kolde, vilde Jærnstangen have forekommet os koldest, fordi den let bortleder Haandens Varme, hvad Træ kun gør i meget ringe Grad. — Har man stukket den højre Haand i varmt Vand, den venstre i koldt Vand, og saa stikker begge Hænder i lunkent Vand, synes dette os koldt ved den højre Haand, varmt ved den venstre Haand, og først efter nogen Tids Forløb synes det os lige varmt ved begge Hænder.

Et Legemes Varmetilstand er bestemt ved dets Varmegrad eller Temperatur. Naar to Legemer, *A* og *B*, ere i Berøring med hinanden, og det viser sig, at der gaar Varme fra *A* til *B*, sige vi, at *A* har en højere Temperatur end *B*, *B* en lavere Temperatur end *A*. Naar Varmestrømningen ikke mere finder Sted, sige vi, at Legemerne have samme Temperatur.

At opvarme et Legeme er at tilføre det Varme, og ved denne Varmetilførsel stiger dets Temperatur; at afkøle et Legeme er at berøve det Varme, og ved dette Varmetab synker dets Temperatur. Ved Overgang fra en Tilstandsform til en anden er der særlige Forhold tilstede.

Kulde er ikke andet end en ringe Varme; en Kuldegrad er en lav Varmegrad.

2. Rumfangsforandring ved Varme. Naar man opvarmer et Legeme, vil dets Rumfang blive større; naar man afkøler det, bliver dets Rumfang mindre; denne Lov gælder med faa Undtagelser for alle Legemers Vedkommende.

Faste Legemers Udvidelse ved Opvarmning kan vises paa følgende Maade. En Metalstang *a* fastskrues ved

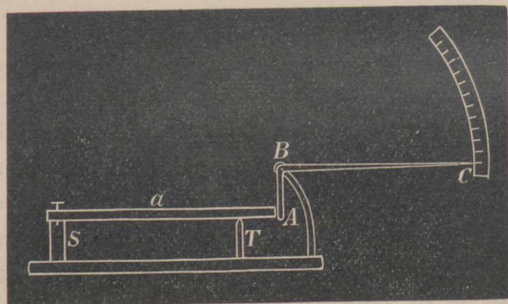


Fig. 1.

den ene Ende paa en Opstander *S*, medens den anden Ende er fri, og denne støder imod den korte Gren af en Vinkelvægtstang *ABC*, der har sit Hvilepunkt ved *B*; Vægtstangens lange Arm *BC* peger paa en inddelt Bue. Sætter man nu f. Eks. en Spritflamme under Stangen, vil denne udvide sig tilhøjre; Udvidelsen er forholdsvis lille, men bliver ved dette Apparat let synlig ved *C*'s Bevægelse opefter henad den inddelte Bue. Borttager man Spritflammen, vil *C* gaa langsomt tilbage til sin oprindelige Stilling, hvilket viser os, at Stangen nu trækker sig tilbage til sin tidligere Længde.

Vædskeers Udvidelse ved Opvarmning kan iagttages saaledes. En Glasbeholder med en snæver Hals fyldes med Vædske, saaledes at dennes Overflade befinder sig oppe i den

snævre Hals. Sætter man nu en Flamme til Beholderen, stiger Vædskens Overflade. Er Glasset ikke meget tyndt, vil man kunne se, at Vædskeoverfladen først synker lidt og saa stiger; dette hidrører fra, at Glasset først opvarmes, udvider sig og derved giver mere Plads til Vædsken; men snart er Varmen trængt ind til Vædsken, og denne udvider sig langt stærkere end Beholderen, hvilket kan ses deraf, at Vædsken staar højere efter end før Opvarmningen.

Luftarters Udvidelse ved Opvarmning kan man paavise ved at tage en Glasbeholder *R* med en snæver Hals paa og stikke dennes aabne Ende ned i Vand eller en anden let Vædske; opvarmes nu *R* ved en Spritlampe, ser man Luftbobler komme frem ved Mundingen og stige op igennem Vædsken, og naar man efter nogen Tids Opvarmning tager Flammen bort, saa at Luften i *R* nu afkøles, ser man Vædsken stige op i Halsen, hvilket ligger i, at Luften trækker sig sammen.



Fig. 2.

3. Udvidelsesloven. Naar et Legeme omgives af en Blanding af Is og Vand, har det altid det samme Rumfang; omgives det af Damp fra Vand, som koger ved normalt Lufttryk, har det et større, men altid ens Rumfang. Vi slutte heraf, at en Blanding af Is og Vand altid har samme Temperatur, og Dampene fra det kogende Vand ligeledes altid samme Temperatur.

Lad os tænke os to forskellige Legemer, *A* og *B*, som begge omgives af Is og Vand; vi maale deres Rumfang. Vi give dem nu en højere Temperatur, som er ens for dem begge (de anbringes i ens Omgivelser); lad os antage, at *A* da udvider sig *a* Rumdele, *B* udvider sig *b* Rumdele. Derefter føre vi dem over i endnu varmere Omgivelser, og viser det sig saa, at *A*'s Udvidelse nu f. Eks. er *na*, regnet fra det Rumfang, det havde, medens det var omgivet af Is og Vand, vil man finde, at *B*'s Udvidelse nu omtrent er *nb*. Vi se altsaa, at Udvidelsen ved Opvarmning for alle Legemer tilnærmelsesvis følger den samme Lov; vi sige, at Legemerne i det sidste

Tilfælde fik en n Gange større Temperaturforøgelse end i det første Tilfælde.

Temperaturen af Is, der smelter, eller Vand, der fryser, siges at være 0 Grader (0°); Temperaturen af Dampene fra Vand, som koger under normalt Lufttryk, er ligeledes konstant og siges at være 100 Grader (100°).

Som nævnt foregaar Legemernes Udvidelse ved Opvarmning ikke aldeles nøjagtig efter samme Lov, og naar man nu vil lægge Udvidelsen til Grund for Temperaturbestemmelser, bliver det et Spørgsmaal, hvilket Legeme der udvider sig regelmæssigt, og hvis Udvidelse altsaa skal benyttes. Valget maa her falde paa Luftarterne, fordi disse altid følge de simpleste fysiske Love (Mariottes Lov), og det viser sig, at alle Luftarter udvide sig ved Opvarmning meget nær i lige stærk Grad (Charles, 1787), hvilket derimod aldeles ikke gælder om faste Legemer og Vædske.

Tænke vi os nu en Luftart, der ved alle Tryk, de største som de mindste, følger Mariottes Lov, altsaa hvad man kunde kalde en fuldkommen Luftart, saa skal det gælde nøjagtig for denne Luftart, at Temperaturen er proportional med Udvidelsen, naar denne regnes fra Luftens Rumfang ved 0° . Har man altsaa en saadan Luftart, og en vis Mængde deraf ved 0° har et Rumfang v_0 , ved 100° et Rumfang v_{100} , saa er Udvidelsen lig $v_{100} - v_0$, og man forstaar ved 1 Grads Opvarmning den Opvarmning, som kan fremkalde $\frac{1}{100}$ af denne Udvidelse, altsaa en Udvidelse paa $\frac{v_{100} - v_0}{100}$; hver Rumenhed har da udvidet sig $\frac{v_{100} - v_0}{100 v_0}$; denne Størrelse — Udvidelsen af 1 Rumenhed (ved 0°) for hver Grads Opvarmning — kaldes Udvidelseskoefficienten.

Dersom Luftmassen, hvis Rumfang ved 0° er v_0 , ved en Opvarmning faar en Udvidelse, der er t Gange større end den, som den faar ved 1 Grads Opvarmning, siges Luften at være opvarmet til t Grader. Kaldes Udvidelseskoefficienten α , vil Udvidelsen være lig $\alpha t v_0$, og Luften vil altsaa ved de t Graders Temperatur have et Rumfang

$$v_t = v_0 + \alpha t v_0 = v_0 (1 + \alpha t).$$

Det maa dog straks tilføjes, at det ved denne Udvidelseslov er forudsat, at Luftmassen er underkastet samme Tryk ved de t^0 som ved 0^0 .

En saadan ideel Luftart, som der her er tænkt paa, gives vel ikke, men indenfor visse Grænser ville alle Luftarter have et Interval, for hvilket Loven gælder med stor Nøjagtighed; disse Grænser ere meget vide for nogle Luftarters Vedkommende (Ilt, Brint, Kvælstof), snævrere for andre (Svovlsyring). Ved Forsøg har man fundet $\alpha = 0,003665 = \frac{1}{273}$ i det nævnte Interval.

Man kan nu indrette Luftthermometre, der ere baserede paa den nævnte Udvidelseslov; da Luften udvider sig saa stærkt i Forhold til andre Legemer (c. 150 Gange stærkere end Glas), saa spiller Rumforandringen af den Beholder, hvori Luften er indesluttet, saa at sige ingen Rolle. Ved Hjælp af et Luftthermometer kan man derefter undersøge andre Legemers Udvidelse, og det viser sig altsaa da, at den samme Udvidelseslov tilnærmelsesvis gælder. Udvidelseskoefficienten vokser i Reglen lidt med Temperaturen, men man taler da om en Middel-Udvidelseskoefficient imellem to Temperaturgrænser. Luftthermometret er imidlertid vanskeligt at anvende i Praksis; dels tager det megen Plads op, og dels kræves der til Temperaturen Bestemmelse saavel Forsøg som Beregning. Hvor der derfor ikke kræves den yderste Nøjagtighed, kan man benytte Kviksølvthermometret, idet det har vist sig, at Temperaturen aflæst paa et saadant ikke afviger synderlig fra den, man finder med Luftthermometret, i alt Fald i Intervallet fra 0^0 til 100^0 .

4. Kviksølvthermometret indrettes paa følgende Maade. Man udtager et snævert Glasrør og undersøger først, om det er lige vidt overalt; dette sker ved ind i Røret at bringe lidt Kviksølv, som trækker sig ud til en tynd Søjle, hvis Længde man maaler; derpaa skyder man denne Søjle hen til forskellige Steder af Røret, og viser den sig saa stadig at have samme Længde, ved man, at Røret er lige vidt overalt. Derpaa udblæses der en Beholder paa Røret i dettes ene Ende; Beholderen har hyppigst Kugleform, stundom dog ogsaa andre Former. Man skal nu fylde Thermometerrøret med

Kviksølv, hvilket sker paa den Maade, at man stikker Rørmundingen ind i Hullet paa en gennemboret Prop (*P*), som danner Bunden i et lille Glasrør (*G*), hvori der er hældt Kviksølv; Beholderen opvarmes, Luften deri udvider sig og bobler op igennem Kviksølvet i *G*, og naar dette har vedvaret i nogen Tid, lader man Beholderen igen afkøles, hvorved Luften i den trækker sig sammen, hvilket har til Følge, at den ydre Luft trykker en Del Kviksølv ned i Beholderen. Dette Kviksølv bringer man dernæst i Kog, Dampboblerne derfra ville da drive al Luften ud af Røret, og naar man atter afkøler, ville Kviksølv dampene fortættes, og det tomme Rum, som derved vilde dannes, bliver helt fyldt med Kviksølv, som trykkes ned af den udvendige Lufts Tryk.



Fig. 3.

Før man nu tilsmelter Røret foroven, opvarmes Thermometret til en Temperatur, der er lidt højere end den højeste Temperatur, hvortil det senere skal bruges; derved løber der noget Kviksølv ud, og naar dette er hørt op, tilsmeltes Røret; ved Afkøling trækker Kviksølvet sig da sammen, og ovenover det er der et lufttomt Rum.

Thermometret skal derpaa inddeles. Inddelingen faar man frem ved at gaa ud fra to faste Punkter, og hertil benyttes som før nævnt den Temperatur, som smeltende Is eller Sne har (Vandets Frysepunkt eller Isens Smeltepunkt), og den Temperatur, ved hvilken Vand koger under normalt Lufttryk 760^{mm}. (Vandets Kogepunkt). Den første Temperatur kalder man »Fryse-« eller »Tøpunktet«, den sidste »Kogepunktet«.

Man anbringer derfor Thermometret først i stødt Is, som er i Færd med at smelte; Kviksølvoverfladen vil da stille sig ved et bestemt Sted paa Røret, og her sættes et Mærke; ved dette Mærke skrives 0. — Derpaa skal Kogepunktet findes, og Thermometret anbringes derfor i Dampene fra kogende Vand — ikke i Vandet selv, thi, som det senere vil blive omtalt, kan Vandets Temperatur under Kogningen

være lidt forskellig, medens den Temperatur, som Dampene fra det kogende Vand har, ene og alene er afhængig af det Tryk, som Vandoverfladen er underkastet. For nu at forhindre en Afkøling udefra, benyttes et Apparat som det, der er afbildet i hosstaaende Figur: Dampene ledes op igennem et indre Rør og derefter nedad i et Rør, der er udenom det første, og herfra strømmer da Dampene ud i Luften igennem Siderør, hvori der er indsat et aabent Kviksølvmanometer; det indre Rør er foroven lukket med en Prop, hvori Thermometerrøret er indsat, dog ikke dybere end at Overfladen af Kviksølvet, naar dette kommer i Ro, staar over Proppen. Man sætter da et Mærke paa Røret ud for Kviksølvoverfladen, og derved er det søgte Kogepunkt fundet, for saa vidt Trykket paa Vædsken

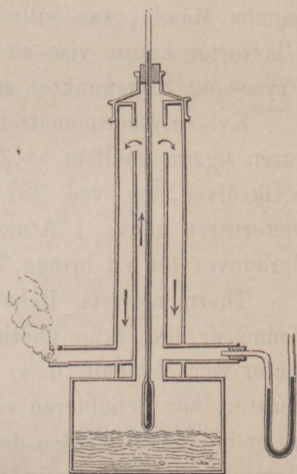


Fig. 4.

er lig det normale Lufttryk; i Manometret vil Kviksølvet staa lidt højere i den Gren, der udmunder i Luften, og Trykket paa Vandoverfladen er derfor lig Summen af Barometerstanden og Højdeforskellen i Manometret. Er altsaa dette Tryk netop lig $760^{\text{mm.}}$, saa sætte vi 100 ved det nævnte Mærke, men er Trykket et andet, kan man sætte et Tal t , som er bestemt af Formlen $t = 100 + 0,0375 (H - 760)$, hvor H er Trykket; det rette Kogepunkt findes da af Proportionen $L:l = 100:t$, hvor l er Afstanden imellem de to Mærker paa Glasrøret, og L den søgte Afstand mellem Fryse- og Kogepunkt.

Man gør rettest i at vente nogle Maaneder med at bestemme de to faste Punkter for Inddelingen, thi det har vist sig, at Glasset langsomt trækker sig lidt sammen, dels paa Grund af at der intet indre Tryk er paa Glasset, og dels fordi Glasmassen først efter gentagne Opvarmninger og Afkølinger faar en fast Lejring.

I Kviksølvthermometret er Temperaturen angivet ved Forskellen imellem Kviksølvets og Glassets Udvidelse (den første er c. 7 Gange større end den sidste), det man kalder Kviksølvets tilsyneladende Udvidelse. Da Glas ikke udvider sig jævnt, og de forskellige Glassorter ikke paa samme Maade, saa ville Kviksølvthermometre med forskellige Glassorter kunne vise en noget forskellig Temperatur, selv om Fryse- og Kogepunktet ere fuldstændig nøjagtige.

Kviksølvthermometret kan kun anvendes, naar Temperaturen ligger imellem $\div 39^{\circ}$ og 357° , thi ved $\div 39^{\circ}$ fryser Kviksølvet, og ved 357° ville Kviksølvdampene i Thermometerrøret udøve 1 Atmosfæres Tryk, saa at en Opvarmning derudover let vil bringe Thermometret til at springe.

Thermometrets Beholder har oftest Kugleformen, men denne er dog ikke ubetinget den bedste. Skal et Thermometer være følsomt, d. v. s. hurtig antage Omgivelsernes Temperatur, bør Beholderen være lille, men have en stor Overflade; nu er imidlertid Kuglen det af alle Legemer, som for et bestemt Rumfang har den mindste Overflade, og Beholderen gøres derfor ofte aflang eller spiralformet. Medens en lille Beholder gør Thermometret følsomt, saa har den paa den anden Side den Fejl, at Afstanden imellem Fryse- og Kogepunktet bliver forholdsvis lille.

5. Forskellige Inddelinger af Thermometret.

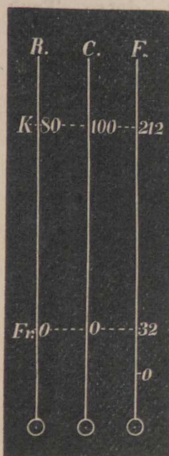


Fig. 5.

Naar Celsius's Skala skal anvendes, deler man som ovenfor beskrevet Afstanden imellem Fryse- og Kogepunkt i 100 ligestore Dele, Grader, og disse Dele afsættes derpaa op over Kogepunktet og nedenfor Frysepunktet; Graderne under Frysepunktet betegnes som negative.

Man har imidlertid ogsaa to andre Skalaer, Réamur's og Fahrenheit's. Réamur sætter ligesom Celsius 0 ved Frysepunktet, men 80 ved Kogepunktet, og han deler Afstanden imellem de to Punkter i 80 ligestore Dele. Fahrenheit sætter derimod 32 ved Frysepunktet, 212 ved Kogepunktet, og Afstanden imellem de to Punkter deles i

180 Dele; Fahrenheits Nulpunkt ligger altsaa 32 Grader under Frysepunktet.

Der svarer efter ovenstaaende 80 Réamur's Grader til 100 Celsius's Grader og til 180 Fahrenheit's Grader, eller $4 \text{ R. G.} = 5 \text{ C. G.} = 9 \text{ F. G.}$ — Naar en bestemt Temperatur aflæses som R^0 paa Réamurs Thermometer, som C^0 paa Celsius's og som F^0 paa Fahrenheits Thermometer, saa bestaar der følgende Relation imellem disse Tal:

$$\frac{R}{4} = \frac{C}{5} = \frac{F-32}{9};$$

ved Hjælp heraf kan man let fra een Skala gaa over til en anden.

Temperaturangivelserne her i Bogen ere efter Celsius's Skala.

Celsius's Skala bruges navnlig i Sverrig og Frankrig og til videnskabelige Forsøg, Réamurs i Danmark og Tydskland, Fahrenheits i England og Amerika.

6. Et Legemes Vægtfylde ved forskellige Temperaturer. For alle Legemer gælder Udvidelsesloven

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t)$$

tilnærmelsesvis, i alt Fald indenfor visse Grænser. Naar denne Lov gælder, er det let at finde en Relation imellem Legemets Vægtfylder ved forskellige Temperaturer; kaldes Legemets Vægt p , dets Vægtfylde ved 0^0 d_0 , ved t^0 d_t , saa har man

$$d_0 = \frac{p}{v_0}, d_t = \frac{p}{v_t} = \frac{p}{v_0 (1 + \alpha t)} = \frac{d_0}{1 + \alpha t} \text{ eller } d_0 = d_t (1 + \alpha t).$$

Ved alle Vægtfyldebestemmelser maa der tages Hensyn til Temperaturen ved Hjælp af dette Udtryk.

7. Faste Legemers Udvidelse. For faste Legemers Vedkommende kan der være Tale om Længde-, Flade- og Rumudvidelse; den første af disse spiller størst praktisk Rolle, nemlig ved Stængers Udvidelse.

Har en Stang ved 0^0 Længden a_0 og ved t^0 Længden a_t , saa er

$$a_t = a_0 (1 + \alpha t),$$

hvor α er Længdeudvidelseskoefficienten, d. e. Udvidelsen af en Længdeenhed (ved 0^0) for 1 Grads Opvarmning.

Betragte vi en rektangulær Flade med Siderne a_0 og b_0 ved 0° , a_t og b_t ved t° , saa er $a_t = a_0 (1 + \alpha t)$ og $b_t = b_0 (1 + \alpha t)$. Ved 0° var Fladens Areal $A_0 = a_0 b_0$, ved t° er det

$A_t = a_t b_t = a_0 (1 + \alpha t) \cdot b_0 (1 + \alpha t) = A_0 (1 + \alpha t)^2 = A_0 (1 + 2\alpha t)$, idet Leddet $\alpha^2 t^2$ kan bortkastes som forsvindende lille ved Siden af $2\alpha t$. — Man ser altsaa, at Fladeudvidelseskoefficienten er det dobbelte af Længdeudvidelseskoefficienten.

Et retvinklet Parallelepipedum, som ved 0° har Siderne a_0 , b_0 , c_0 og altsaa Rumfanget $V_0 = a_0 b_0 c_0$, faar, naar det opvarmes til t° , Siderne a_t , b_t , c_t og Rumfanget

$$V_t = a_t b_t c_t = a_0 b_0 c_0 (1 + \alpha t)^3 = V_0 (1 + 3\alpha t),$$

idet Leddene med α^2 og α^3 kunne bortkastes. — Man ser altsaa, at Rumudvidelseskoefficienten er lig det tredobbelte af Længdeudvidelseskoefficienten.

Udvidelsen af en Beholders indre Rum er lig Rumudvidelsen af et Legeme, der er af samme Substans som Beholderen, og som netop kan udfylde Rummet.

8. Maaling af faste Legemers Udvidelse kan ske ved Hjælp af det i Fig. 1 afbildede Apparat. Man omgiver Stangen først med stødt Is og iagttager Viserens Stilling paa Buen; derefter omgives den med en Vædske, som opvarmes til en vis Temperatur, t° , og man maaler den Flytning n , som Viseren foretager henad Buen. Er nu Vinkelvægtstangens lange Arm c , den korte b , saa har man for Udvidelsen

$$\frac{b}{c} n,$$

og heraf faas Udvidelseskoefficienten ved Division med t og med Stangens Længde l ved 0° ; n og l skulle være angivne i de samme Enheder.

En noget finere Bestemmelse faar man ved Kikkert-aflæsning (Lavoisier og Laplace). Den til Undersøgelse foreliggende Stang AB lægges paa Glasruller i et aflangt Kar, og Stangens ene Ende A gores fast; den anden Ende B støder imod en Vægtstang, der er drejelig om Aksen O , og

hvortil Kikkerten LL er befæstet; denne Kikkert er forsynet med Traadkors, og den er rettet imod en fjærn Maalestok.

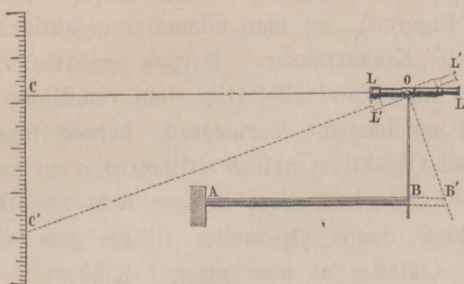


Fig. 6.

I Stedet for at man før iagttog Viserens Flytning henad den inddelte Bue, iagttager man nu Kikkertaksens Bevægelse (fra C til C') henad Maalestokken; iøvrigt er Fremgangsmaaden den samme som ovenfor nævnt, idet n er Flytningen CC' , c er O 's Afstand fra Maalestokken og b Afstanden fra B til O .

En helt anden Metode er følgende (Ramsden). Tre aflange Metalkar stilles parallelt med hinanden; i det midterste Kar anbringes den Stang BB' , hvis Udvidelse man vil maale, og i de to yderste Kar to Jærnstænger, AA' og CC' af

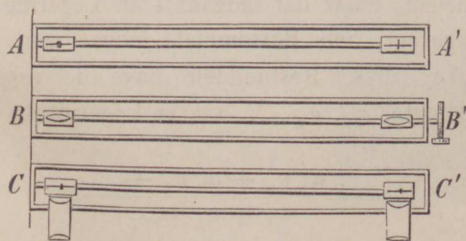


Fig. 7.

omtrent samme Længde. Ved begge Ender af alle tre Stænger er der befæstet lodrette Opstandere, som rage op over Karrene, og hvortil følgende Apparater ere befæstede: paa CC' 's Opstandere sidde to positive Kikkertokularer med Traadkors, paa BB' to Kikkertobjektiver og paa AA' Traadkors, som belyses ved Hjælp af Hulspejl. Forsøget begynder med, at alle Stængerne omgives med stødt Is, og man indstiller Op-

standerne saaledes, at man igennem Okularerne ser Billederne af de respektive Traadkors dække hinanden. Stængerne ere fastgjorte saaledes, at de ikke kunne forskydes den ene Vej (tilvenstre i Figuren), og man udmaaler nøjagtig Afstanden l imellem de to Kikkertakser. Derpaa ombyttes Isen i det midterste Kar med Vand eller Olie, som ved Hjælp af Lamper opvarmes til en bestemt Varmegrad; herved forskydes Opstanderen med Objektivet ved B' (tilhøjre), men naar Stangen holder op med at udvide sig, bringer man ved Hjælp af en Mikrometerskrue denne Opstander tilbage paa sin tidligere Plads, d. e. saaledes at man atter i Kikkerten tilhøjre ser Traadkorsene over Et. Denne Forskydning er altsaa Stangens Udvidelse; ved at dividere Udvidelsen med Gradeantallet t , hvortil Stangen var opvarmet, og med Længden l faas Udvidelseskoefficienten.

For samme Metal finder man ikke altid nøjagtig den samme Udvidelseskoefficient; denne kan variere lidt med den Behandling, Metallet har været underkastet, pludselige Opvarmninger eller Afkølinger etc.

Metallegeringer have en Udvidelseskoefficient, der er bestemt ved Legeringens Sammensætning og Bestanddelenes Udvidelseskoefficient, idet et Metal ikke forandrer sin Udvidelseskoefficient, naar det indgaar i en Legering. Har man altsaa en Legering, hvis Bestanddele indgaa med Rumfangene $v_1, v_2 \dots$, og disse Bestanddele have de respektive Udvidelseskoefficienter $\alpha_1, \alpha_2 \dots$, saa er Legeringens Udvidelseskoefficient

$$\alpha = \frac{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \dots}{v_1 + v_2 + \dots}.$$

Man har fundet følgende Værdier af den lineære Middel-Udvidelseskoefficient imellem 0° og 100° :

Fransk Glas, Rør	0,00000714	Guld	0,00001451
Svensk do., do.	0,00000788	Kobber	0,00001698
do. do., Kugle	0,00000814	Messing	0,00001879
Hvidt do., Rør	0,00000883	Sølv	0,00001935
Platin	0,00001228	Tin	0,00002270
Jærn	0,00001228	Zink	0,00002905
Staal, hærdet	0,00001362	Bly	0,00002948.

9. Maaling af Vædskers Udvidelse ved Opvarmning er lidt mere sammensat end Maaling af faste Legemers Udvidelse, fordi Vædsken maa indesluttet i en Beholder, til hvis Rumforandring der maa tages Hensyn. Den Udvidelse af en Vædske, man kommer til at se, er kun Vædskens tilsyneladende Udvidelse; vil man kende Vædskens sande Udvidelse, maa man til den tilsyneladende Udvidelse addere Udvidelsen af den Del af Beholderen, som Vædsken udfylder efter Opvarmningen. Men da nu en Beholders Udvidelse lettest findes ved Hjælp af den bekendte Udvidelse af en Vædske, saa maa man altsaa først have en Metode, ved hvilken en Vædskes Udvidelse kan bestemmes uafhængig af den Udvidelse, som Beholderen undergaar. En saadan Bestemmelse er gjort for Kviksølvs Vedkommende og ved følgende Metode (Dulong og Pétit, Regnault).

To lange, lodrette, snævre Glasrør ere forneden forbundne ved en snæver vandret Kanal og have foroven Udvidelser, i hvilke Overfladerne af det Kviksølv staa, hvormed Rørene fyldes; herved undgaas Haarrørsvirkningen. Det ene Rør omgives med et Metalkar, hvori der er stødt Is, og som har et lille Rør med en Hane forneden, saa at man kan lade det ved Isens Smeltning dannede Vand løbe ud; det andet Rør er omgivet med et Metalkar, hvori der er Olie, som ved Hjælp af en Ovn holdes opvarmet til en vis Temperatur t^0 , hvilken bestemmes ved Hjælp af et Luftthermometer. De to Kviksølvoverflader, som vilde stille sig i samme Højde, dersom begge Rør havde haft samme Temperatur, ville nu stille sig i forskellige Højder, thi de to Kviksølvsøjler have forskellig Temperatur og dermed forskellig Vægtfylde. Kaldes de to Kviksølvhøjder h_0 og h_t , Kviksølvets Vægtfylde d_0 ved 0^0 og d_t ved t^0 , har man ifølge Loven for forbundne Kar

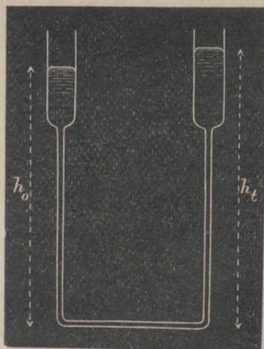


Fig. 8.

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{d_0}{d_t} = 1 + \alpha t \text{ (jfr. 6),}$$

og altsaa

$$\alpha = \frac{h_t \div h_0}{t h_0}.$$

Højderne h_0 og h_t regnes fra Aksen af den snævre Kanal op til de to Overflader.

Paa denne Maade har man fundet for Temperaturer, der ligge under 100° , $\alpha = \frac{1}{55550}$.

10. Andre Vædskers Udvidelse kan nu bestemmes paa forskellig Maade.

a. Ved Dilatometret. Dette har Form som et almindeligt Thermometerrør, hvis Gren er kalibreret og inddelt i et vist Antal ligestore Dele. Rumfanget ved 0° af selve Beholderen og af Rørstykket imellem to paa hinanden følgende Inddelinger være henholdsvis V_0 og v_0 ; disse skulle først findes. Man fylder i den Anledning Apparatet med Kviksølv ved 0° indtil en vis Delingsstreg, f. Eks. den n 'te, og vejer det Kviksølv, som er bragt derind; Vægten deraf være p Gram. Derefter bestemmer man Vægten (p_1 Gram) af det Kviksølv, som ved 0° fylder Apparatet til f. Eks. den n_1 'te Delingsstreg. Idet Kviksølvets Vægtfylde ved 0° er d , har man altsaa

$$V_0 + n v_0 = \frac{p}{d},$$

$$V_0 + n_1 v_0 = \frac{p_1}{d},$$

naar V_0 og v_0 maales i Kubikcentimeter; af disse Ligninger findes V_0 og v_0 .

Man skal dernæst finde Apparatets Udvidelseskoefficient β ved Hjælp af Kviksølvets bekendte Udvidelseskoefficient (α). Dette sker derved, at man fylder Apparatet ved 0° med Kviksølv, f. Eks. til den r 'te Delingsstreg; Kviksølvet indtager da Rumfanget $V_0 + r v_0$, og dette Kviksølv maa altsaa opvarmet til t° faa et Rumfang $(V_0 + r v_0)(1 + \alpha t)$. Opvarmes nu Apparatet til t° , vil Kviksølvet stige f. Eks. til den q 'de Delingsstreg; havde nu Apparatet ikke udvidet sig, vilde Kviksølvets Rumfang være lig det aflæste Rumfang

$V_0 + qv_0$; men da Beholderen har udvidet sig, er Rumfanget i Virkeligheden lig $(V_0 + qv_0)(1 + \beta t)$, og man har altsaa

$$(V_0 + rv_0)(1 + \alpha t) = (V_0 + qv_0)(1 + \beta t),$$

hvoraf β findes.

Derpaa gaar man frem paa lignende Maade med den Vædske, hvis Udvidelse søges; man faar en Ligning af samme Form som den nys opskrevne, hvor α betegner den søgte Udvidelseskoefficient; naturligvis have p og q i Reglen andre Værdier. Ligningen tjener nu til Bestemmelse af α .

b. Ved Vægtthermometret. Dette bestaar af en Beholder, som er forsynet med et bøjet Rør med en nedad vendende Munding, der er trukket ud i en Spids (Fig. 9).

Først skal Apparatets Udvidelseskoefficient bestemmes. Man fylder da Apparatet med Kviksølv, saa at dette netop naar til Spidsen, naar Temperaturen er 0° ; denne Fyldning gaar for sig paa den Maade, at Beholderen først opvarmes, og derpaa afkøles den, medens Munden er under Kviksølv; der kommer da en Del Kviksølv over i Beholderen; det bringes her i Kog, indtil al Luft er uddreven, og medens Munden atter er under Kviksølv, afkøles Beholderen til 0° , og den fyldes derved helt med Kviksølv. Vægten P af det Kviksølv, som rummes i Beholderen ved 0° bestemmes. — Derpaa opvarmes Apparatet til en bestemt Temperatur, t° ; der løber da noget Kviksølv ud, og dettes Vægt P_1 findes. Betegner nu v_0 Beholderens ubekendte Rumfang ved 0° , saa se vi, at P er Vægten af det Kviksølv, som ved 0° har Rumfanget v_0 og altsaa ved t° har Rumfanget $v_0(1 + \alpha t)$, hvor α er Kviksølvets Udvidelseskoefficient; endvidere er $P - P_1$ Vægten af det Kviksølv, som ved t° har Rumfanget $v_0(1 + \beta t)$, hvor β er Apparatets Udvidelseskoefficient, og man har derfor

$$\frac{P}{P - P_1} = \frac{v_0(1 + \alpha t)}{v_0(1 + \beta t)} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t};$$

af denne Ligning findes β .



Fig. 9.

Skal man nu finde en anden Vædskes Udvidelseskoefficient, gaar man frem paa samme Maade og faar altsaa en lignende Ligning, der tjener til at finde α .

Apparatet vil ogsaa, som det let ses, kunne anvendes som Thermometer, hvorfra Navnet hidrører; naar nemlig Størrelserne α og β en Gang ere bestemte, kan man benytte Ligningen til at finde Størrelsen t , idet Forsøget altsaa bestaar i at bestemme Vægten P_1 af det Kviksølv, som løber ud, naar Apparatet fra at være underkastet Temperaturen 0° bringes hen i det Rum, hvis Temperatur man vil finde.

Faste Legemers Rumudvidelse kan bestemmes ved den her nævnte Fremgangsmaade, idet Vægtthermometret forfærdiges af det Stof, hvis Udvidelse man vil finde (jfr. Slutningen af 7).

11. Vand viser et særligt Forhold, idet det har sit mindste Rumfang og altsaa sin største Vægtfylde ved 4° ; Vand ved 4° vil derfor udvide sig, ligesaa vel naar det afkøles, som naar det opvarmes. Man kan undersøge dette paa følgende Maade: et lukket, cylindrisk Kar (Fig. 10), der er fyldt med Vand ved en halv Snes Grader, og i hvilket der er indsat 4 Thermometre (1, 2, 3, 4) i forskellig Højde,

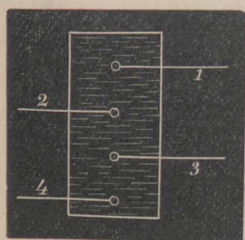


Fig. 10.

hænges ud i kold Luft. Vandet vil da blive afkølet udefra paa alle Sider, og da Vanddelene ved en saadan Afkøling faa en større Vægtfylde, vil der ude ved Karvæggen gaa en Strøm af koldere Vand nedefter, medens de endnu ikke afkølede Vanddele søge tilvejs; deraf følger, at de øverste Thermometre ville vise en højere Temperatur end de nederste, idet altsaa 1 afkøles langsomt, 4 hurtigst. Men naar 4 har naaet en Temperatur af 4° , bliver det i nogen Tid staaende herved; lidt senere har 3 naaet de 4° o. s. v.; sidst naar 1 denne Temperatur. Derefter afkøles 1 hurtigere end 2, denne atter hurtigere end 3 o. s. v., saa at det er aabenbart, at der nu er kommen en Strøm i Gang, hvorved de koldeste Vanddele søge tilvejs, og Vanddelene maa altsaa ved Afkøling være blevne lettere. Den Temperatur paa meget nær 4° , da der ingen Strømninger

var i Vandet, er derfor den, ved hvilken Vandet har sin største Vægtfylde.

Saltopløsninger i Vand have ogsaa en Temperatur, ved hvilken de have størst Vægtfylde; denne Temperatur er lavere end 4° og desto lavere, jo flere pCt. Saltmængden udgør.

12. Luftarternes Tilstandsligning. For en ideel Luftart gælder nøjagtig Mariottes Lov, der udtaler, at en Luftmasses Rumfang staar i omvendt Forhold til det Tryk, den er underkastet, forudsat at Temperaturen holder sig uforandret. Opvarmes Luften, saa gælder Udvidelsesloven (den saakaldte Gay-Lussac's Lov)

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t), \quad (1)$$

forudsat at Trykket holder sig uforandret.

Vi kunne nu let kombinere disse to Love. Vi betragte en Luftmasse, som

ved 0° har Rumfanget v og Trykket p ,

- t° - - - V - - - P .

Ved t° og Trykket p vilde Luftmassen have et Rumfang $v(1 + \alpha t)$, hvor α er Luftens Udvidelseskoefficient; derpaa kan man anvende Mariottes Lov og faar altsaa

$$\frac{v(1 + \alpha t)}{V} = \frac{p}{P}$$

eller

$$p v (1 + \alpha t) = P V. \quad (2)$$

Denne Ligning er altsaa almenlydig.

Dersom $V = v$, faar man

$$P = p (1 + \alpha t), \quad (3)$$

hvoraf man lærer, at naar Rumfanget holdes konstant under Opvarmningen, vil Trykket vokse paa samme Maade, som Rumfanget vokser, naar Trykket holdes konstant under Opvarmningen.

Som før nævnt har man fundet $\alpha = \frac{1}{273}$. Ligning (1) vil da give $v_t = 0$, naar $t = \div 273$, og Ligning (3) vil give $P = 0$, naar $t = \div 273^{\circ}$. Dette vil altsaa sige, at naar man afkøler en Luftmasse under konstant Tryk, saa vilde den faa et Rumfang lig Nul, naar den blev afkølet til $\div 273^{\circ}$; eller naar man afkølede en Luftmasse, medens man holdt dens Rum-

fang konstant, saa vilde Luften ved $\div 273^{\circ}$ udøve et Tryk lig Nul. Denne Temperatur, $\div 273^{\circ}$, kaldes derfor Temperaturens absolute Nulpunkt; en Temperatur t° C. er da i absolut Temperatur $273 + t$ Grader, Frysepunktet har den absolute Temperatur 273° , Kogepunktet 373° .

Omstaaende Ligning (2) kunne vi nu omskrive til

$$pv \frac{1}{273} (273 + t) = PV$$

eller

$$\frac{pv}{273} = \frac{PV}{273 + t};$$

denne Ligning lærer os, at for en vis Luftmasse staar Produktet af Tryk og Rumfang i ligefremt Forhold til den absolute Temperatur; Ligningen kaldes Luftens Tilstandsligning.

Denne Tilstandsligning og de Betragtninger, som ere fremsatte, gælde dog kun som nævnt for en ideel Luftart. I Virkeligheden gælder Mariottes Lov ikke nøjagtig, og α , som skulde være uafhængig af Trykket (Humphrey Davy) og Temperaturen, er det ikke ganske. De Luftarter, som afvige forholdsvis betydelig fra Mariottes Lov, afvige ogsaa mest fra Gay-Lussac's Lov, og det saaledes, at deres Udvidelseskoefficienter ere større end den ovenfor angivne Værdi, men dog formindskes ved højere Temperaturer, saa at de nærme sig denne Værdi (dette sker altsaa samtidig med, at de nærme sig til at følge Mariottes Lov). Hvad Trykket angaar, saa er Forholdet det, at Udvidelseskoefficienten vokser noget med Trykket, mindst for de Luftarter, som bedst følge Mariottes Lov.

13. Gay-Lussac har først (1802) bestemt Luftens Udvidelseskoefficient, og Udvidelsesloven har derfor faaet Navn efter ham. Han benyttede et Dilatometer (10 a), som holdtes vandret, og i hvilket han ved Hjælp af en lille Kviksølvprop afspærrede noget Luft, som først maa være tørret godt. Apparatet omgives med stødt Is, og Proppens Stilling i Røret iagttages, naar den er kommen i Ro; derved faar man den indespærrede Lufts Rumfang ved 0° : $V_0 + nv_0$, hvor V_0 er selve Beholderens Rumfang, v_0 Rumfanget af Rørstykket imellem to Inddelinger og n Antallet af Inddelinger, som tælles

fra Beholderen ud til Kviksølvdraaben. Derefter anbringes Apparatet i varmere Omgivelser, f. Eks. Dampe fra kogende Vand, og man ser, at Draaben flytter sig ud i Røret, f. Eks. til den p 'de Delingsstreg; Luftens Rumfang ved den Temperatur t^0 , hvortil den nu er opvarmet, er da $V_0 + p v_0$, naar der intet Hensyn tages til Glassets Udvidelse, og man har altsaa

$$V_0 + p v_0 = (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t),$$

af hvilken Ligning α findes.

Det er her forudsat, at Lufttrykket ikke har forandret sig under Forsøget; dersom det derimod har forandret sig, f. Eks. saaledes at det var H , da Rumfanget ved 0^0 blev aflæst, og H_1 , da Rumfanget ved t^0 blev aflæst, saa har man til Bestemmelse af α Ligningen (jfr. 12 (2))

$$H_1 (V_0 + p v_0) = H (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t).$$

Vilde man tage Hensyn til Glassets Udvidelse, vilde Ligningen være

$$H_1 (V_0 + p v_0) (1 + \beta t) = H (V_0 + n v_0) (1 + \alpha t),$$

hvor β er Glassets Rum-Udvidelseskoefficient.

14. En anden Fremgangsmaade (Rudberg, Regnault, Magnus, Jolly o. fl.) er i Principet følgende: Man benytter et Apparat som det, der er afbildet i hosstaaende Figur; det bestaar af to lodrette, med hinanden forbundne Rør, hvoraf det ene er aabent, det andet lukket og udblæst til en Beholder B ; forneden paa Apparatet er der et med en Hane M forsynet Udløbsrør.

Man hælder nu Kviksølv ned i det lange Rør og afspærrer derved noget Luft i Apparatet; denne Luft maa være tørret iforvejen. Derpaa omgives B med en Blanding af Is og Vand, hvorved den antager Temperaturen 0^0 ; Luften i B trækker sig sammen, og Kviksølv søjlen, der afspærrer den, forskydes derved noget, saa at den f. Eks. stiller sig ved a og b ; Luftmassen er da underkastet et Tryk, som er bestemt ved en Kviksølv søjle $H - h$, hvor H er Barometerstanden, og h den lodrette Afstand imellem a og b . Derpaa borttages Blandingen af Is og Vand og ombyttes med varmere

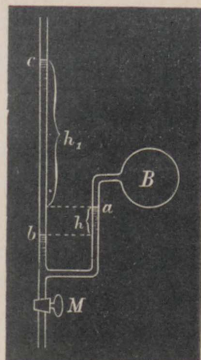


Fig. 11.

Omgivelser ved f. Eks. t^0 (bedst Damp af Vand, der koger ved normalt Lufttryk); ved denne Opvarmning til t^0 vil Luften udvide sig, og Kviksølvet vil synke ned under a , stige over b , men man hælder da mere Kviksølv ned igen- nem det aabne Rør, saa at Kviksølvet atter, naar de t Grader ere naaede, staar ved a i det lukkede Rør; det kan da staa f. Eks. ved c i det aabne Rør, og man aflæser den lodrette Afstand h_1 imellem c og a . Luften er altsaa nu underkastet Trykket $H_1 + h_1$, naar den øjeblikkelige Barometerstand er H_1 , og har samme Rumfang, som den havde ved 0^0 , naar man bortser fra Apparatets Udvidelse; man har altsaa (jfr. 12 (3))

$$H_1 + h_1 = (H - h)(1 + \alpha t),$$

hvoraf α findes.

Vilde man tage Hensyn til Apparatets Udvidelse, maatte Ligningen blive $(H_1 + h_1)(1 + \beta t) = (H - h)(1 + \alpha t)$.

Denne Fremgangsmaade kan kaldes »Metoden med konstant Rumfang«, men Apparatet kan ogsaa bruges til en »Methode med konstant Tryk«. Kun maa man i saa Tilfælde iforvejen have fundet Rumfanget V af Beholderen og et Rørstykke, f. Eks. ud til m (Fig. 12), og derfra have Inddelinger nedefter, hvis tilhørende Rumfang v ligeledes vare bestemte forud. Man begynder da paa samme Maade som ovenfor med at afkøle den indesluttede Luft til 0^0 og iagttage Stillingen a og b af Kviksølvoverfladerne; dersom a befinder sig ved den n 'te Delingsstreg, regnet fra m nedefter, saa er Luftmassens Rumfang $V + nv$ og dens Tryk $H - h$, hvor H og h have samme Betydning som ovenfor. Derpaa opvarmes Beholderen til t^0 , hvorved Kviksølvet synker i det lukkede og stiger i det aabne Rør; men man aabner saa Hanen M og lader Kviksølvet løbe ud, hvilket sker raskere fra det aabne end fra det lukkede Rør, og man lader det løbe ud, indtil Kviksølvoverfladen i det lukkede Rør atter staar h højere end i det aabne

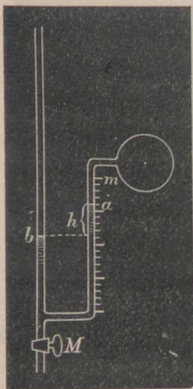


Fig. 12.

Rør. Luften er saa underkastet det samme Tryk som før, men har et større Rumfang; dersom Kviksølvoverfladen i det

lukkede Rør staar ved den p 'de Delingsstreg, regnet fra m nedefter, saa er Luftens Rumfang nu $V + pv$, og man har

$$V + pv = (V + nv)(1 + \alpha t),$$

forudsat at Atmosfærens Tryk har holdt sig uforandret; har dette derimod forandret sig, saa skal ogsaa Højdeforskellen imellem Kviksølvoverfladerne undergaa den samme Forandring, for at Trykket skal være det samme som før.

I Virkeligheden ere de her nævnte Forsøg, naar de skulle give de mest paalidelige Resultater, meget indviklede og kræve et stort Antal Korrektioner; dette forbigaaes dog her. Det er navnlig Regnault, der her som andetsteds udmærker sig ved stor Nøjagtighed i Metoden.

15. Regnault har ogsaa anstillet følgende Forsøg til Bestemmelse af Luftens Udvidelseskoefficient. Han benytter en Glasbeholder, der har Form som et Vægtthermometer, og finder Vægten P af det Kviksølv, som ved 0° fylder Beholderen. Beholderen, som indeholder Luft, omgives derefter af Damp fra kogende Vand, Luften udpumpes og indlades igen efter at være tørret ved at strømme igennem Rør med vandsugende Stoffer, og naar Luften i Beholderen derefter har sat sig i Ligevægt med Luften udenfor, hvis Tryk vi ville kalde H , tilsmelter man den fine Spids af Rørmundingen. Temperaturen, hvortil Apparatet blev opvarmet, være t° .

Man befæster derefter Beholderen i omvendt Stilling i et Stativ paa den Maade, Fig.

13 viser: Metalringen QQ' bærer 3 Opstandere P , P' og P'' , hvorpaa Pladen EE' hviler; denne Plade har i Midten et Hul, hvori Beholderens Rør stikkes ned, og omkring hvilket Røret støttes af 3 Metalstifter; foroven støttes det af Skruen V . Der stilles nu en Skaal med Kviksølv ind under Pladen EE' ,

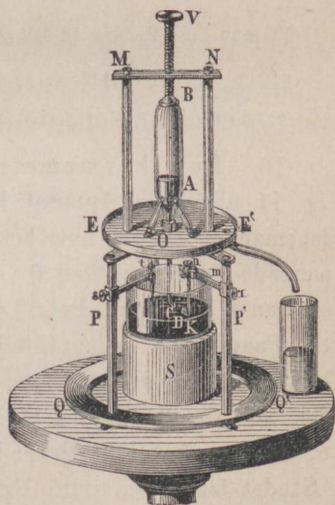


Fig. 13.

saaledes at Beholderens Rør gaar lidt ned i Kviksølv; Beholderen omgives foroven med stødt Is, og med en lille Tang bryder man Rørspidsen af. Luften i Beholderen vil da trække sig sammen, og der vil træde noget Kviksølv op deri; naar dette er sket, skydes der en lille Ske med Voks hen til Rørmundingen, som derved lukkes med lidt Voks. Efterat man har maalt Barometerstanden H_1 og det Stykke h , som Kviksølv i Beholderen staar højere end Kviksølv i Skaalen, udtages Beholderen af Stativet, og Vægten P_1 af det Kviksølv, som var trængt ind, bestemmes.

Den Luft, som er i Beholderen, har altsaa ved 0° og et Tryk af $H_1 - h$ Rumfanget $\frac{P - P_1}{d}$, hvor d er Kviksølvs Vægtfylde ved 0° , og den har ved t° og et Tryk af H Rumfanget $\frac{P}{d}$; man har altsaa (jfr. 12 (2))

$$H \cdot \frac{P}{d} = (H_1 - h) \frac{P - P_1}{d} (1 + \alpha t).$$

Vil man tage Hensyn til Beholderens Rumforandring, faar man

$$H \frac{P}{d} (1 + \beta t) = (H_1 - h) \frac{P - P_1}{d} (1 + \alpha t),$$

naar β er Glassets Rum-Udvidelseskoefficient.

16. Luftthermometret. Det i 14 først omtalte og i Fig. 11 afbildede Apparat kan bruges som Luftthermometer, idet man — efterat have bestemt Trykket, som den ved a afspærrede Luftmasse ved 0° er underkastet — fører Beholderen hen i det Rum, hvis Temperatur man vil maale, og saa ved Paagyldning (eller Udtapning) af Kviksølv atter bringer Kviksølv til at staa ved Mærket a i den lukkede Gren. Man faar da en Ligning af den angivne Form, hvilken Ligning nu, da a er bekendt, tjener til Bestemmelse af Temperaturen t . I Stedet for at forandre Mængden af det i Apparatet indeholdte Kviksølv, kan man ogsaa indrette sig paa den Maade, at Kviksølvsmængden bliver uforandret; Apparatet omdannes da saaledes, at de to lodrette Grene, den lukkede med Beholderen og den aabne, ere forbundne forneden ved et langt Kautschukrør, og Apparatet befæstes til en lodret Bjælke; paa denne Bjælke er der en Maalestok, hvis Udgangspunkt er ved a , og det søgte Tryk findes da ved at flytte den aabne Gren, der er an-

bragt paa en Slæde, som kan skydes op og ned, hen til en saadan Stilling, at Kviksølvet i den lukkede Gren kommer til at staa ved a .

17. Luftarters Vægtfylde. En Luftarts Vægtfylde varierer med Trykket og Temperaturen; naar man derfor vil sammenligne Luftarters Vægtfylder, maa de reduceres til samme Tryk og Temperatur. Naar Værdien af en Luftarts Vægtfylde er angivet, og der intet andet er nævnt, underforstaas der altid: ved 0° og et Tryk af 760^{mm} .

Lad os antage, at d_0 er Luftartens Vægtfylde ved 0° og et Tryk af 760^{mm} . Forandres nu Trykket til H^{mm} , medens Temperaturen vedblivende holdes paa 0° , faar Luften en Vægtfylde d_1 , bestemt af

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{H}{760}, \text{ altsaa } d_1 = \frac{d_0 H}{760}.$$

Holdes dernæst Trykket vedblivende paa H^{mm} , og Luftarten opvarmes til t° , faar den en Vægtfylde (6)

$$d_2 = \frac{d_1}{1 + \alpha t} = \frac{d_0 H}{760 (1 + \alpha t)}.$$

Har man omvendt ved Forsøg fundet en Luftarts Vægtfylde d_2 ved H^{mm} 's Tryk og t° , saa findes Vægtfylden ved 0° og Normaltryk at være

$$d_0 = d_2 \frac{760 (1 + \alpha t)}{H}.$$

V Kubikcentimeter af Luftarten ved t° og et Tryk af H^{mm} vejer

$$\frac{V d_0 H}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram.}$$

Dulong og Pétit og derefter Regnault o. fl. have bestemt d_0 for den atmosfæriske Luft og en Mængde andre Luftarter. Regnault fandt for atmosfærisk Luft $d_0 = 0,001293$ ($= \frac{1}{773}$) under Paris's Breddegrad. 1 Kubikcentimeter atm. Luft vejer altsaa under disse Forhold $0,001293$ Gram; 1 Kubikfod atm. Luft vejer $\frac{61,83}{773} \mathcal{H} = \text{c. } 8 \text{ Kvint.}$

Ofte angives en Luftarts Vægtfylde i Forhold til den atmosfæriske Lufts eller Brints Vægtfylde ved samme Tryk og samme Temperatur; denne relative Vægtfylde bliver

uafhængig af Tryk og Temperatur, da Luftarterne forholde sig paa samme Maade overfor Tryk- og Temperaturforandringer.

Er en Luftarts relative Vægtfylde e , bestemt i Forhold til den atmosfæriske Luft, saa vil V Kubikcentimeter af denne Luftart ved en Temperatur af t° og et Tryk af H^{mm} veje

$$\frac{0,001293 e V H}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram.}$$

18. Overalt hvor man har med nøjagtige Maalinger af Længder, Flader og Volumina at gøre, maa man tage Hensyn til Temperaturen; kun naar alle Maal ere henførte til samme Temperatur — hertil vælges i Reglen 0° — kunne Angivelserne sammenlignes. — Har man saaledes udmaalt Længden af en Stang og fundet den at være l , saa maa man foretage en Korrektion, hvis Temperaturen ikke er 0° . Vi ville antage, at Maalestocken er inddelt ved 0° ; dersom Temperaturen nu var t° under Maalingen, saa er hver Enhed paa Maalestocken i Virkeligheden $1 + \beta t$ Enheder, naar β er Maalestockens Udvidelseskoefficient, og Stangens Længde ved denne Temperatur er derfor i Virkeligheden $l (1 + \beta t)$; ved 0° vil Stangens Længde altsaa være $\frac{l(1 + \beta t)}{1 + \alpha t} = l [1 + (\beta - \alpha) t]$, naar Stangens Udvidelseskoefficient er α .

En saadan Korrektion maa altid udføres ved nøjagtige Barometermaalinger; i den nys nævnte Formel betyder α da Kviksølvets Udvidelseskoefficient.

19. Naar man lodder eller nitter to Metalstrimler sammen Side om Side, vil den saaledes samlede Strimmel bøje sig ved en Temperaturforandring; opvarmes den, vil det Metal, der udvider sig stærkest, komme yderst (paa den konvexe Side); afkøles den, sker det omvendte.

En tyk Glasflaske springer lettere ved Opvarmning end en tynd, thi Varmen gaar forholdsvis langsomt frem i Glas, og da nogle Dele af Glasset paa den Maade udvides stærkere end andre, opstaar der en Spænding i Glasset, som let kan frembringe dets Sprængning.

Sidder en Glasprop fast i en Glasflaske, kan man lettere faa den løs, naar man opvarmer Flaskehalsen et Øjeblik; ved

længere Tids Opvarmning vilde Varmen ogsaa trænge ind til Proppen og udvide den. — Skal en Jærnring lægges om et Vognhjul, laver man den lidt for lille; derefter opvarmes den saa stærkt, at den kan gaa omkring Hjulet, og naar den derpaa afkøles, slutter den tæt om Hjulet. — To Jærnbane-skiner, der ligge i hinandens Forlængelse, have et lidt større Rum imellem sig om Vinteren end om Sommeren.

Naar et Urpendul opvarmes, bliver det længere, og Uret kommer altsaa til at gaa langsommere, og omvendt. Derfor har man indrettet Kompensationspenduler, hvor Varmens Indflydelse er ophævet. I almindelige Ure er Kompensationen tilstrækkelig, naar Pendulstangen bestaar af godt tørret Træ, som er ferniseret, og denne Stang forneden gaar igennem en Metallinse, som hviler paa en paa Stangen anbragt Møtrik. Man kan da indrette det saa, at Stangens ringe Udvidelse ved Opvarmning vil sænke Svingningernes Midtpunkt omtrent ligesaa meget, som Metallinsens Udvidelse vil hæve det. Der- som denne Kompensation ikke er tilstrækkelig, maa man benytte mere sammensatte Kompensationspenduler. Fig. 14 viser et saadant: Ristpendulet. I Midten er der en Staalstang S , i hvis øverste Ende Pendulet har sin Ophængning; S bærer forneden Tværstykket aa , hvori Zinkstængerne Z ere befæstede, og disse bære foroven Tværstykket bb , som har et Hul i Midten, saa at S kan gaa frit igennem; bb bærer Staalstængerne S_1 , hvortil Tværstykket cc er fæstet forneden, og paa cc sidder Pendullinsen L , hvilende paa en Møtrik, hvorved Linsen kan hæves eller sænkes. Naar Pendulet nu bliver varmere, vil S 's og S_1 's Udvidelse nedad sænke Svingningernes Midtpunkt, men Z 's Udvidelse opad vil hæve det; ved altsaa at give Staal- og Zinkstængerne Længder, der ere afpassede efter deres Udvidelseskoefficienter, kan man faa Svingningernes Midtpunkt til at beholde sin Plads, saa at Svingningstiden forbliver uforandret.

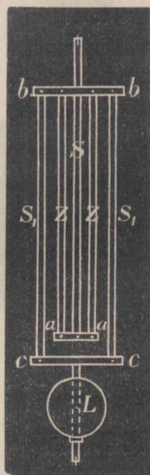


Fig. 14.



Fig. 15.

Det samme opnaar man ogsaa ved det i Fig. 15 afbildede Kompensationspendul, der bestaar af en Metalstang *S*, som i en Ramme *R* forneden bærer en Beholder *K* med Kviksølv. Ved Opvarmning vil *S* udvide sig nedefter, Kviksølvet opefter, og afpasses Kviksølv-mængden efter Stangens Længde, kan man faa Svingningernes Midtpunkt til at blive paa sin Plads.

Ogsaa i Kronometre kan man kompensere Varmens Indflydelse. Regulatoren er her den saakaldte Uro, som regulerer ved sine Svingninger; den kan bygges saaledes, at Ringen bestaar af to adskilte Dele, hver paa sin Ende af en Diameter (Fig. 16), men begge de to Ringstykker ere dannede af to Metaller, hvoraf det er yderst, som har størst Udvidelseskoefficient. Sker der nu en Opvarmning, ville Ringstykkerne rykke ud fra Aksen, hvilket vil fremkalde langsommere Svingninger, men deres Ender ville tillige bøjes indad, og dette vil atter gøre Svingningen hurtigere, saa at en Kompensation let kan opnaas.

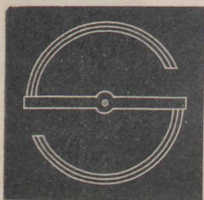


Fig. 16.

20. Strømninger i Vædske og Luftarter. Naar et Legeme udvider sig ved Opvarmning, bliver dets Vægtfylde i samme Forhold mindre, som Rumfanget bliver større; en ulige Opvarmning af en Vædske eller en Luftart vil af den Grund i Reglen fremkalde Strømninger, idet de lettere Dele søge tilvejs, medens de mere vægtfyldige Dele søge nedad.

Opvarmer man saaledes Vædsken i et Kar ved et under Bunden anbragt Blus, ville de først opvarmede Vædske dele stige tilvejs, og de koldere Dele strømme da til fra Siden og blive opvarmede; de varme Dele, som stige tilvejs, komme i Berøring med koldere Dele og afgive Varme til disse, hvorved de selv afkøles. Der kommer altsaa en opadgaaende Strøm i Midten og en nedadgaaende ved Karrets Sider; ved denne stadige Blanding af varme og kolde Vædske dele opvarmes Vædsken langt hurtigere, end hvis der ingen Strømninger foregik.

For Vands Vedkommende maa det dog bemærkes, at dersom man vil fremkalde Strømninger i Vand, hvis Temperatur er under 4° , maa det opvarmes fraoven; Vædskedelene ved Overfladen ville da ved Opvarmningen trække sig sammen og synke, medens koldere og derved lettere Dele ville stige tilvejs; men saa snart Vandet er blevet 4° varmt, ophøre Strømningerne, og Varmen kan saa kun forplante sig nedefter ved Ledning, hvilket sker langsomt, da Vand er en daarlig Varmeleder. — Naar Vandet i Søer afkøles, hvilket jo sker fraoven, kommer der Strømninger i Gang, som vedblive, indtil Vandet er blevet 4 Grader varmt; en Afkøling under denne Temperatur foraarsager ingen Strømninger, saa at der kan ligge et tykt Isdække paa Overfladen, medens Bundvandet er meget nær 4° .

Opvarmes en Stue af en Kakkelovn, gaar der en Strøm af varm Luft langs Loftet henimod Vinduerne og en koldere Luftstrøm langs Gulvet henimod Ovn; dette kan let iagttages, naar man holder et Lys oppe under Loftet og nede ved Gulvet. — Naar et varmt, i begge Ender aabent Rør holdes lodret, gaar der en opadstigende Luftstrøm igennem det, hvilket ligger i, at Lufttrykket ved den nederste Ende af Røret er mindre inde i dette end udenfor paa Grund af den varme Luftsøjles mindre Vægtfylde (Lampegas, Skorstene). — Vinde.

II. Thermometre.

21. I det foregaaende er omtalt Luftthermometret og Kviksølvthermometret. Af disse to er som udviklet det første det nøjagtigste, men Brugen af det indviklet; ved Sammenligning af de to Thermometre finder man dog, at de ere meget nær overens stemmende imellem 0° og 100° , men i hvert Fald kan man korrigere Kviksølvthermometrets Angivelser ved Hjælp af en Korrektionstabel.

Medens Kviksølvthermometret højst kan anvendes ved en Temperatur af 357° , saa kan Luftthermometret anvendes ved langt højere Temperaturer; i saa Tilfælde gøres dets Beholder

af Platin eller bedre — da Platinet ved høje Varmegrader er gennemtrængeligt for Luften — af Porcellæn. Luftthermometret er det bedste Pyrometer, med hvilket Navn man betegner de Thermometre, man benytter til Udmaaling af høje Varmegrader.

22. Spiritusthermometret. Til Maaling af lave Temperaturer kan anvendes Spiritusthermometret, der i Indretningen aldeles ligner Kviksølvthermometret, hvilket jo ikke kunde benyttes ved Temperaturer, der gaa under $\div 39^{\circ}$. Spiritusthermometret kan højst bruges ved 78° , thi ved denne Temperatur have Vinaandsdampene en Spænding, der er lig Atmosfærens Tryk. Inddelingerne faar man derfor ved Sammenligning med et godt Kviksølvthermometer, idet de begge anbringes i en Vædske, der først holdes ved een og derefter ved en anden Temperatur; man kan da overføre to Inddelinger fra Kviksølv- til Spiritusthermometret. Dette sidste er ikke saa nøjagtigt som det første.

23. Metalthermometre, d. v. s. Thermometre, der grunde sig paa faste Metaller's Udvidelse. Som et saadant kan det i Fig. 1 afbildede Apparat anvendes, idet Buen da er inddelt i Grader ved Hjælp af et nøjagtigt Thermometer.

Men i Almindelighed benytter man den Formforandring, som en af flere Metaller sammensat Stang lider ved en Temperaturforandring (19). Stangen har da Form af en Kreds, og de Forandringer, denne lider, kunne overføres paa en Viser paa lignende Maade som ved Bourdons Metallic-Barometer. — Breguet's meget følsomme Metalthermometer bestaar af en tynd, i en Skruelinie viklet Metaltraad, sammenloddet af en Sølv-, en Guld- og en Platintraad; Spiralen er ophængt i det ene Endepunkt, og dens nederste Ende forlænger sig ud i en vandret Viser, under hvilken der findes en inddelt Kreds. Ligger Sølvet yderst, Platinet inderst, vil Spiralen trække sig sammen, naar den opvarmes, og udvide sig, naar den afkøles; Viseren vil altsaa vandre hen ad Buen, naar Temperaturen forandres.

24. Maximums- og Minimumsthermometre anvendes til at angive henholdsvis den højeste og den laveste Temperatur, som Thermometret har været udsat for i et vist Tidsrum.

Rutherford har indrettet et Maximums- og et Minimums-thermometer, og i Reglen ere begge befæstede til samme Bræt (Fig. 17). Det første er et vandret Kviksølvthermometer (B), i hvilket der udenfor Kviksølvoverfladen ligger en lille Staalnaal;

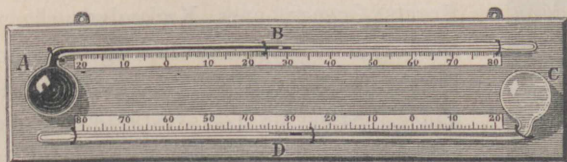


Fig. 17.

det sidste et vandret Vinaandsthermometer (D), i hvilket der indenfor Vinaandsoverfladen ligger en lille Glasnaal med smaa Kugler for Enderne. Fra Begyndelsen af rører Indexen i begge Thermometre ved den respektive Overflade; stiger saa Temperaturen, vil Indexen i Vinaandsthermometret blive liggende, medens Kviksølvet vil skyde sin Index frem foran sig; falder Temperaturen, vil Indexen i Kviksølvthermometret blive liggende, medens Vinaandsoverfladen vil tage sin Index med tilbage, naar den først er i Berøring med den. De to Naales Stillinger i Thermometerrørene ville altsaa angive henholdsvis højest og lavest Temperatur. Naar Forsøget derpaa skal gentages, maa Naalene først bringes hen i Berøring med deres respektive Overflader, og dette kan ske, naar Thermometrene hældes paa rette Maade. Sidde de begge paa samme Bræt, skulle deres Beholdere vende modsat Vej; løftes da den Ende af Brættet, hvor Vinaandsbeholderen sidder, ville begge Naale glide hen paa deres Plads.

Paa vore meteorologiske Stationer anvendes som Maximums-thermometer et Kviksølvthermometer, hvor Naalen er erstattet af en kort Kviksølvstreng, der ved lidt Luft er skilt fra det øvrige Kviksølv. Naar Thermometret opvarmes, vil Kviksølvet trykke paa Luften, og dette atter paa Kviksølvstrengen, saa at denne gaar tilvejs; afkøles Thermometret, vil Strengen blive paa sin Plads, saa at Luften altsaa faar et større Rum at indtage; ved et Par Slag paa Thermometret bringes Strengen atter ned til en bestemt Afstand fra det øvrige Kviksølv.

Six og Casella have konstrueret følgende Maximums- og Minimumsthermometer (Fig. 18). Beholderen *A* er forbundet med

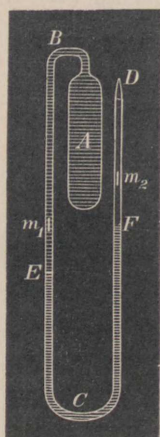


Fig. 18.

det U-formede Rør *BCD*; i *A* og en Del af Røret er der Vinaand, som fortsættes med en Kviksølv søjle *ECF*, der gaar op i begge Rørets Grene; over Kviksølvoverfladerne er der smaa Jærnaale, m_1 og m_2 , som ved Forsøgets Begyndelse røre ved disse Overflader. Stiger nu Temperaturen, vil Vinaanden udvide sig og forskyde Kviksølv søjlen, saaledes at m_2 føres tilvejs, medens m_1 bliver siddende; bliver Thermometret derimod afkølet, vil m_2 blive paa sin Plads, medens m_1 bliver ført tilvejs. Det er altsaa indlysende, at man af m_1 's Stilling kan aflæse den laveste, af m_2 's Stilling den højeste Temperatur, som Thermometret har været udsat for; langs begge

Grene maa der selvfølgelig være Gradeinddelinger. Ved Hjælp af en Magnet føres m_1 og m_2 tilbage til Kviksølvoverfladerne.

Walferdin's Maximumsthermometer (Fig. 19)

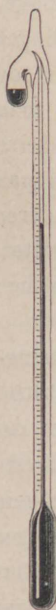


Fig. 19.

ligner et almindeligt Thermometer, men Røret er foroven trukket ud i en spids Aabning, og denne er omgivet af en lille, pæreformig Beholder, der indeholder saa meget Kviksølv, at naar Thermometret vendes om, saaledes at Beholderen er opad, Spidsen da befinder sig i Kviksølv. I denne Stilling opvarmes Thermometret først saa meget, at Kviksølvet i Røret naar ud til Kviksølvet i den pæreformige Beholder; ved Afkøling vil der da følge en Del Kviksølv med, saaledes at Røret holdes helt fyldt dermed, og man afkøler nu til en Temperatur, der er lavere end den, man vil maale. Thermometret vendes derpaa om igen til den oprejste Stilling og anbringes i det Rum, hvis Maximumstemperatur søges. Naar Temperaturen nu stiger, vil der løbe noget Kviksølv ud af Røret og desto mere, jo højere Temperaturen bliver; ved en derpaa følgende Afkøling vil Kviksølvet trække sig sammen, og

Overfladen i Røret synke. Det er altsaa aabenbart, at jo højere Temperatur Kviksølvet har været udsat for, desto lavere vil det bagefter staa i Røret. For nu at finde denne Maximumstemperatur, anbringer man dette Thermometer og et almindeligt Thermometer ved Siden af hinanden i en Vædske, opvarmer denne successive, og i det Øjeblik Kviksølvet i det første Thermometer netop naar op til Spidsen, aflæser man Temperaturen paa det andet Thermometer; man har da fundet den søgte Temperatur.

25. Negretti og Zambra's Vendethermometer ligner i Hovedsagen et almindeligt Thermometer, men lige over Beholderen er Røret indsnævret stærkt, og lige efter denne Indsnævring *A*, kommer der en Udvidelse *B*, formet saaledes som Fig. 20 viser. Naar dette Thermometer vendes om, vil Kviksølvets Sammenhæng være saa lille i Indsnævringen, at det Kviksølv, som var over denne, falder ned i Røret; jo højere Temperaturen altsaa var i det Øjeblik, Vendingen foregik, desto mere Kviksølv faldt der ned. Ved at have Inddelinger paa Røret i den omvendte Orden af den sædvanlige — hvilke Inddelinger naturligvis maa være afsatte ved foreløbige Forsøg — kan man aflæse den Temperatur, der var tilstede, den Gang Thermometret blev vendt, og denne Aflæsning kan ske saa længe efter, det skal være, da senere Temperaturforandringer ikke faa nogen kendelig Indflydelse paa den nedfaldne Kviksølvsojles Længde, fordi Søjlen ikke er i Forbindelse med nogen større Kviksølvmasse. Derimod vil nok Kviksølvet i Beholderen kunne udvide sig, men det Kviksølv, som derved træder ud i Røret, opsamles i Udvidelsen *B*.

Det vil let ses, at Vendethermometret egner sig fortrinlig til Undersøgelse af Temperaturen paa store Havdybder; endvidere til at angive Temperaturen i et vist Øjeblik, uden at man behøver at være tilstede i dette Øjeblik; man kan f. Eks. blot paa en eller anden Maade sætte Thermometret i Forbindelse med et Ur, som vender det rundt i det ønskede Øjeblik. En bekvem Indretning til at vende det er udtænkt af Capt. Run g.

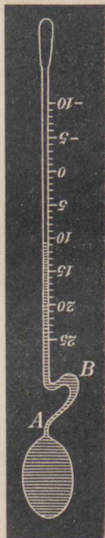


Fig. 20.

26. Differential-Thermometret anvendes til at finde to Steders Temperaturforskel. Leslie's Diff.-Therm.

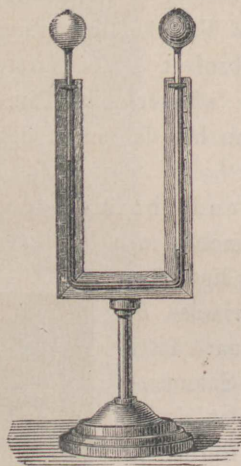


Fig. 21

bestaar af et U-formet Rør, hvis to lodrette Grene ende i kugleformede Beholdere; i Røret er der farvet Svovlsyre, som staar op i begge Grene, og i begge Beholdere er der Luft — saa meget, at de to Vædskeoverflader staa lige højt, naar Beholderne have samme Temperatur; er der derimod Forskel paa Beholdernes Temperaturer, vil Vædsken staa højest paa den kolde Side, og af denne Forskydning aflæses Temperaturen, idet der langs begge Grene er Inddelinger, afsatte ved foreløbige Forsøg. (Disse Forsøg anstilles paa den Maade, at Beholderne omgives med Vand af forskellig Temperatur).

Rumford har gjort Diff.-Therm. mere følsomt ved kun at have en lille Svovlsyreprop i den vandrette Del af Røret, der saa er en Del længere, end den behøver at være i Leslie's Apparat; naar der sker en Forandring med en af Beholdernes Temperatur, vil Draaben straks komme i Bevægelse, og af dens Stilling paa en langs det vandrette Rør anbragt Skala kan den søgte Temperaturdifferens findes.

Til Differentialthermometrene høre endvidere Thermo-Multiplikatoren og Bolometret (jfr. Ellinger: Lærebog i Magnetisme og Elektricitet).

Differential-Thermometrene anvendes navnlig ved Forsøg over Straalevarmen.

III. Varmefylde.

27. Varmeenhed. Naar et Legeme skal opvarmes, maa der tilføres det en vis Mængde Varme; denne Varmemængde afhænger dels af Temperaturstigningen, dels af Legemets Vægt og dels af Legemets Natur.

Varmemængder angives i visse Enheder, Varmeenheder eller Calorier; ved 1 Varmeenhed eller 1 Calorie forstaas den Varmemængde, som maa tilføres 1 Vægtenhed Vand ved 0° , for at dets Temperatur skal stige til 1° ; som Vægtenhed benyttes i Reglen 1 Kilogram eller 1 Gram, her i Bogen 1 Kilogram.

Det lader sig godtgøre, at den Varmemængde, der maa tilføres en vis Vægt Vand for at faa en bestemt Temperaturstigning, meget nær er uafhængig af Vandets oprindelige Temperatur; blandes saaledes 1 Kgm. Vand ved 4° med 1 Kgm. Vand ved 22° , faas 2 Kgm. Vand ved 13° ($= \frac{4 + 22}{2}$), og heraf lærer man, at der medgaar ligesaa megen Varme til at opvarme 1 Kgm. Vand fra 4° til 13° , som der mistes ved dets Afkøling fra 22° til 13° , og som altsaa maatte medgaa til at opvarme det fra 13° til 22° .

Naar altsaa p Kgm. Vand skulle opvarmes fra t° til T° , vil der hertil medgaa $p(T - t)$ Varmeenheder; absolut rigtigt er dette dog ikke, thi saavel for Vand som for andre Legemer gælder det, at jo højere Temperaturen er, desto mere Varme maa der til for yderligere at forhøje den; Afvigelsen er dog ikke stor.

Naar p Kgm. Vand afkøles fra T° til t° , mister Vandet $p(T - t)$ Varmeenheder.

Naar p Kgm. Vand ved t° og p_1 Kgm. Vand ved t_1° blandes, siges Blandingen at indeholde $pt + p_1t_1$ Varmeenheder, og Blandingstemperaturen bliver $\frac{pt + p_1t_1}{p + p_1}$.

28. Varmefylde. Ved et Legemes Varmefylde eller Varmekapacitet forstaas den Varmemængde, der kræves til at opvarme 1 Vægtenhed af Legemet 1° .

Jærns Varmefylde er $\frac{1}{9}$, og dette vil altsaa sige, at der skal $\frac{1}{9}$ Varmerenhed til for at opvarme 1 Kgm. Jern 1 Grad.

Er et Legemes Varmefylde c , skal der for at opvarme p Kgm. af Legemet fra t^0 til T^0 anvendes $pc (T - t)$ Varmerenheder. Naar omvendt p Kgm. af Legemet afkøles fra T^0 til t^0 , mister det ligesaa megen Varme.

Legemernes Varmefylde bestemmes ved Issmeltnings- og ved Blandingsmetoden. De Apparater, ved hvilke man maaler Varmemængder, og som altsaa skulle anvendes her, kaldes Kalorimetre.

29. Issmeltningsmetoden. Denne bestaar egentlig af 2 Metoder; den første grunder sig paa, at der til Smeltning af 1 Kgm. Is kræves en bestemt Varmemængde, nemlig 80 Varmerenheder; den anden Metode grunder sig paa den Sammentrækning, der finder Sted, naar Is smelter, idet 1 Gram Is ved 0^0 indtager et Rum af 1,09 Kubikcentimeter, men 1 Gram Vand ved 0^0 meget nær 1 Kubikcentimeter.

a. Det Kalorimeter, som anvendes i det første Tilfælde, er i sin simpleste Form en Isblok, i hvis Overside der er dannet et Hul, som er tørret godt. Det Legeme, hvis ubekendte Varmefylde c vi ville finde, opvarmes først til en bestemt Temperatur T^0 (i Reglen 100^0), bringes derpaa hurtig ned i Hullet i Isblokken, og der lægges en Isplade over. Legemets Temperatur vil da synke til 0^0 , og samtidig vil der smelte noget Is ved den Varme, som Legemet mister. Er Legemets Vægt P Kgm., og er der smeltet p Kgm. Is, har man

$$Pc (T - t) = p \cdot 80,$$

hvoraf c findes.

Vægten p findes ved at veje en tør Svamp, derpaa lade den opsuge det Vand, som er fremkommet i Hullet, og atter veje den; Vægtforøgelsen er da lig p .

Da Isen er porøs, vil en Del af Vandet undvige i Isens Porer, og Metoden er derfor ikke meget nøjagtig.

b. I det andet Tilfælde anvendes Bunsen's Iskalorimeter (Fig. 22). Dette bestaar af en større Glasbeholder C , som fortsættes i et bøjet Rør, hvis sidste vandrette Del er et kalibreret og inddelt Haarrør, hvis Tværsnit er bestemt iforvejen. I C er der indsat et Reagensglas T , og C er for-

oven fyldt helt med Vand, som ved *M* hviler paa Kviksølv, der herfra naar op i Rørets vandrette Del. Dette Apparat anbringes først i nogen Tid i smeltende Sne eller Is; ved Hjælp af en Strøm af kold Vinaand afkøles *T* indvendig, saa at noget af Vandet i *C* fryser til en Isskorpe om Røret; i *T* hældes derpaa lidt Vand, og Apparatet forbliver nu staaende, indtil Temperaturforholdene ere blevne konstante, hvilket viser sig derved, at Kviksølvoverfladen i Haarrøret staar stille. Derpaa benyttes

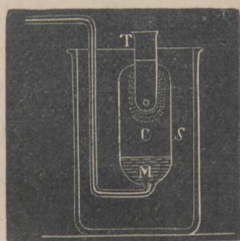


Fig. 22.

Apparatet til Forsøget, og dette bestaar deri, at lidt af det Legeme, hvis Varmefylde man vil finde, først opvarmes til en vis Temperatur (100°) og derpaa bringes hurtig ned i Reagensglasset *T*; her meddeler det sin Varme til Vandet i *T*, og naar dette Vands Temperatur ikke overstiger 4° , vil det varmeste Vand altid være nede ved Bunden; Vandet i *T* afgiver den modtagne Varme til Isen udenom, saa at noget deraf smelter, der sker en Sammentrækning, og man ser, at Kviksølvoverfladen gaar tilbage i Røret. Det vil let ses, at man af denne Flytning kan beregne Legemets Varmefylde.

30. Blandingsmetoden. Hertil anvendes et Vandkalorimeter, der bestaar af et blankt Metalkar, som ved Traade er ophængt i et større blankt Metalkar; derved har man indskrænket en eventuel Varmedudstraaling til det mindst mulige. I det inderste Kar er der Vand, og i dette befinder sig en Omrører og et Thermometer.

Det Legeme, hvis Varmefylde *c* skal findes, opvarmes nu først til en vis Temperatur T° (i Reglen 100°) og bringes derpaa hurtig ned i Kalorimetret; dettes Temperatur, som vi ville kalde t° , stiger da og vedbliver hermed, indtil Legemet og Vandet har faaet samme Temperatur, Blandingstemperaturen t_1 . Naar Legemets Vægt er *P*, har Legemet mistet Varmemængden $Pc(T - t_1)$, og er Vægten af Vandet i Kalorimetret *p*, har Vandet modtaget $p(t_1 - t)$ Varmeenheder; man har da til Bestemmelsen af *c*:

$$Pc(T - t_1) = p(t_1 - t),$$

hvis der intet Hensyn tages til Varmetabene. Men der medgaar Varme til at opvarme Kalorimetret (Vægt p_1 , Varmefylde c_1), Thermometret (Vægt p_2 , Varmefylde c_2) og Omrøreren (Vægt p_3 , Varmefylde c_3), og da disse 3 Legemer ere blevne opvarmede ligesom Vandet, saa bliver Ligningen, der tjener til Bestemmelsen af c , nøjagtigere

$$Pc(T - t_1) = (p + p_1c_1 + p_2c_2 + p_3c_3)(t_1 - t).$$

Sættes nu $p_1c_1 + p_2c_2 + p_3c_3 = v$, faar man

$$Pc(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t),$$

og vi se altsaa, at en Vandmasse af Vægten $p + v$ kan træde i Stedet for Kalorimetret med Vand, Thermometer og Omrører. Størrelsen v kaldes Vandværdien, og herved forstaas altsaa den Vægt Vand, som af en vis Varmemængde opvarmes ligesaa mange Grader som det tomme Kalorimeter, Thermometret og Omrøreren tilsammen.

Vandværdien kan beregnes af ovenstaaende Udtryk for v , men den findes langt lettere ved et Forsøg, idet man hælder varmt Vand, f. Eks. af Vægt p , ned i det tomme Kalorimeter med Thermometer og Omrører og iagttager Vandets Temperaturformindskelse m^0 og Kalorimetrets Temperaturforøgelse n^0 ; Forholdene ere da de samme, som hvis man havde blandet to Vandmasser med Vægtene p og v sammen, og man har til Bestemmelsen af v Ligningen $pm = vn$.

Endnu maa der ved nøjagtige Forsøg tages Hensyn til det Varmetab, der finder Sted til Omgivelserne, naar Kalorimetret er varmere end disse, eller Varmetilførselen, hvis Kalorimetret er koldere end Omgivelserne. Dersom man kan indrette sig saaledes, at Kalorimetrets Begyndelsestemperatur meget nær er ligesaa meget lavere end Omgivelsernes Temperatur, som Blandingstemperaturen ligger over denne, saa ved man, at Kalorimetret modtager fra Omgivelserne omtrent ligesaa megen Varme, som det senere afgiver, og dermed er Sagen færdig.

Men er dette ikke Tilfældet, kan man gaa frem paa følgende Maade. Vi antage, at Kalorimetret under Forsøget er varmere end Omgivelserne, og da er den iagttagne Blandings-temperatur for lav til at kunne passe i ovenstaaende Regning. Varmetabet tages med i Regning saaledes: Efterat Legemet

er bragt ned i Kalorimetret, iagttager man Temperaturen med smaa Mellemrum, f. Eks. hvert 20de Sekund, medens Kalorimetret opvarmes; de iagttagne Temperaturer være $t_0, t_1 \dots t_n$, idet t_0 er Begyndelses-, t_n Blandingstemperaturen. Varmetabene i disse forskellige Tidsrum ere meget nær proportionale med Differensen imellem Kalorimetrets og Omgivelsernes Temperatur (δ), idet vi som Kalorimetrets Temperatur tage Middeltallet af Begyndelses- og Endetemperaturen i det paagældende Tidsrum; de Tillæg, som Kalorimetrets Blandingstemperatur bør have for at kunne passe i Regningen, kunne altsaa sættes lig

$$A\left(\frac{t_0 + t_1}{2} - \delta\right), A\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - \delta\right), \dots A\left(\frac{t_{n-1} + t_n}{2} - \delta\right)$$

eller ialt

$$A(\Sigma t - n\delta),$$

hvor Σt betegner Summen af de iagttagne Temperaturer, idet der dog af den første og den sidste kun tages den halve Værdi. — Konstanten A bestemmes ved foreløbige Forsøg: Kalorimetret med det Vand, som det indeholder under Forsøget, stilles hen ved en vis Temperatur t' , der er højere end Luftens Temperatur δ , og efter 20 Sekunders Forløb iagttages Kalorimetrets Temperatur paany; er denne t'' , har man

$$A\left(\frac{t' + t''}{2} - \delta\right) = t' - t'',$$

hvoraf A findes.

Hvis det Legeme, hvis Varmefylde man vil bestemme, angribes — f. Eks. opløses — af Vand, kan man enten indeluttede det i en Beholder, der ikke angribes af Vandet, og saa tage denne Beholder med i Regning; eller man kan i Kalorimetret i Stedet for Vand have en anden Vædske, hvis Varmefylde er bekendt, og som ikke angriber Legemet.

Vædskerne indesluttet ved Varmefyldebestemmelserne i en Beholder, hvis de ikke ere af den Beskaffenhed, at de ikke blande sig med Vand.

Bestemmelsen af Luftarternes Varmefylde vil blive nærmere omtalt i 32 og 33.

31. Alle Legemers Varmefylde ere ægte Brøker med Undtagelse af Vands, som er 1, og Brints, som er 3,4. Jærns

Varmefylde er $\frac{1}{9}$, Kobbers $\frac{1}{11}$, Blyets, Guldets og Kviksølvs $\frac{1}{33}$.
Luftarterne have i det hele store Varmefylde.

Jo mere tæt et Grundstof er, desto mindre er i det hele dets Varmefylde.

Varmefylden vokser, som tidligere nævnt, noget med Temperaturen.

Metallegeringer have en Varmefylde, der er bestemt ved Bestanddelenes Varmefylde og de Vægtforhold, i hvilke de indgaa i Legeringen. Er der i en Legering Vægtmængderne $p_1, p_2 \dots$ af forskellige Metaller med de respektive Varmefylde $c_1, c_2 \dots$, saa er Legeringens Varmefylde

$$c = \frac{p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots}{p_1 + p_2 + \dots}.$$

Et Legeme har større Varmefylde i flydende Tilstand end i fast. Isens Varmefylde er saaledes $\frac{1}{2}$.

Dulong og Pétit's Lov: For Metallernes Vedkommende er Produktet af Atomvægten og Varmefylden konstant og meget nær 6,4. Heraf følger, at der altid kræves den samme Mængde Varme til at opvarme 1 Atom af et saadant Grundstof 1 Grad.

32. Enhver Luftart har to forskellige Varmefylde, een for konstant Rumfang og een for konstant Tryk. Naar Luftens Tryk nemlig skal holdes konstant under Opvarmningen, maa Luften udvide sig og drive Hindringerne tilbage; den udfører derved et Arbejde, og der maa altsaa i saa Tilfælde medgaa en større Varmemængde, end hvis Rumfanget forbliver uforandret; Forholdet imellem de to Varmefylde kan vises at være lig 1,4 (33).

Varmefylden ved konstant Tryk har Regnault bestemt paa følgende Maade (Fig. 23). Luften blev sammentrykket i en stor Beholder, der var omgivet af Vand og saaledes blev holdt paa en konstant Temperatur; Luftens Tryk blev aflæst paa et Manometer. Fra denne Beholder førte et Rør, igennem hvilket Luften strømmede ud, naar en Hane R blev aabnet, og ved Hjælp af en i dette Rør indsat Skrueventil A , ved hvilken man kunde regulere Luftstrømmen, sørgede man for, at denne fandt Sted under konstant Tryk,

hvilket kunde iagttages paa et Manometer MM' , der var forbundet med Røret lidt efter Skrueventilens Sted. Denne Luft-

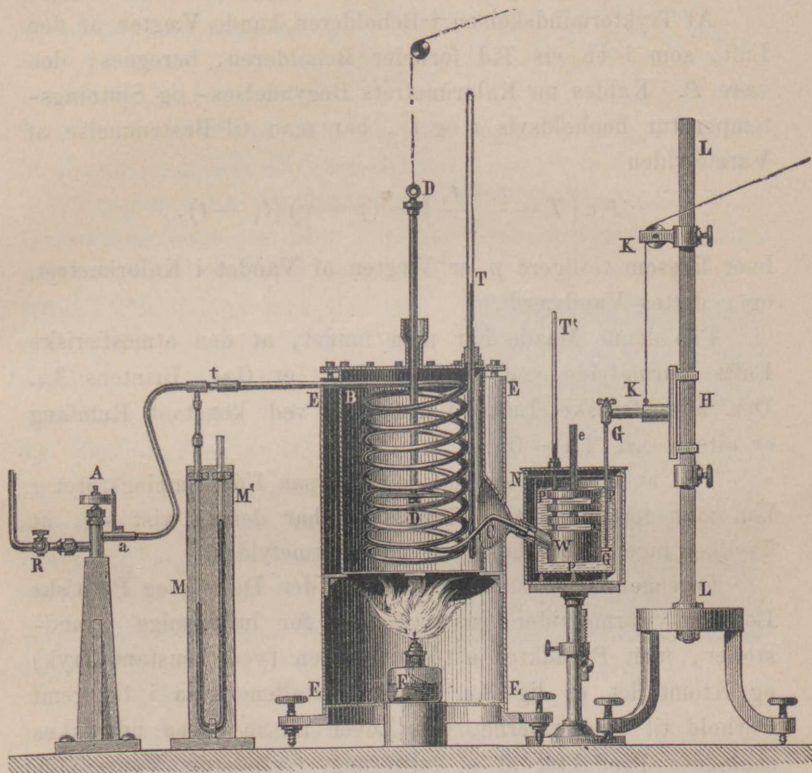


Fig. 23.

strøm gik i et Spiralrør omkring i et Oliebad B , som ved en Lampe F blev holdt ved en konstant Temperatur, der blev aflæst paa Thermometret T ; ved Omrøreren DD sørgede man for, at Olien helt igennem havde samme Temperatur. Luftens Vandring igennem Oliebadet var saa lang, at den, førend den forlod Badet, havde antaget dets Temperatur (T^0); fra Badet lededes den umiddelbart over i et Vandkalorimeter, hvor den først traadte ind i en større Beholder W og derfra gik over i tre flade Metalkasser, hvori den blev ledet igennem Spiralrør — i den nederste og øverste Kasse fra Periferien ind til Midten, i den midterste fra Midten udefter; sluttelig strømmer

Luften ud igennem Røret e og med den Temperatur, som Kalorimetrets Vand i Øjeblikket har. Vandet i Kalorimetret holdes i stadig Bevægelse af en Omrører GG .

Af Trykformindskelsen i Beholderen kunde Vægten af den Luft, som i en vis Tid forlader Beholderen, beregnes; den være P . Kaldes nu Kalorimetrets Begyndelses- og Slutnings-temperatur henholdsvis t og t_1 , har man til Bestemmelse af Varmefylden

$$Pc \left(T - \frac{t + t_1}{2} \right) = (p + v) (t_1 - t),$$

hvor ligesom tidligere p er Vægten af Vandet i Kalorimetret, og v dettes Vandværdi.

Paa denne Maade har man fundet, at den atmosfæriske Lufts Varmefylde ved konstant Tryk er 0,24, Brintens 3,4. Den atmosfæriske Lufts Varmefylde ved konstant Rumfang er altsaa $0,24 : 1,4 = 0,17$.

Ved at anbringe en Indsnævring paa Udstrømningsrøret e kan man forøge Luftens Tryk; det har derved vist sig, at Trykket ingen Indflydelse har paa Varmefylden.

Forsøgene give som Resultat, at den Dulong og Petit'ske Lov om Varmefylden ogsaa gælder for luftformige Grundstoffer, men Produktet af Varmefylden (ved konstant Tryk) og Atomtallet er lig 3,4. Da Atomtallene staa i ligefremt Forhold til Vægtfylderne, kan Loven altsaa ogsaa udtrykkes saaledes: Produktet af et luftformigt Grundstofs Varmefylde og Vægtfylde er konstant. Heraf følger saa, at der til en vis Opvarmning af ligestore Rumfang af forskellige Luftarter kræves den samme Varmemængde, naar blot Tryk og Temperatur er den samme.

33. Bestemmelse af Forholdet imellem en Luftarts Varmefylde ved konstant Tryk og Varmefylde ved konstant Rumfang. Mariottes Lov, som er udtrykt ved Ligningen $p v = p_1 v_1$ (hvor p og v , p_1 og v_1 ere sammenhørende Værdier af henholdsvis Tryk og Rumfang), gælder, naar Temperaturen er uforandret, altsaa efter at der har fundet en Temperaturudjævning Sted, thi ved Sammentrykning af Luft sker der en Varmeudvikling, ved Fortynding af Luft en Afkøling. Naar man derimod bestemmer Tryk

og Rumfang, førend en saadan Udjævning har fundet Sted, altsaa uden at der udefra tilføres eller borttages Varme, saa gælder den ad teoretisk Vej udledede Poisson's Lov, som er udtrykt ved Ligningen

$$p v^n = p_1 v_1^n,$$

hvor n netop er det Tal, der her søges, nemlig Forholdet imellem en Luftarts to Varmefylder.

Værdien af n er bestemt ved følgende af Clément og Desormes først anstillede Forsøg. B er en stor Glasballon, som ved det vandrette Rør AG staar i Forbindelse med det lodrette Manometerør CD , hvis nederste Ende gaar ned i en Skaal med Vædske. AG har Hanen F , og paa Ballonens Hals findes Hanen E . Fra Begyndelsen af er E lukket; F aabnes, og igennem Røret AG fortyndes Luften i Ballonen noget, hvorved Vædsken stiger et Stykke op i Røret CD ; derpaa lukkes F .

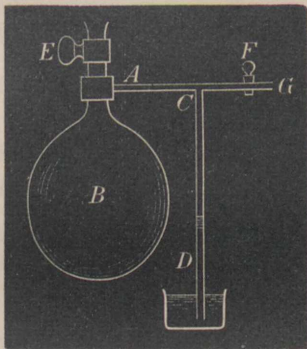


Fig. 24.

Den i Ballonen værende Luft har nu et vist Rumfang v og er underkastet et Tryk af $H - h$, naar H er Barometerstanden og h den til en Kviksølv søjle reducerede Vædskehøjde i Røret CD .

Derpaa aabnes Hanen E et lille Øjeblik, saa at Luften udefra strømmer ind, men den er kun aaben saa længe, til Vædsken i Røret CD er kommen ned i Højde med Overfladen i Skaalen; da lukkes E . Lidt efter vil Vædsken langsomt stige lidt op i Røret og ende med at stille sig i en vis Højde over Vædsken i Skaalen; Kviksølvhøjden, som svarer til denne Vædskehøjde, være h_1 . Grunden til denne Stigning er, at der skete en Opvarmning, da Luften i Beholderen blev sammentrykket; førend denne Opvarmning blev udjævnet med Omgivelserne, var Luftens Tryk H ; efter Udjævningen er Trykket $H - h_1$.

Idet vi antage, at den Luftmasse, som oprindelig fyldte Ballonen i fortyndet Tilstand, ved Indstrømningen har faaet sit Rumfang formindsket til v_1 , har man

ifølge Mariottes Lov:

$$v(H-h) = v_1(H-h_1)$$

og ifølge Poissons Lov:

$$v^n(H-h) = v_1^n H.$$

Disse Ligninger give

$$\left(\frac{H-h_1}{H-h}\right)^n = \frac{H}{H-h},$$

$$\text{hvoraf} \quad n = \frac{\log H - \log(H-h)}{\log(H-h_1) - \log(H-h)}.$$

Ved saadanne Forsøg har man fundet, at n meget nær er lig 1,4.

Naar man vil grafisk fremstille Mariottes Lov, idet Trykkene afsættes som Abscisser, Rumfangene som Ordinater, bliver Kurven en ligesidet Hyperbel; fremstiller man Poissons Lov grafisk, faar man den adiabatiske Kurve.

IV. Varmens Forplantning.

34. Varmen kan forplante sig fra et Sted til et andet paa to Maader: enten ved Ledning eller ved Straaling.

Naar Varmen forplanter sig ved Ledning fra et Sted A til et andet B , sker dette paa den Maade, at de mellemliggende Dele opvarmes successive, og Varmebevægelsen skrider derfor langsomt fremad. Men gaar Varmen ved Straaling fra et Sted til et andet, sker dette næsten pludseligt, og uden at de mellemliggende Dele først opvarmes.

Stikker man den ene Ende af en Jærnstang ind i Gløderne i en Ovn og holder Stangen i Haanden, vil man føle en langsom Opvarmning i den Ende af Stangen, man holder paa; Temperaturen naar dog kun en bestemt, forholdsvis lav Værdi, thi Varmen ledes langsomt igennem Jærnet, og dette afgiver

stadig Varmer til den omgivende Luft. — Stiller man sig op foran en varm Kakkellovn med Ansigtet imod denne, mærker man en kendelig Opvarmning i Ansigtet; men sættes en Skærm for, holder Varmefornemmelsen straks op, hvorefter man ser, at Varmen kom fra Ovnene til Ansigtet uden først at opvarme Luften, altsaa ved Straaling.

a. Varmestraaling.

35. Straalevarmen kan forplante sig saavel igennem det tomme Rum som igennem forskellige Legemer, deriblandt Luften; Solens Varmer gennemløber Himmelmrummet som Straalevarmer og trænger igennem Luften ned til Jordens Overflade. De Legemer, som lade Straalevarmen trænge igennem sig, siges at være diathermane; de Legemer, som stanse Varmestraalerne, ere athermane. De fleste diathermane Legemer ere dog for saa vidt tillige athermane, som de tilbageholde noget af Straalevarmen, som da bliver anvendt til at forhøje Legemets Temperatur. Disse Forhold ville blive undersøgte nærmere nedenfor.

Det skal nu i det følgende paavises, at der er den nøjeste Overensstemmelse imellem Lys- og Varmestraaler.

Over Straalernes Hastighed er der vel ingen Forsøg, saaledes som over Lysets Hastighed, men det er dog, naar den øvrige Identitet er godtgjort, naturligt at antage disse to Hastigheder for at være ens; vi vide jo ogsaa af Erfaringen, at Solstraalerne frembringe Varmevirkninger i samme Øjeblik, de frembringe Lysvirkninger.

36. Til Forsøg over Straalevarmen anvender man som Thermometer Differentialthermometret og navnlig Thermomultiplikatoren. I Reglen overtrækkes det Sted paa Thermometret, hvor Bestraalingen skal finde Sted, med Kørøg, hvorved Indsugningen af Straalevarmer bliver saa stor som mulig. Ofte findes Thermosøjlen anbragt i Midten af et langt, firkantet, indvendig sværtet Metalrør eller i den inderste snævre Del af et kegleformigt Metalrør, der er indvendig sværtet; Metalrøret har i begge Tilfælde et Laag for Aabningen, og

naar dette Laag tages bort, kan Bestraalingen altsaa pludselig finde Sted.

For at finde Afhængigheden imellem den Opvarmning, for hvilken en Thermomultiplikator udsættes, og det Udslag af Multiplikatornaalen, som den fremkaldte elektriske Strøm foranlediger, kan man gaa saaledes frem. Man benytter 2 Varmekilder, f. Eks. 2 Lys, *A* og *B*, et ud for hvert Sæt af Lodningssteder. Ved en Skærm for *B* udelukker man Bestraalingen fra *B*, og *A* stilles nu i en saadan Afstand fra Søjlen, at der kommer et Udslag af Naalen paa 1° ; derpaa borttages Skærmen for *B*, og *B* stilles saaledes, at det nævnte Udslag forsvinder. *A* rykkes da nærmere til Søjlen og saa meget, at der atter kommer et Udslag paa 1° ; vi vide da, at *A* opvarmer Søjlen dobbelt saa stærkt som før; sættes nu Skærmen for *B*, vil man finde, at der kommer et Udslag paa 2° , saa at Udslaget ogsaa bliver dobbelt saa stort. Derpaa rykkes *B* hen imod Søjlen, indtil dette Udslag paa 2° forsvinder, hvorpaa *A* bevæges hen imod Søjlen, indtil der igen er kommen et Udslag paa 1° ; ved at sætte en Skærm for *B* opstaar der nu et Udslag paa 3° , og saaledes fortsættes. Man finder paa den Maade, at Udslaget er proportionalt med Opvarmningen indtil Udslag paa mellem 20° og 30° ; derefter blive Udslagene mindre, end denne Lov kræver, men man kan saa danne sig en Tabel over sammenhørende Værdier af Opvarmningen og Udslaget.

For ikke at vente med at aflæse Naalens Udslag, indtil Naalen er kommen i Ro, kan man i Stedet for aflæse Størrelsen af Naalens første Udsving, thi dette er desto større, jo større det endelige Udslag bliver.

37. At Varmestraalerne forplante sig i rette Linjer, kan man se deraf, at naar man stiller en Skærm op i nogen Afstand fra en Varmekilde og holder Thermosøjlen paa Skærmens modsatte Side, saa kommer der intet Udslag af Naalen, saa længe Søjlen er i Skærmens Skygge, men derimod i samme Øjeblik, Søjlen flyttes ud af Skyggen.

Opvarmningen ved Bestraaling staar i omvendt Forhold til Afstandens Kvadrat — ligesom Belysningen. Dette kan man vise ved som Varmekilde at anvende en stor,

flad, sværtet Metalkasse, hvori der er kogende Vand og i nogen Afstand derfra at holde Munden af det i 36 nævnte

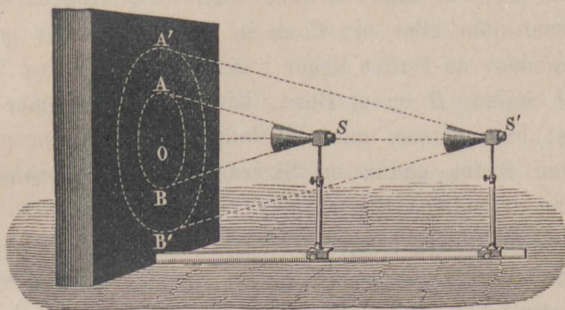


Fig. 25.

kegleformede Metalrør, hvori Søjlen findes. I hvilken Afstand Søjlen saa end stilles fra Kassen, faar man altid det samme Udslag, og deraf følger Lovens Rigtighed; thi naar Søjle's Afstand fra Kassen i eet Tilfælde er n Gange større end i et andet, saa er Arealet af den cirkelformige Flade, der sender Varmestraaler ud til Søjlen, n^2 Gange større, og naar Opvarmningen dog alligevel er den samme, saa maa det ligge i, at Varmen er blevet svækket n^2 Gange paa Grund af den længere Vej, som den har tilbagelagt.

38. Melloni, der især har undersøgt Straalevarmens Forhold, benyttede dertil et Apparat, hvis Indretning er vist i Fig. 26. Paa en Metallineal er der befæstet forskellige Op-

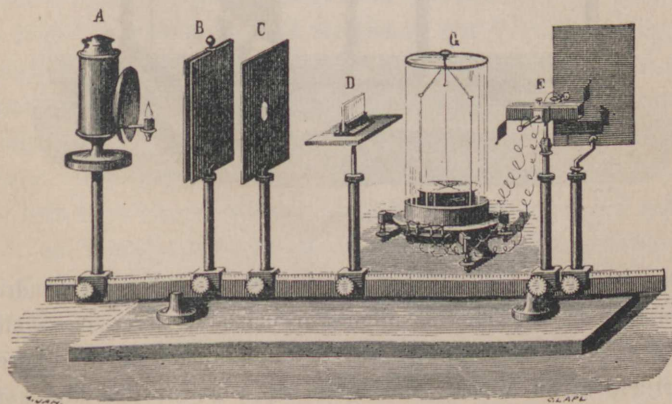


Fig. 26.

standere, som bære efterfølgende Ting: *A* er Varmekilden, *E* Thermosøjlen, *B* en Skærm, som er dobbelt og kan drejes fra og for, eftersom man vil have Varmestraalerne til at falde paa Thermosøjlen eller ej; *C* er en Skærm, der er gennem-boret saaledes, at Hullet ligger i den rette Linje fra Varmekilden til Søjlen; *D* er et Bord, hvorpaa de Legemer kunne anbringes, hvorigennem man vil lade Straalevarmen passere. Bag Søjlen findes endnu en Skærm, der skal forhindre en Bestraaling af Søjlen Bage. side.

De Varmekilder, hvormed Melloni anstillede Forsøg, vare foruden Solen 1) en Locatellis Lampe, hvori der brændes Olie, 2) en Platinspiral, der blev holdt glødende ved Hjælp af en Spritflamme, 3) en svættet Kobberplade, der af en Lampe blev opvarmet til 400° , og 4) en Leslie's Tærning, som er en tærningformet Metalkasse, hvis Sider ere beklædte med forskellige Stoffer, og som indeholder Vand, der bliver holdt paa Kogepunktet.

39. Varmestraalernes Tilbagekastning. Naar denne skulde undersøges, blev Apparatet ændret saaledes, at

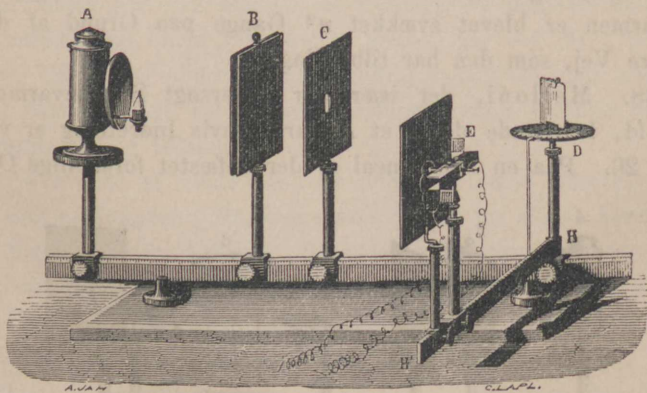


Fig. 27.

Bordet *D* bar et lodret plant Spejl, der stod paa en vandret inddelt Kreds, og Thermosøjlen var befæstet til en bevægelig Arm HH_1 , hvis Stilling til Kredsens Inddelinger kunde aflæses ved Hjælp af en Viser. Det viste sig saa, at der kun kom et Udslag af Multiplikatornaalen, naar Søjlen har en saadan

Stilling, at Indfalds- og Tilbagekastningsvinkel ere ligestore.

Man kan dernæst finde Forholdet imellem den tilbagekastede og den indfaldende Straalevarme ved, førend Spejlet er stillet op, at dreje HH_1 hen i Flugt med Linealen, saa at Straalerne direkte træffe Søjlen, og iagttage Udslaget, som da fremkommer. Dernæst stilles Spejlet op paa D , og man iagttager Udslaget, som den tilbagekastede Straalevarme fremkalder. Deraf faas saa det søgte Forhold. Dette findes at variere med Indfaldsvinklen ganske paa samme Maade som Lyset, idet det er desto større, jo større Indfaldsvinklen er.

Som Eksempel kan nævnes, at et Hulspejls Brændpunkt ikke alene er Foreningspunkt for parallelt indfaldende Lysstraaler, men ogsaa for parallelt indfaldende Varmestraaler. Holdes Hulspejlet op foran Solen, kommer der en stærk Opvarmning paa det Sted, hvor det lille Solbillede dannes. Opstilles to Hulspejle saaledes overfor hinanden, at de vende de spejlende Flader imod hinanden og have fælles Akse, vil en Metalkurv med Gløder, der anbringes i det ene Hulspejls Brændpunkt, kunne bringe et letantændeligt Legeme, der anbringes i det andets Brændpunkt, i Brand. — Navnene Brændspejl og Brændpunkt hidrøre fra disse Forhold.

40. Varmestraalernes Brydning. Naar man lader Sollyset brydes i et Stensaltprisme, saa at der dannes et Solspektrum, og man derpaa fører en lille Thermosøjle igennem de brudte Straaler, saa iagttages en Opvarmning, og maaler man denne, kommer man til Kundskab om Varmefordelingen i Spektret. Man finder da, at Varmen vokser fra de mest brydbare (de violette) Straaler henimod de mindst brydbare, og tillige, at den vedbliver at vokse endnu et Stykke udenfor de røde Farvestraaler, hvorefter den igen aftager og tilsidst hører helt op. Vi se altsaa, at Solens Lysstraaler ere ledsagede af Varme, men at der desuden gives Varmestraaler med mindre Brydbarhed end de røde Straaler, og som altsaa ikke gøre Indtryk paa Synsorganet: Vi tale saaledes om et Varmespektrum, der bestaar af et lyst og et mørkt Varmespektrum, omtrent af lige Udstrækning, naar Prismet som nævnt er af Stensalt.

De Fraunhoferske Linjer ere ikke alene blottede for Lys, men ogsaa for Varme; i det mørke Varmespektrum gives der ogsaa thermisk uvirksomme Linjer.

Ligesom Lysspektret er delt i 7 Hovedfarver, saaledes kunne vi tænke os det mørke Varmespektrum delt i 7 Dele, der gøres lige store; man kan da undersøge Straalerne i de enkelte Afdelinger for sig.

Som Eksempel paa Varmestraalernes Brydning kan nævnes Linsers Anvendelse som Brændglas.

41. Legemernes Gennemstraalelighed. Denne kan undersøges for en bestemt Art af Varmestraaler, naar man fremkalder Solspektet ved Hjælp af et Stensaltprisme og med en Skærm holder de Varmestraaler tilbage, som man ikke vil undersøge. Man maaler da den Opvarmning, der fremkaldes af de ikke tilbageholdte Straaler, holder derpaa en Plade af det Legeme, man vil undersøge, ind i Straalebundtet og maaler atter Opvarmningen; Forholdet imellem den sidste og den første Opvarmning giver os da et Maal for Pladens Gjennemstraalelighed.

Ved saadanne Undersøgelser vil man finde, at alle farveløse, gennemsigtige Legemer lade den samme Procentmængde, nemlig 92 pCt., af de lyse Varmestraaler, trænge igennem; Resten, de 8 pCt., bliver tilbagekastet, og saa godt som intet indsuget. Anderledes er Forholdet overfor de mørke Varmestraaler: kun Stensalt er lige godt gennemstraaleligt for mørke og lyse Varmestraaler (heraf Grunden til, at det i 40 nævnte Prisme skal være af Stensalt), men alle andre farveløse, gennemsigtige Legemer indsuge en større eller mindre Del af de mørke Varmestraaler, fortrinsvis de mindst brydbare; de ville altsaa alle forkorte det mørke Varmespektrum, i stærkest Grad Is og Alun, i mindre Grad Glas.

At de 8 pCt. af Varmestraalerne, som Stensalt ikke lader gaa igennem, blive tilbagekastede og ikke indsugede, kan man se deraf, at en tynd og en tyk Stensaltplade lader den samme Procentmængde af Straalevarmen slippe igennem, men udsætter man en Stabel af Stensaltplader for Varmestraalerne, saa gaar der en betydelig mindre Mængde igennem paa Grund

af de mange Tilbagekastninger. Hvad de farvede, gennemsigtige Legemer angaa, saa forholde de sig overfor de lyse Varmestraaler paa samme Maade som overfor Lysstraalerne, idet kun de Varmestraaler slippe igennem, der have Brydbarhed fælles med de Lysstraaler, som kunne trænge igennem Legemet, og der gaar en ligesaa stor Procentmængde af Varmestraalerne igennem som af Lysstraalerne.

Ugennemsigtige Legemer kunne i Analogi med det nysnævnte ikke lade lyse Varmestraaler slippe igennem, men nogle ugennemsigtige Legemer lade mørke Varmestraaler trænge igennem, saaledes sodet Glas, en Opløsning af Jod i Svovlkulstof, o. fl.

42. Straalerne fra de 4 forskellige Varmekilder, som Melloni benyttede til sine Forsøg, kan man nu let komme til en nærmere Undersøgelse af, naar man undersøger de forskellige Substansers Gennemstraalelighedsevner overfor den Straalevarme, de udsende. Melloni fandt, at der igennem Plader paa 2,6 Millimeters Tykkelse slipper følgende Procentmængder af Straalerne:

	Locatellis Lampe.	Platin- spiralen.	Kobber- pladen.	Leslies Tærning.
Stensalt	92	92	92	92
Glas . .	39	24	6	0
Alun . .	9	2	0	0
Is . . .	6	0	0	0

Sammenholdes nu disse Værdier med, hvad der er nævnt ovenfor, saa kan man se, at den glødende Platinspiral næsten udelukkende udsender mørke Varmestraaler, thi at de lyse ere saa forsvindende, kan ses deraf, at Is slet ikke lader Varmestraaler fra Platinspiralen slippe igennem; da Is kun lader 6 pCt. af Lampens Straaler gaa igennem, saa er Mængden af lyse Varmestraaler fra denne Varmegiver højst 6 pCt. I det hele er Antallet af mørke Varmestraaler fra et glødende Legeme i langt overvejende Grad det største; saaledes ere kun 10 pCt. af Varmestraalerne fra den elektriske Flammebue og kun 4 pCt. af Varmestraalerne fra et Gasblus lyse. Af Sollysets Varmestraaler ere dog 45 pCt. lyse. Leslie's Tærning

mangler de mest brydbare, mørke Straaler; ligesaa, om end i ringere Grad, den 400° varme Kobberplade.

Et glødende Legeme udsender ikke alene desto flere lyse Varmestraaler, jo højere dets Temperatur er, men ogsaa desto flere mørke Varmestraaler; hvidglødende Jærn udsender flere mørke Varmestraaler end rødglødende Jærn. Naar et Legeme opvarmes, saa udsender det Varmestraaler af stedse større og større Brydbarhed, men tillige vokser Mængden af Varmestraaler med mindre Brydbarhed; alle Legemer begynde at gløde, d. v. s. at udsende røde Straaler, ved ca. 525° .

Vi have i det foregaaende kun betragtet Varmedudstraaling fra Legemer, der have en højere Temperatur end Omgivelserne; men det er ikke rimeligt at antage, at Udstraalingen skulde ophøre, naar Legemets Temperatur var lig Omgivelsernes. Hermed stemmer følgende Forsøg: to Hulspejle ere opstillede ligeoverfor hinanden med fælles Akse og de spejlende Flader vendte imod hinanden; anbringes der nu i det ene Hulspejls Brændpunkt et Thermometer, og i det andets Brændpunkt et Stykke Is, saa synker Thermometret, hvilket hidrører fra, at Thermometret udstraaler mere Varme til Isen, end det modtager fra denne.

Har man altsaa i et Rum forskellige Legemer, der alle have samme Temperatur, saa udstraale de alle Varme, men de indsuge ogsaa alle Varme ved Bestraaling, og naar Temperaturen ikke forandres, saa ligger dette i, at ethvert Legeme mister ligesaa megen Varme ved Udstraaling, som det optager ved Bestraaling.

43. Legemernes Udstraalings- og Indsugnings-evne. Ovenfor er nævnt den Indflydelse, som Temperaturen har paa den Varme, et Legeme udstraaler; men ogsaa Overfladens Beskaffenhed har Indflydelse herpaa. Vil man sammenligne forskellige Stoffers Udstraalingsevne, f. Eks. ved 100° , saa kan man bedække Siderne af en Leslie's Tærning med disse Stoffer og skiftevis lade de 100° varme Sider bestraale en Thermosøjle, der er opstillet i en vis Afstand derfra. Man vil da finde, at Blyhvidt og Kønrog fremkalde samme Opvarmning, altsaa have samme Udstraalingsevne,

medens en Metalflades Udstraalingsevne er ca. 9 Gange mindre og er desto mindre, jo mere tæt Metallet er. Ved andre Temperaturer er der i Reglen et noget andet Forhold imellem Udstraalingsevnerne.

Udstraalingen afhænger iøvrigt ikke alene af selve Overfladen, men af Laget nærmest Overfladen; thi det lader sig godtgøre, at dette — indtil en vis Tykkelse — deltager i Udstraalingen. Har man nemlig iagttaget den Opvarmning, som en af Metalfladerne paa Leslie's Tærning fremkalder, og man saa successive oversmører denne Sideflade med Fernislag, saa vil man finde, at Opvarmningen vokser, indtil Laget har faaet en bestemt Tykkelse, og derpaa holder den sig, naar man yderligere forøger Fernislaget.

Naar Varmestraalerne ankomme til et Legeme, saa vil en Del af dem blive tilbagekastet, en anden Del kan slippe igennem (se ovenfor), men Resten bliver indsuget og bidrager til Legemets Opvarmning. Naar man vil undersøge forskellige Stoffers Evne til at indsuge Varmen, saa kan man, naar det f. Eks. gælder Varmestraaler fra en Varmegiver af 100° Temperatur, som saadan benytte en af Sidefladerne paa Leslie's Tærning og successive bedække den Side af Thermosøjlen, der skal vendes imod Varmegiveren med de Stoffer, man vil undersøge. Man vil da finde, at der kommer samme Opvarmning, hvad enten Søjlen er bedækket med Blyhvidt eller med Kønrog; og i det Hele viser det sig, at der er et ligefremt Forhold mellem et Legemes Udstraalings- og Indsugningsevne, vel at mærke naar der i begge Tilfælde er Tale om den samme Art af Varmestraaler. Rigtigheden af denne Lov kan man ogsaa indse af det, der er sagt i Slutningen af forrige Paragraf.

Et Legemes Indsugnings- og Udstraalingsevne varierer imidlertid, som nævnt, med Arten af de Varmestraaler, der er Tale om, og gaa vi over til at betragte lyse Varmestraaler, saa har f. Eks. Blyhvidt og Kønrog ikke samme Indsugningssevne; Kønrog opvarmes saaledes langt stærkere af Solstraalerne end Blyhvidt, hvilket hænger sammen med, at Blyhvidt jo er hvidt paa Grund af den rigelige Tilbagekastning af Solens Lysstraaler. Men naar disse Legemer komme til at

udstraale lyse Varmestraaler, derved at de glødes, saa er der ogsaa Forskel paa deres Udstraalingsevner, thi da vil Blyhvidtet udstraale langt mindre lys Varme end Kønrog. Her gælder den Lov: Et Legeme indsuger ved almindelig Varmegrad de samme Straaler, som det selv udsender i glødende Tilstand.

Vi ville herpaa nævne nogle Eksempler:

Naar der paa en hvid Porcellænsplade er malet en sort Tegning, og man saa gløder Pladen, vil man komme til at se en lys Tegning paa en mindre lys Grund.

Gløder man en Jærnstang, hvorpaa der er tegnet en Kridtstreg, saa udstraaler Kridtstregen mindre Lys end Jærnets Overflade.

Farveløst Glas gløder kun svagt, da det ved almindelig Temperatur indsuger de lyse Straaler meget lidt; rødt Rubin-glas, som ved almindelig Temperatur indsuger de grønne Straaler, vil, naar det glødes, udsende grønt Lys.

b. Varmeledning.

44. Varmeledning finder Sted i et Legeme, naar der er forskellige Temperaturer paa forskellige Steder, og finder ligeledes Sted, naar to Legemer, der have forskellig Temperatur, berøre hinanden. Varmen strømmer fra Steder med højere til Steder med lavere Temperatur, og denne Strømning vedvarer, indtil der er samme Temperatur overalt.

Betragte vi en stor og overalt lige tyk Plade af et homogent Stof og tænke os de to Sideflader holdte ved to konstante Temperaturer, T_1 og T_2 , saa vil der, naar $T_1 > T_2$, gaa Varme fra den første Sideflade til den sidste, og efter nogen Tids Forløb er der opnaaet konstante Forhold; naar dette er blevet Tilfældet, saa vil der igennem 1 Arealenhed af hvert med Sidefladerne parallelt Tværsnit i Løbet af hver Tidsenhed gaa en Varmemængde

$$Q = \frac{c(T_1 - T_2)}{d},$$

hvor d er Pladens Tykkelse og c en Størrelse, der afhænger af Legemets Varmeledningsevne og kaldes Varmelednings-

koefficienten; sættes $d = 1$ og $T_1 - T_2 = 1$, faar man $Q = c$, saa at c betegner den Varmemængde, som i Tidsenheden passerer igennem en Tærning af Legemet, hvis Kant er lig en Længdeenhed, naar to modstaaende Sideflader af denne Tærning have en Temperaturforskel paa 1° . Den Tid, der medgaar til Opnaaelsen af de konstante Forhold, kan ikke tjene til Bestemmelsen af Ledningsevnen, thi den Hastighed, med hvilken Varmen skrider fremad i et Legeme, beror tillige paa Legemets Varmefylde; jo større nemlig denne er, desto mere Varme medgaar der til en vis Temperaturforhøjelse, og desto mindre bliver Varmens Forplantningshastighed.

45. Faste Legemers Varmeledningsevne kan man undersøge med Ingenhousz's Apparat, der bestaar af en parallel-epipedisk Metalkasse, i hvis ene Side der indsættes lige lange

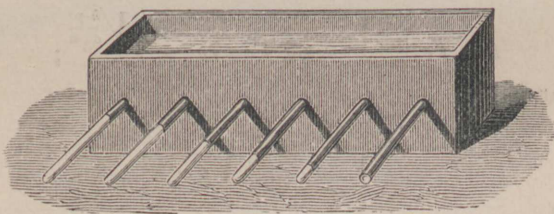


Fig. 28.

og lige tykke Stænger af de Stoffer, man vil undersøge; Stængerne ere overtrukne med et overalt lige tykt Lag Voks. I Kassen haves nu kogende Vand, og Varmen vil herfra trænge ud igennem Stængerne og efterhaanden bortsmelte Vokset (Smeltepunkt ca. 65°). Naar der ikke smelter mere Voks, hvilket sker, naar Forholdene ere blevne saadanne, at den Varmemængde, der modtages, er lig den, der afgives til Omgivelserne, maaler man de Længder, langs hvilke Vokset er smeltet, og disse Længder ere da Maal for Ledningsevnen, idet denne kan vises at være proportional med Kvadratet paa disse Længder.

Vi ville antage, at Stængerne ere saa lange, at den yderste Del af dem har samme Temperatur som Omgivelserne; det

lader sig da godtgøre, at naar Temperaturoverskuddene over Omgivelserne paa to Punkter af en Stang ere T og t , og disse Punkter have Afstanden x fra hinanden, saa er, idet $T > t$,

$$t = T e^{-x \sqrt{\frac{k p}{c a}}},$$

hvor a er Arealet af Stangens Tværsnit, p dettes Omkreds, c Varmeledningskoefficienten, k en af Stangens Overfladebeskaffenhed afhængig Størrelse, og e Grundtallet for de naturlige Logaritmer.

Dersom nu x er Længden af det Stykke af Stangen, paa hvilket Vokset er smeltet, saa betyder T Differensen imellem Kassens og Omgivelsernes Temperatur, t Differensen imellem Voksets Smeltepunkt og Omgivelsernes Temperatur; da Stængernes Overflader ere ens, har man for to af Stængerne i det her nævnte Tilfælde

$$t = T e^{-x \sqrt{\frac{k p}{c a}}} \text{ og } t = T e^{-x_1 \sqrt{\frac{k p}{c_1 a}}};$$

heraf faar man

$$x \sqrt{\frac{k p}{c a}} = x_1 \sqrt{\frac{k p}{c_1 a}}$$

og altsaa

$$\frac{c}{c_1} = \frac{x^2}{x_1^2},$$

o: Varmeledningskoefficienten staar i ligefremt Forhold til Kvadratet paa Afstanden fra Kassen til det Sted, hvor Voksets Smeltning hører op.

En anden Undersøgelsesmetode bestaar i, at det til Undersøgelse foreliggende Legeme tildannes som en prismatisk Stang (Fig. 29), paa hvis øverste Sideflade der i ligestore Afstande er udboret smaa Fordybninger, i hvilke der er Olie, hvori Beholderne paa en Række Thermometre anbringes. Stangen opvarmes i sin ene Ende (A), og en konstant Temperatur her frembringes lettest paa den Maade, at Stangens yderste Del er bøjet nedad og omgivet af Kviksølv, som ved en Lampe holdes paa en konstant Temperatur; en Skærm (S)

beskytter Stangen imod Opvarmning ved Bestraaling. Thermometrene ville da efterhaanden stige, indtil de naa et bestemt Punkt, som er desto lavere, jo længere Thermometret er fra den opvarmede Ende. Jo mindre Forskel der — alt andet

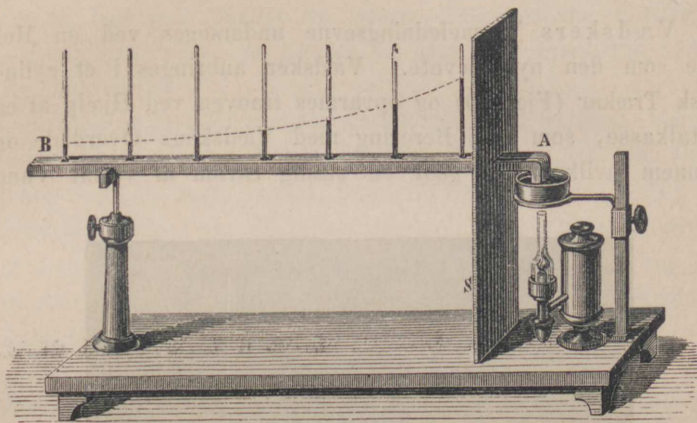


Fig. 29.

lige — er paa Thermometrenes Angivelser, desto større er Ledningsevnen.

Har man anstillet Forsøget med to Stænger af forskellige Metaller, men med ens Tværsnit og ens Overflade, hvilket sidste kan opnaas derved, at Stængerne ere oversmurte med f. Eks. Fernis, saa kan man ved paa hver Stang at aflæse to Temperaturer, beregne Forholdet imellem Stængernes Ledningsevner. Er Differensen imellem de aflæste Temperaturer og Omgivelsernes Temperatur for den ene Stangs Vedkommende T og t , for den anden Stang T_1 og t_1 , samt de respektive Afstande imellem de benyttede Thermometre x og x_1 , har man

$$x \sqrt{\frac{kp}{ca}} = \log \frac{T}{t},$$

$$x_1 \sqrt{\frac{kp}{c_1 a}} = \log \frac{T_1}{t_1},$$

naar *log* er den naturlige Logaritme. Af disse to Ligninger faar man

$$\frac{c}{c_1} = \frac{\left[x \log \frac{T_1}{t_1} \right]^2}{\left[x_1 \log \frac{T}{t} \right]}$$

Vædskers Varmeledningsevne undersøges ved en Metode som den nys nævnte. Vædsken anbringes i et cylindrisk Trækar (Fig. 30) og opvarmes fraoven ved Hjælp af en Metalkasse, som er i Berøring med Vædskens Overflade og igennem hvilken der gaar en stadig Strøm af varmt Vand

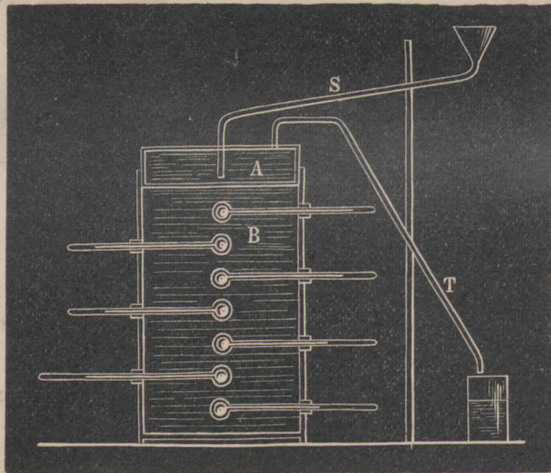


Fig. 30.

(ind ved *S*, ud ved *T*). Varmeledningen sker da nedefter, og Strømninger i Vædsken ere undergaaede. I Kassens Side er der indsat en Række Thermometre, hvis Beholdere findes i Karrets Midte; naar Temperaturerne ere blevne konstante, aflæses de, og Ledningsevnen kan da beregnes.

Luftarters Varmeledningsevne maa undersøges paa en lignende Maade, men her ere Vanskelighederne langt større, fordi Luften meget let kommer i Strømninger og let gennemstraales af Varmen; man har dog opnaaet ret tilfredsstillende Resultater.

46. Ved Forsøg som de i 45 beskrevne har man fundet, at Metallerne ere de bedste Ledere for Varmen; af Metallerne lede atter Sølv bedst, saa Kobber, Guld osv. For Metallerne Vedkommende er der et konstant Forhold imellem deres Ledningsevner for Varme og for Elektricitet. Træ, Stene, Ebonit etc. ere daarlige Varmeledere; for Træets Vedkommende har man fundet en større Ledningsevne i Fibrenes Retning end tværs paa denne; de haardeste Træsorter, f. Eks. Eg, lede bedst.

Naar man holder et Metaltraadsnet i en Flamme, brænder denne ikke udenfor Nettet, hvilket hidrører fra, at Nettet leder Varmen bort, saa at Temperaturen sænkes. Davy har benyttet dette i sin Sikkerhedslampe, hvor Flammen overalt er omgivet af et fint Metalnet; denne Lampe egner sig godt til Anvendelse i Bjærggruber, hvor der udvikles eksplosive Luftarter.

Vædskerne, med Undtagelse af Kviksølv, ere meget slette Varmeledere. Dette kan for Vands Vedkommende vises saaledes: I et Reagensglas med Vand bringer man lidt af Vandet ved Bunden til at fryse; man kan da bringe Vandet ved Overfladen i Kog, uden at der spores nogen Smeltning af Isen.

Luftarterne ere ligeledes meget slette Varmeledere. Herpaa grunder det sig, at fintdelte Legemer af slet ledende Substanser ere i særlig Grad slette Varmeledere, naar de ere saa tætte, at den i smaa Rum indesluttede Luft ikke kan komme i Strømninger. Eksempler paa saadanne Legemer ere Fjer (Dyner), Uld, Savspaaner, Tørvesmuld etc. Hvor det gælder om at bevare noget imod en Opvarmning eller en Afkøling, omgives det med saadanne slette Varmeledere (Klæder, Ishuse, Halm om Pumper og Planter, Kogning i Hø).

47. Naar et Legeme har en højere Temperatur end sine Omgivelser, vil det efterhaanden blive afkølet, idet det mister Varme, saavel ved Straaling som ved Ledning som ogsaa ofte ved Strømninger i Luften eller i Vædske. Naar Temperatur-

forskellen imellem Legemet og Omgivelserne ikke er meget stor, gælder den Newton'ske Afkølingslov: Varmetabet i en Tidsenhed er proportional med Temperaturforskellen.

Noget lignende gælder selvfølgelig ogsaa om Varmetilførselen til et Legeme, der er koldere end sine Omgivelser. Ved Fjord's Forsøg over det daglige Svind i Ishuse har denne Lov fundet en Stadfæstelse i det store, idet det daglige Svind viste sig i det væsentlige at følge den daglige Middeltemperaturs Gang.

V. Smeltning og Størkning.

48. Et Legeme siges at smelte, naar det gaar fra fast Tilstand over til flydende Tilstand.

Naar et Legeme skal smelte, maa det først opvarmes til en vis, af Legemets Beskaffenhed afhængig Temperatur, Smeltepunktet, og derefter skal der yderligere tilføres Legemet Varme, for at Smeltningen skal gaa for sig.

Smeltepunktet er højst forskelligt for de forskellige Legemer: Is smelter ved 0° , Kviksølv ved $\div 39^{\circ}$ (det er altsaa under almindelige Forhold flydende), Svovl ved 115° , Tin ved 235° , Bly ved 335° , Sølv ved ca. 1000° , Støbejærn ved $11-1200^{\circ}$, Smedejærn ved $15-1600^{\circ}$, Platin ved ca. 2000° . Undertiden skal der altsaa meget høje Temperaturer til for at faa Legemerne smeltede. Den højeste Temperatur har en kraftig, elektrisk Flammebue ($4-5000^{\circ}$), derefter Kulilte, Brint eller Gas, som brænder i Ilt ($2500-3000^{\circ}$).

Rent Kulstof kan ikke smelte. En Del Legemer, som Stenkul, Træ o. s. v. forandres kemisk ved Opvarmning, før der indtræder nogen Smeltning, men nogle af disse Legemer har man dog kunnet smelte ved at indeslutte dem i en lille Metal- eller Porcellænsbeholder, som saa udsættes for stærk

Ophedning; noget af Stoffet vil da dekomponeres, men de derved dannede Luftarter udøve et stærkt Tryk paa den tilbage værende Del af Stoffet og forhindre derved dennes Dekomposition, saa at en Smeltning er mulig.

Naar et flydende Legeme afkøles, vil det begynde at blive fast, at størkne (fryse), ved den Temperatur, ved hvilken det faste Legeme blev flydende; Størkningspunktet er altsaa lig Smeltepunktet.

49. Metallegeringer smelte hyppig ved en Temperatur, der er lavere end nogen af Bestanddelenes Smeltepunkt; den Rose'ske Legering (2 Dele Vismuth, 1 Del Tin og 1 Del Bly) smelter endog ved 94° , altsaa ved en Temperatur, der er lavere end Vandets Kogepunkt. Smede- og Støbejern indeholde Kulstof, som er usmelteligt; men Støbejern, som indeholder mest Kulstof, smelter ved den laveste Temperatur. Undertiden spaltes en Legering, naar den skal smelte, i en letsmelteligere Del, som smelter ved en lavere, og en tungtsmelteligere Del, som smelter ved en højere Temperatur. Omvendt ved Størkningen.

Hvad der finder Sted ved Metallegeringer, finder ogsaa ofte Sted ved andre Blandinger; saaledes fryser Saltvand ved en Temperatur, der er under 0° og er desto lavere, jo mere Salt Vandet indeholder. For hver Procent Kogsalt, Vandet indeholder, synker Smeltepunktet ca. $0,6^{\circ}$; en mættet Kogsaltopløsnings Frysepunkt ligger ved -21° .

Is af Saltvand har en anden Sammensætning end Vandet, idet det langtfra indeholder en saa stor Procentmængde Kogsalt, og det Kogsalt, som forefindes i Isen, indeholdes i det Vand, som er indesluttet i Isens Porer. Vil man vinde Kogsalt af Havvand, kan man derfor først lade det fryse, saa at der danner sig en tyk Isskorpe paa Vandet; den tilbageværende Vandmasse er da en mere koncentreret Kogsaltopløsning, hvorefter Kogsaltet kan vindes ved Inddampning.

Ofte hænder det, at et flydende Legeme kan afkøles under Smeltepunktet, uden at det størkner, men det maa da holdes rolig under Afkølingen; ryster man det derefter, eller lader man lidt af den faste Substans komme i Berøring med Vædsken, vil Størkningen begynde at indtræde, og samtidig

stiger Temperaturen til Smeltepunktet. Saaledes kan Svovl, hvis Smeltepunkt som ovenfor nævnt er 115° , holdes flydende helt ned til ca. 20° .

Vand viser et lignende Forhold, men det maa da helst først ved Kogning være befriet for al absorberet Luft, og Afkølingen bør ske, medens Vandet ikke er i Berøring med Luften, altsaa enten i et lufttomt Rum eller med et Olielag paa Vandet. Dette kan da afkøles ned imod $\div 20^{\circ}$ uden at fryse til Is, men rystes Vandet saa lidt, vil Frysningen begynde, og Temperaturen stiger til 0° .

Ogsaa for Saltvand gælder dette Phænomen; hvis nu den Temperatur, ved hvilken Saltvand har sin største Tæthed, ligger under Frysepunktet — hvad der kan finde Sted — saa kan man dybt under Havvandets Overflade have et roligt Vandlag ved denne Temperatur; men kommer der saa Bevægelse i Vandet, vil det fryse, og den derved dannede Is, »Bundisen«, stiger tilvejs.

50. Smeltnings- og Størkningsvarme. Naar et Legeme først er opvarmet til Smeltepunktet, og der saa yderligere tilføres det Varme, vil det, som nævnt, smelte; medens Smeltningen staar paa, vil Temperaturen holde sig uforandret paa det samme Punkt, indtil hele Legemet er smeltet; først da stiger Temperaturen, hvis Varmetilførselen vedbliver.

Man lærer heraf, at al den under Smeltningen tilførte Varme er medgaaet til Smeltningsprocessen, til at give Legemets Molekyler de Stillinger og Bevægelser, der betinge den flydende Tilstand. Der forbruges altsaa Varme ved Smeltningen; man siger ogsaa, at Varmen bindes, og at den ved Smeltningen forbrugte Varme findes i bunden eller latent Tilstand i den flydende Masse.

Ved et Legemes Smeltningsvarme forstaas den Varmemængde, der kræves til Smeltning af 1 Kilogram af Legemet, naar dette iforvejen har Smeltepunktets Temperatur.

Isens Smeltningsvarme er 80 Vårmeenheder. Dette kan vises saaledes: 1 Kgm. Is ved 0° bringes ned i 1 Kgm. Vand ved 80° , og efter nogen Tids Forløb har man 2 Kgm. Vand

ved 0° ; Isen er smeltet og har dertil forbrugt den Varmemængde, som Vandet har mistet, hvilken Varmemængde er 80 Varmerenheder.

Medens et Legeme størkner — hvilket jo sker, naar det er afkølet til Smeltepunktet, og der yderligere berøves det Varme — vil Temperaturen holde sig uforandret, og først synke, naar hele Massen er størknet. Heraf lærer man, at der udvikles Varme ved Størkningen; det er den ved Smeltningen »bundne» Varme, som nu bliver »fri» og hindrer Thermometret i at synke.

Det er ogsaa let at vise, at der ved Frysning af 1 Kgm. Vand udvikles 80 Varmerenheder. Lad os antage, at vi paa den i 49 nævnte Maade afkøle 8 Kgm. Vand til f. Eks. $\div 15^{\circ}$; derpaa rystes det, noget Vand fryser, og Temperaturen stiger til 0° . Til at opvarme 8 Kgm. Vand fra $\div 15^{\circ}$ til 0° , kræves der $8 \cdot 15 = 120$ Varmerenheder, og denne Varmemængde maa være udviklet ved Vandets Frysning; der er frosset $1\frac{1}{2}$ Kgm. Vand, saa at der ved hvert Kgm. Vands Frysning er udviklet 80 Varmerenheder.

51. Smeltningsvarmens Bestemmelse. Et Legemes Smeltningsvarme kan i Almindelighed findes ved følgende Fremgangsmaade. Er Legemet fast under almindelige Forhold, opvarmes det til en Temperatur T_1° , der er højere end Smeltepunktet T° ; derpaa bringes det hurtig ned i et Vandkalorimeter. Legemets Temperatur vil da først synke fra T_1° til T° , derpaa vil Legemet størkne, og naar dette er sket, vil den faste Masse blive afkølet fra T° til Kalorimetrets Blandings-temperatur t_1° ; under disse tre Forandringer vil Legemet afgive Varme til Kalorimetret, og er Legemets Vægt P Kgm., dets Varmefylde i flydende Tilstand c_1 , i fast Tilstand c_2 , og endelig dets Smeltningsvarme S , saa afgivet Legemet ialt

$$Pc_1(T_1 - T) + PS + Pc_2(T - t_1) \text{ Varmerenheder.}$$

Vægten af Vandet i Kalorimetret være p Kgm., Vandværdien v , og Kalorimetrets Begyndelsestemperatur t° ; man har da, naar der bortses fra Korrektionen paa Grund af Varmetabet til Omgivelserne:

$$Pc_1(T_1 - T) + PS + Pc_2(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t).$$

Af denne Ligning findes S , naar c_1 og c_2 ere bekendte. Men kendes c_1 og c_2 ikke, kan man anstille Forsøget to Gange til med andre Temperaturer; man faar da ialt 3 Ligninger af ovennævnte Form, og heraf kunne S , c_1 og c_2 findes.

Dersom Legemet er flydende under almindelige Forhold, afkøler man det til en Temperatur, der er lavere end Smeltepunktet; Legemet er derved kommen over i fast Form og bringes saaledes ned i Kalorimetret. Dette bliver nu afkølet, og den Varme, det mister, forbruges til Opvarming af Legemet i fast Form, til dets Smeltning og til dets Opvarming i flydende Tilstand. Regningen er iøvrigt som ovenfor.

Metoden forudsætter, at Legemet ikke, hverken i fast eller flydende Tilstand, angribes af Vandet. Angriber Vandet Legemet, maa dette være indesluttet i en Metalbeholder, som ikke angribes af Vandet, og som maa tages med i Regning.

Is har større Smeltningsvarme end noget andet Legeme; Zinks Smeltningsvarme er ca. 28, Blyets ca. 5 Varmeenheder. — Naar Vand fryser, gaar dette forholdsvis langsomt fremad, thi den ved Frysningen udviklede store Varmemængde skal først bortledes.

Nogle Legemer, f. Eks. Voks, Glas, Smør, Smedejærn, gaa ved Opvarmning gradvis over til den flydende Tilstand, idet de blive bløde og det desto mere, jo nærmere de komme til den egentlige Smeltning. Derfor kan man ælte Smør og Voks, sammensveise Smedejærnsstykker og blæse Glas. Varmebindingen begynder for saadanne Legemers Vedkommende tidligere end ved den egentlige Smeltning. Andre Legemer, f. Eks. Is, Stæarin, Svovl, Støbejærn, smelte derimod uden først at blive bløde.

52. Rumfanget under Smeltningen. De fleste Legemer udvide sig ved Smeltningen (trække sig sammen ved Størkningen), men der gives herfra en Del Undtagelser. Til Undtagelserne hører Is, idet 1 Kubikfod Is ved Smeltning bliver til ca. 0,92 Kfd. Vand; Isens Vægtfylde er 0,92, hvorfor det flyder ovenpaa Vandet, hvilket spiller en stor Rolle i Naturen, idet Søers Bundfrysning derved forhindres. At Vand ud-

vider sig, naar det fryser, kan man se ved at fylde en Flaske helt med Vand, lukke tæt med en Prop og saa udsætte Flasken for stærk Frost; naar Vandet da fryser, sprænges Flasken. Fugtig Muldjord smuldrer hen i Frostvejr; Klippestykker kunne sprænges ved Frysning af det Vand, der har samlet sig i Revnerne. Støbejern forholder sig som Isen; naar det flydende Jern størkner, udvider det sig og vil altsaa helt kunne udfylde en Forms enkelte Dele.

Undertiden indtræder der nogle særlige Rumfangsforandringer under eller i Nærheden af Smeltningen. Den før nævnte Rose's Legering udvider sig regelmæssig indtil $43,7^{\circ}$, men derpaa trækker den sig sammen, indtil dens Rumfang ved $68,7^{\circ}$ naar et Minimum, som er mindre end Rumfanget ved 0° ; derpaa udvider den sig igen stærkt, men ved Temperaturer, der ligge over 100° , udvider den sig ganske som under $43,7^{\circ}$. Fig. 31 giver et Billede af disse Forhold; Abscisserne ere Temperaturerne, Ordinaterne ere Forøgelserne i Rum-

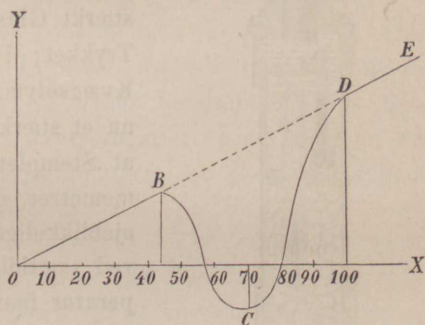


Fig. 31.

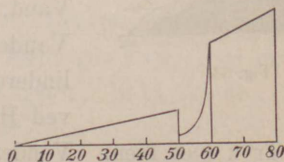


Fig. 32.

fang. Stearin, som smelter ved 60° , udvider sig regelmæssig indtil 50° ; ved denne Temperatur trækker det sig pludselig sammen og udvider sig derpaa stærkt fra 50° til 60° (Fig. 32).

53. Smeltepunktets Forandring ved Tryk. Udover man store Tryk paa Is, saa synker dets Smeltepunkt lidt; der skal omtrent 130 Atmosfærers Tryk til for at sænke Smeltepunktet 1° . Denne Sænkning af Smeltepunktet er iagttaget paa forskellig Maade.

Fyldes stærke Jærnbomber helt med Vand og lukkes tæt, skal der en meget stærk Afkøling til for at faa Bomberne sprænge; samtidig med Sprængningen trykkes Isen ud, saa at det er sandsynligt, at Vandet først fryser i Sprængningsmomentet.

Will. Thomson har til Forsøg over denne Sag benyttet et Ørsted's Sammentrykningsapparat (Fig. 33), som var halvt

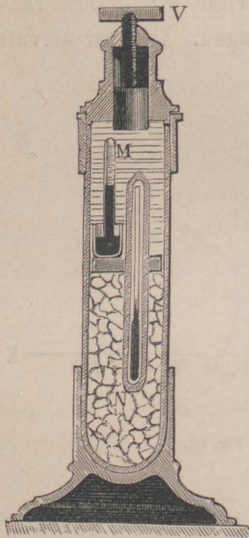


Fig. 33.

fyldt med Is, der blev holdt nede af en Blyring, og Resten var fyldt med Vand; i Isen var der stillet et Thermometer *N*, som var omgivet af et stærkt Glasrør for at kunne modstaa Trykket; i Vandet fandtes et lukket Kvægsølvmanometer *M*. Udøves der nu et stærkt Tryk paa Vandet derved, at Stemplet skrues nedad, vil Thermometret, der jo altid maa angive det øjeblikkelige Smeltepunkt, synke Noget; ved samtidig at aflæse Tryk og Temperatur faar man en Tabel over Isens Smeltepunkter ved forskellige Tryk.

En Staalcylinder fyldes helt med Vand, og en Mønt lægges paa Bunden; Vandet bringes til at fryse, og Cylinderen lukkes foroven med en Skrue, ved Hjælp af hvilken man udøver et stærkt Tryk paa Isen. Vender man saa op og ned paa Cylinderen og tager Skruen ud, viser det sig, at Cylinderen ligesom før er fyldt med Is, men Mønten er nu i Berøring med Skruen, saa at det er aabenbart, at Isen har været smeltet under Indflydelsen af det stærke Tryk, men er frosset igen, da Trykket ophørte.

Is viser endvidere det ejendommelige Forhold, at naar to vaade Isstykker trykkes imod hinanden eller blot berøre hinanden, saa fryse de sammen, selv ved en Temperatur, der er over 0° , f. Eks. i varmt Vand. Dette af Faraday iagttagne Fænomen kaldes Isens Regelation. — Derfor kan

man kun lave Snebolde af Tøsne, ikke af Frostsne, som her-til vilde kræve meget store Tryk.

Bringer man Isstykker imellem to Forme af Træ, i hvilke der er Fordybninger som Kuglesegmenter, og presser Formene stærkt imod hinanden, finder man ved at aabne Formen en Linse af klart Is (Tyndall).

Naar man lægger en Metaltraad over en Isblok ved 0° og belaster Traaden i dens Ender med to store Vægte, saa skærer Traaden sig langsomt igennem Isen, men de adskilte Stykker fryse straks sammen igen, saa at det kan være vanskeligt nok at se, hvor Overskæringen har fundet Sted.

Men ikke alene Isens Smeltepunkt forandres ved Tryk, det samme gælder for alle Legemer, dog paa forskellig Maade: de Legemer, som udvide sig under Smeltningen, faa deres Smeltepunkt hævet ved en Trykforøgelse, og de Legemer, som trække sig sammen under Smeltningen, faa deres Smeltepunkt sænket ved en Trykforøgelse.

54. Opløsningsvarmen. Et fast Legeme kan blive flydende paa to Maader: enten ved at smelte eller ved at opløses. Naar et Legeme opløses, sker dette, fordi der er en større Adhæsion imellem Legemets og Vædske's Molekyler, end der er Cohæsion i det faste Legeme. Til Legemets Opløsning maa der nu aabenbart forbruges Varme, og dette viser ogsaa Erfaringen. Opløses Kogsalt, Salmiak etc. hastig i Vand, synker dettes Temperatur.

Ved et Legemes Opløsningsvarme forstaas den Varmemængde, som maa tilføres den Vædske, hvori 1 Kilogram af Legemet opløses, for at forhindre Temperaturen fra at synke. Opløsningsvarmen er imidlertid noget afhængig af Vædskemængden, hvori Opløsningen sker, og afhænger tillige af Temperaturen, idet den i Reglen aftager, naar Temperaturen vokser.

Varmeforbruget ved et Legemes Opløsning kan være saa stort, at det kan benyttes til Frembringelse af kunstig Kulde, de saakaldte Kuldeblandinger. Opløses saaledes 1 Del Salmiak i 2 Dele Vand, synker Temperaturen ca. 18° ; opløses Sne eller Is i fortyndet Svovlsyre, kan Temperaturen

synke til ca. $\div 50^{\circ}$. Blandes Kogsalt og Sne eller stødt Is sammen, kan Temperaturen synke til $\div 21^{\circ}$ (1 Del Kogsalt og 3 Dele Sne), hvilket er den mættede Saltopløsnings Frysepunkt, og lavere kan Temperaturen naturligvis ikke komme; her medgaar der Varme baade til Isens Smeltning og til Saltets Opløsning. 2 Dele krystalliseret Klorkalcium og 1 Del Sne give $\div 42^{\circ}$.

VI. Fordampning og Fortætning.

55. Et Legeme siges at fordampe, naar det gaar over i den luftformige Tilstand. Baade faste Legemer og Vædsker kunne fordampe, hvilket ofte kan ses deraf, at de formindskes i Vægt ved i længere Tid at henligge eller henstaa i Luften. Legemer, der let fordampe, kaldes flygtige.

Fordampning af Kamfer, Moskus, mange Metaller etc. kan iagttages derved, at de lugte. Isens Fordampning ses af, at man kan tørre Tøj i Frostvejr.

I det følgende betragte vi væsentlig Fordampning af Vædsker.

56. En Vædske kan fordampe ved enhver Temperatur. Lidt Vand, der henstaar i en flad Skaal, vil efter nogen Tids Forløb være borte; det er i Luftform gaaet over i Atmosfæren. Eau de Cologne, Æther fordampe let. Ogsaa Kviksølv fordamper under almindelige Forhold og ved betydelig lavere Temperaturer; man kan se dette ved at hælde lidt koldt Kviksølv i et langt Glasrør, hvor der noget højere oppe sidder en Ring af Svovl; efter nogen Tids Forløb er baade Svovlet og Kviksølvet blevet sort af Svovlquiksølv, saa at de begge maa have fordampet.

Fordampningen fremmes ved at formindskes Luftens Tryk paa det fordampende Legeme, men navnlig ved at forøge Temperaturen.

57. Kogning. I Almindelighed foregaar Fordampningen kun fra Overfladen; men opvarmer man stadig Vædsken, vil man naa til en Temperatur, ved hvilken der begynder at danne sig Dampbobler paa det Sted af Karret, hvor Varmetilførselen sker, altsaa som oftest ved Karrets Bund; fortsættes Varmetilførselen, vil der stadig danne sig nye Dampbobler, som stige igennem Vædsken op til Overfladen, hvor de forlade Vædsken. Denne siges da at koge.

Saalænge Kogningen staar paa, holder Temperaturen sig uforandret, hvoraf man lærer, at al den Varme, der under Kogningen tilføres Vædsken, forbruges til Dampdannelsen. Vi have altsaa her et til Smeltningen svarende Fænomen.

Betingelsen for, at Kogningen skal indtræde, er altsaa den, at Dampene, der udvikles nede i Vædsken skulle udøve Tryk nok til at overvinde 1) Vædskens Vedhængning ved Karret, 2) den overliggende Vædskesøjles Vægt og 3) Trykket paa Vædskens Overflade. Jo større disse Hindringer ere, desto højere maa Dampenes Temperatur være, for at de skulle kunne overvinde dem. Vand, der staar til en stor Højde i et Kar skal have en højere Temperatur for at komme i Kog, end Vand, der staar lavt. — I et Glas-
kar begynder Kogningen ved en højere Temperatur end i et Metalkar paa Grund af den større Vedhængning til Karvæggen.

Medens en Dampboble stiger op igennem den kogende Vædske, formindskes det Tryk, der hviler paa den; den vil altsaa udvide sig, men bliver derved afkølet og det desto mere, jo nærmere den kommer Overfladen. I det Øjeblik, Dampboblen forlader Vædsken, er dens Tryk lig Trykket paa Vædskeoverfladen, og den Temperatur, den har i dette Øjeblik, afhænger derfor ene og alene af Trykket paa Overfladen.

58. Ved en Vædskes Kogepunkt forstaar man Temperaturen af Dampene, der forlade den kogende Vædske. Kogepunktet afhænger da som nævnt ene og alene

af Trykket paa Vædskens Overflade og varierer med dette, saaledes at Kogepunktet stiger, naar Trykket vokser, og omvendt. En Vædske kan derfor komme til at koge ved højst forskellige Temperaturer, naar man blot indretter Trykket paa Vædskeoverfladen derefter.

Ved normalt Lufttryk (760^{mm}) koger Vand ved 100°, Kviksølv ved 357°, Vinaand ved 78½°, Æther ved 35°. — Ved 2 Atmosfærers Tryk koger Vand ved 121°, ved 15 Atmosfærers Tryk ved 200°; ved ¼ Atmosfæres Tryk sker Kogningen ved 64°.

En Vædske kan ikke have en Temperatur, der er større end Kogepunktet for det Tryk, som Vædsken er underkastet. Har man f. Eks. Vand ved 100°, og man formindsker Lufttrykket til ¼ Atm. Tryk, vil Vandet komme i livligt Kog, og Temperaturen vil synke til 64°, selv om man vedbliver at fyre under; ved denne Temperatur kan man saa holde Vandet, naar man blot sørger for at bortpumpe Dampene, saaledes at Trykket ikke vokser.

Naar der er opløst Salte i Vand, vil et Thermometer, som anbringes i Opløsningen, medens den koger, vise en Temperatur større end den, rent Vand har, og jo større Saltprocenten er, desto højere Temperatur har den kogende Vædske. Anbringes et Thermometer derimod i Dampene fra den kogende Vædske, viser det 100°; dette hidrører dog fra, at der slaar sig nogen Vanddamp ned som Vædske paa Thermometerkuglen, og dette rene Vand fordamper saa igen; hindrer man denne Fortætning af Dampene ved at opvarme Thermometret, før det kommer ned i Dampene, saa viser det en Temperatur, der er højere end 100°, men som dog ikke naar den kogende Vædskes Temperatur.

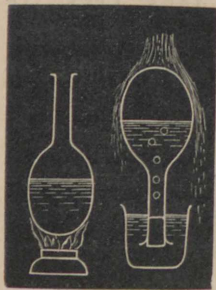


Fig. 34.

59. Kogning ved lavt Tryk og altsaa ved forholdsvis lav Temperatur kan ske paa følgende Maade. Vandet i en Kolbe bringes i Kog og holdes i Kog, indtil al Luft er uddreven; derpaa slaas en Prop i Kolbens Hals, Kolben vendes om, og dens Halsmunding bringes ned under Vand, for at der ingen Luft skal trænge ind. Derpaa hældes koldt

Vand ned over Kolben, hvorved Dampene i dens øverste Del tildels fortættes, og naar Trykket paa den Maade er formindsket tilstrækkelig, kommer Vandet i livligt Kog.

Har man lunkent Vand i en Kolbe og ved Hjælp af en Luftpumpe udpumper Luften, kan Vandet derved bringes i Kog.

Pulshammeren (Fig. 35) er et Glasrør, hvortil der er udblæst 2 Kugler, *A* og *B*; i Apparatet findes Vinaand og Vinaandsdampe, men ingen atmosfærisk Luft; det er blevet gjort lufttomt paa den Maade, at Vinaanden blev bragt i Kog, førend Røret tilmeltes (ved *a*). Man



Fig. 35.

holder nu Apparatet i den i Figuren viste Stilling (Røret vandret, Kuglerne opadvendte) og lægger en Haand om den ene Kugle, f. Eks. *A*. Ved Haandens Varme udvikles der flere Dampe over Vinaanden i *A*; disse Dampe trykke paa Vædsken, som derfor synker i *A* og stiger i *B*; tilsidst er al Vædske bragt over i *B*, og derpaa bobler der Vinaandsdampe op igennem Vædsken i *B*. Man har altsaa bragt Vinaanden i Kog ved Haandens Varme.

60. Kogning ved højt Tryk, altsaa ved forholdsvis høj Temperatur, finder Sted i Papins Gryde (Fig. 36). Denne bestaar af en stærk Jærngryde med paaskruet Laag *AB*, som bærer en Sikkerhedsventil: Laaget har et Hul, der er dækket med en tætsluttende Plade eller Prop *P*, som trykkes ned imod Aabningen ved Hjælp af et Vægtlod *Q*, der i Reglen virker paa den lange Arm *ac* af en enarmet Vægtstang, der har sit Hvilepunkt i *a* og ved *b* hviler paa *P*. Opvarmes nu den Vædske, som er indesluttet i Gryden, vil Temperaturen stadig stige, og Dampene fra Vædsken blive i Rummet over denne og forøge stadig Trykket; men naar Trykket er blevet saa stort,

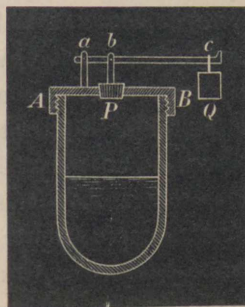


Fig. 36.

at det netop kan løfte P , saa indtræder Kogningen, og denne fortsættes derpaa under det Tryk, der udøves paa P .

61. Hypsometret. Kogepunktets Variation med Lufttrykket har man benyttet til Højdemaalinger, idet en Vædskes Kogepunkt maa ligge desto lavere, jo højere man kommer tilvejs. Som Vædske tages Vand, og det Apparat, Hypsometret, der benyttes, er i det væsentlige som det i Fig. 4 afbildede Apparat. Man har fundet, at Højdeforskellen imellem to Steder omtrentlig kan sættes lig $294 (t_1 - t_2)$ Meter, naar t_1 og t_2 ere Kogepunkterne paa de to Steder. Thermometrene maa være meget fintmærkende.

62. Overhedning af en Vædske. Naar man i nogen Tid har ladet Vand koge, og man derpaa afkøler det, medens det er ude af Berøring med Luften, f. Eks. ved at bedække det med et Olielag, saa vil en Kogning ikke igen indtræde, naar Vandet opvarmes til 100° . Det maa ophedes betydelig mere, inden der finder en Kogning Sted, ja man har endog kunnet opvarme det til 200° , uagtet Trykket paa Vandet kun er 1 Atmosfære; indtræder saa Kogningen, sker det eksplosionsvis. Det fremgaar heraf, at den i Vandet indeholdte Luft spiller en Rolle ved Kogningsfænomenet, hvad der ogsaa er rimeligt, thi Dampboblen kan, naar der er Luft i Vandet, ganske simpelt dannes paa den Maade, at en lille Luftmængde optager i sig Damp fra Vædsken, og dette er Begyndelsen til Dampboblens Dannelse; men mangler der Luft, saa skal Dampen sønderrive Vandets Dele, for at Boblen kan dannes, altsaa overvinde Sammenhængskraften, og dertil kræves der et større Tryk og altsaa en højere Temperatur. Det viser sig ogsaa, at naar man bringer fintdelte eller porøse Legemer ned i en overhedet Vædske, saa indtræder Kogningen straks, og Temperaturen synker ned imod det almindelige Kogepunkt; de omtalte Legemer virke ved de Lufthinder, som sidde paa dem. Dampene fra det kogende Vand have dog altid en Temperatur, der alene afhænger af Trykket paa Overfladen.

63. Mættet og ikke mættet Damp. Et Rum siges at være mættet med Damp, naar det under de tilstede værende Forhold — d. e. det tilstede værende Tryk og den tilstede værende Temperatur — ikke kan optage mere Damp.

Mætningen viser sig derved, at der i Rummet bliver Vædske tilbage, som ikke kan fordampe.

Forøges Temperaturen af eller formindskes Trykket paa mættet Damp, saa kan Rummet optage mere Damp, før det bliver mættet. Formindskes derimod Temperaturen eller forøges Trykket, saa kan Rummet ikke mere indeholde al Dampen, og en Del af den fortættes til Vædske — saa meget, at Rummet nu bliver mættet under de nye Forhold.

64. Ikke mættet (overheded) Damp forholder sig ganske som Luftarterne. At ikke mættet Damp følger Mariottes Lov kan vises ved et Apparat som det i Fig. 37 afbildede: i et Kar med Kviksølv er der nedsat to Barometerrør; det ene af disse er længere end det andet, og Karret har en saadan Form, at det længere Rør kan sænkes i Karret. Barometerrørene ere oprindelig fyldte med Kviksølv, og over dette er et lufttomt Rum; nu lader man lidt Vand stige op i det lange Rør; saa snart det da kommer op i det tomme Rum vil det fordampe, hvilket sker i et Øjeblik, og man ser, at Kviksølvet i Røret synker; der bringes ikke mere Vand op i Røret, end at det altsammen fordamper. Paa en Inddeling fraoven og nedefter langs det længere Rør kan Dampens Rumfang v aflæses, og dens Tryk maales ved den lodrette Afstand ab imellem Kviksølvoverfladerne i de to Rør. Sænkes nu det lange Rør lidt, vil Kviksølvoverfladen deri ogsaa synke lidt, saa at vi faa et mindre Rumfang v_1 af Dampen, men et større Tryk ac , idet Punktet c er i Højde med den nye Overflade i Røret. Hæves Røret derimod, vil Kviksølvet stige noget (dog kan det aldrig stige saa højt som til a), og vi faa et større Rumfang v_2 , men et mindre Tryk ad , idet nu d er i Højde med Overfladen i Røret. Følger nu Dampen Mariottes Lov, skal man have

$$v \cdot ab = v_1 \cdot ac = v_2 \cdot ad,$$

og dette vil ogsaa omtrentlig slaa til.

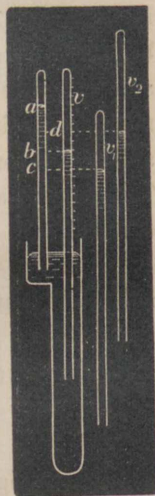


Fig. 37.

Endvidere udvider umættet Damp sig ved Opvarmning med en Udvidelseskoefficient, der er c. $0,003665 = \frac{1}{273}$, ligesom Luften. Dette kan man undersøge ved først at omgive det lange Rørs øverste Del med stødt Is og aflæse saavel Dampens Rumfang som dens Tryk; derpaa opvarmes det lange Rør til en bekendt Temperatur (Apparatet anbringes i et Vandbad), og naar der er kommen Ligevægt tilstede, hæves Røret, indtil der er den samme lodrette Afstand imellem Kvægsølvoverfladerne i de to Rør, som der var ved 0° ; Rumfanget aflæses da, og Udvidelseskoefficienten kan da let findes.

65. Mættet Damp. Naar man sænker det lange Rør i det i Fig. 37 afbildede Apparat, saa at Dampens Rumfang bliver mindre, Trykket derimod større, saa vil man finde stedse større Afvigelser fra Mariottes Lov, og tilsidst naar man en Stilling, ved hvilken Kviksølvoverfladen bliver staaende stille, selv om Røret yderligere sænkes (dette sker ved 15° 's Temperatur allerede ved en lodret Afstand imellem Kviksølvoverfladerne paa c. $12\frac{1}{2}^{mm}$). Samtidig ser man, at der er kommen lidt Vand ovenpaa Kviksølvet, saa at det er aabenbart, at Rummet er blevet mættet med Damp, og man lærer altsaa, at Trykket af mættet Damp er uafhængigt af Dampens Rumfang. Den eneste Forandring, der gaar for sig, naar Røret sænkes dybere, er den, at der dannes lidt mere Vand, og denne Vandmængde formindskes igen, naar man giver sig til at hæve Røret.

Derimod varierer mættet Damps Tryk med Temperaturen, thi naar man opvarmer Røret, synker Kviksølvet, og naar man afkøler det, stiger Kviksølvet; i første Tilfælde bliver Vandmængden formindsket lidt, i sidste forøget lidt; selvfølgelig maa man ikke opvarme saa stærkt, at alt Vandet forsvinder. Mættet Damps Tryk afhænger alene af Temperaturen, og for samme Temperatur udøver Damp sit Maximumstryk, naar den er i mættet Tilstand.

66. Naar et Rum med mættet Damp har forskellige Temperaturer paa forskellige Steder, saa afhænger Trykket altid af den laveste Temperatur. Dette kan man vise ved et Apparat som det, der er afbildet i hosstaaende Figur. I Beholderne *A* og *B* er der noget Æther; dette bringes i

Kog, og Ætherdampene ville derved drive Luften ud igennem det lange Rør *a*. Naar Luften er uddreven, sætter man en Skaal med Kviksølv op omkring Munden af *a*, og derpaa afkøles *A* og *B*, f. Eks. ved at omgives med stødt Is. Kviksølvet stiger da et Stykke op i *a*. Borttages derpaa Isen omkring *A*, og opvarmer man *A*, saa forandres ikke derved Kviksølvets Stilling i *a*; den eneste Forandring, der sker, er den, at Ætheren damper bort i *A* og fortættes igen i *B*.

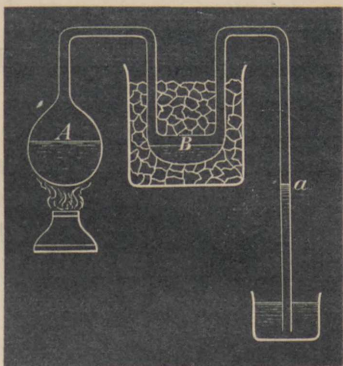


Fig. 38.

67. Maaling af mættede Vanddampes Tryk ved Temperaturer, der ligge under 100° , kan ske ved et Apparat bestaaende af to Barometerør i en Skaal med Kviksølv. Der bringes saa meget Vand op i det ene Rør, at Rummet over Kviksølvet er mættet, saa at der altsaa ligger lidt Vand tilbage paa Kviksølvet. Trykket aflæses, ligesom ogsaa Luftens Temperatur. Vil man nu finde Vanddampernes Tryk ved højere Temperaturer, f. Eks. ved 40° , saa omgives Barometerørerne med et stort cylindrisk Glas, der stilles i Kviksølvskaaalen, og som bliver fyldt med Vand; ved Hjælp af en Ovn opvarmes det Hele til 40° — ved en Omrører sørger man for, at Vandet helt igennem har samme Temperatur; man bestemmer da Dampens Tryk og iagttager Temperaturen (Korrektioner maa anvendes for Kviksølvets Opvarmning). Saaledes kan man fortsætte lige op til 100° ; naar Dampen har denne Temperatur, vil Kviksølvet inde i Røret staa i Højde med Kviksølvet udenfor,

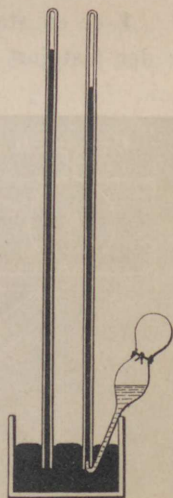


Fig. 39.

saa at mættet Vanddamps Tryk ved 100° er 1 Atmosfære, saaledes som det ogsaa tidligere er nævnt.

Vil man finde Vanddampes Tryk ved meget lave Temperaturer, saa ombyttes blot det Rør, hvori Dampen findes, med et andet, hvis øverste Del er ombøjet og udvidet til en Beholder. Denne Beholder kan omgives med Is eller med Kuldeblandinger, og ifølge 66 er Trykket af den Damp, som er over Kviksølvet, afhængig af den laveste Temperatur i Beholderen. Selv ved meget lave Temperaturer udøver Vanddampe et Tryk.

Hvis det i Fig. 39 afbildede Apparat var blevet anvendt til Forsøg over mættede Vinaandsdampes Tryk, vilde man have fundet, at Kviksølvet vilde staa lige højt i Røret og i Skaalen ved $78\frac{1}{2}^{\circ}$.

68. Trykket af mættet Vanddamp ved Temperaturer, der ligge over 100° , eller — hvad der er det samme — det Tryk, som Vand skal være underkastet, naar Kogepunktet skal overstige 100° , er bestemt af Regnault paa følgende Maade.

V er en stærk Jærnkedel, som indeholder Vand; i Laaget er der fastgjort to Metalrør, som hvert indeholde et Thermo-

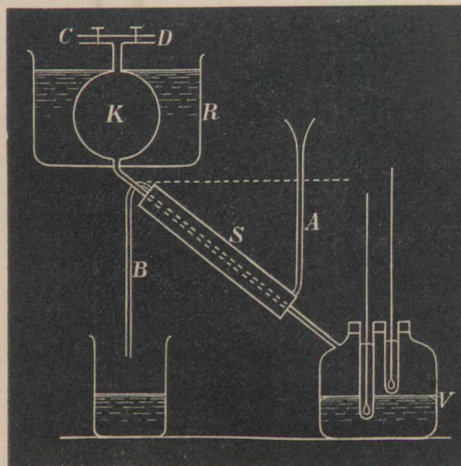


Fig. 40.

meter, omgivet af Olie; det ene gaar ned i Vandet, det andet befinder sig over Vandfladen. V staaar ved et skraat Rør i Forbindelse med Metalkuglen K, som er omgivet af koldt Vand for stadig at holdes ved samme Temperatur. Fra K fører der to Rør, C og D; det ene fører hen til en Fortætningspumpe,

det andet til et Manometer. Det skraa Rør er omgivet af et Svalerør S, som modtager koldt Vand igennem Røret A, og

dette Vand har Afløb igennem Røret *B* (*A* maa gaa højere op end den øverste Ende af *S*). Ved denne Ordning har man opnaaet, at Dampene fra Vandet i *V*, naar dette opvarmes, straks fortættes i det skraa Rør og løbe tilbage som Vand, saa at de ikke blive i Apparatet som Damp, der stadig forøger Trykket.

Man gaar nu saaledes frem. Man tilvejebringer et vist Lufttryk ved Hjælp af Fortætningspumpen og fyrer under *V*; de to Thermometre stige da, men staa sluttelig stille ved en bestemt Temperatur; man ved da, at Vandet i *V* koger, og saavel Temperatur som Tryk aflæses. Derpaa forøges Lufttrykket, og Thermometrene ses at stige, hvilket tilkendegiver, at Kogningen er ophørt; men efter nogen Tids Stigen staa de atter stille, og man aflæser atter Temperatur og Tryk. Saaledes fortsættes.

Man har bl. a. fundet følgende Tryk ved de vedføjede Temperaturer:

Temp. . . 0° 50° 100° 121° 134° 200°

Tryk . . . $\frac{1}{170}$ $\frac{1}{8}$ 1 2 3 16 Atm. Tryk.

Trykket ses altsaa at stige i et langt stærkere Forhold end Temperaturen; med stor Tilnærmelse er Trykket proportionalt med 4de Potens af Temperaturen.

69. Blanding af Luft og Damp samt af forskellige Damp. En Vædske kan som bekendt fordampe i Luften, og Atmosfæren indeholder saaledes altid nogen Fugtighed i Form af Vanddamp. Det lader sig nu godtgøre, at det Tryk, som Damp udøver i et luftfyldt Rum, er meget nær lig med det Tryk, som den udøver i et ligesaa stort tomt Rum ved samme Temperatur. Ved Vædskens Fordampning er der den Forskel, at den sker saa at sige øjeblikkelig i et tomt Rum, men derimod tager den i et luftfyldt Rum nogen Tid.

Man kan undersøge denne Sag ved et Apparat, som Fig. 41 viser. *A* er et cylindrisk inddelt Glasrør med Jærnindfatninger for-



Fig. 41.

oven og forneden; forneden er det i Forbindelse med et andet, aabent Glasrør *C*. Jærnindfatningen foroven ender i en Trag *D*, i hvis Hals der sidder en Hane *E*, som dog ikke har nogen Gennemboring, men kun en lille Fordybning, som ved Forsøgets Begyndelse vender opad. I Rørene *A* og *C* er der Kviksølv, og over Kviksølvet i *A* er der fuldstændig tør Luft; vi ville antage, at Kviksølvets Overflader staa ved *a* og ved *b*. Man hælder da lidt Vand ned i Tragten, Fordybningen i Hanen *E* fyldes dermed, og naar Hanen saa drejes rundt, falder dette Vand ned paa Kviksølvet i *A* og fordamper; dette gentages flere Gange, indtil der bliver lidt Vand tilbage, som ikke fordamper. Under Fordampningen ser man, at Kviksølvet falder i *A*, stiger i *C*, men man hælder, naar Rummet er blevet mættet med Damp, Kviksølv ned i *C*, indtil det i Røret *A* igen staaer ved *a*; hvis saa Kviksølvet i Røret *C* staaer ved Mærket *c*, vil *b c* angive Trykket af den mættede Damp, og dette vil vise sig at være lig med det Tryk, som mættet Vanddamp udøver i et lufttomt Rum ved den Temperatur, der var tilstede under Forsøget.

Har man altsaa en Blanding af tør Luft og Vanddamp, saa er Blandingens Tryk lig Summen af den tørre Lufts Tryk og Dampens Tryk. Regnault har dog fundet, at Vanddamp i Luften altid udøver et lidt mindre Tryk end i det lufttomme Rum; en Del større er Afvigelsen for mere flygtige Vædske's Vedkommende.

Naar en Blanding af flere Vædske's fordampe i et Rum, indtil dette er mættet med Damp, saa kan der indtræde forskellige Tilfælde. Dersom de to Vædske's ikke kunne blandes med hinanden, men ligge adskilte, saa vil Dampblandings Tryk meget nær være lig med Summen af de enkelte Dampes Maximumstryk ved den tilstede værende Temperatur; dersom Vædskerne kunne blandes i alle mulige Forhold (Vand og Vinaand), vil Dampblandings Tryk have en Værdi, der ligger imellem de enkelte Dampes Tryk; og dersom Vædskerne kun kunne blandes i visse Forhold (Vand og Æther), er Dampblandings Tryk nærmest ved den mest flygtige Vædske's Damptryk.

70. Har man ved Midler, som senere skulle blive omtalte, fundet Trykket f af Vanddampen i Atmosfæren, og Barometerstanden er H , saa er Trykket af den tørre Luft lig $H - f$ (69). 1 Kubikcentimeter af saadan Luft vil da, idet Vanddamps Vægtfylde er $\frac{5}{8}$ af Luftens, veje (17):

$$\frac{a(H-f)}{760(1+\alpha t)} + \frac{\frac{5}{8}af}{760(1+\alpha t)} = \frac{a(H-\frac{3}{8}f)}{760(1+\alpha t)} \text{ Gram,}$$

hvor a er Vægten af 1 Kubikcentimeter tør Luft ved 0° og 760^{mm} Tryk, t er Temperaturen i Luften, og α Luftens Udvidelseskoefficient.

Et Legeme, hvis Vægt er p Gram i det tomme Rum (den sande Vægt), og hvis Rumfang ved 0° er v_0 Kubikcentimeter, vil i Luft af ovennævnte Beskaffenhed veje i Gram

$$p \div v_0 (1 + \beta t) \cdot \frac{a(H - \frac{3}{8}f)}{760(1 + \alpha t)},$$

hvor β er Legemets Udvidelseskoefficient.

71. Dampes Vægtfylde. Denne angives altid i Forhold til den atmosfæriske Luft ved samme Tryk og Temperatur (jfr. Slutningen af 17); man skal altsaa for at finde en Damps Vægtfylde kende Dampens Vægt og Vægten af det samme Rumfang atmosfærisk Luft ved samme Tryk og Temperatur. Bestemmelsen af Dampes Vægtfylde maa ske ved Temperaturer, der ligge noget over Mætningspunktet.

Blandt de forskellige Metoder, der her kunne anvendes, skal nævnes V. Meyer's. Apparatet (Fig. 42) bestaar af en aflag Beholder A af Glas eller Platin, der fortsætter sig i det snævre Rør B med Udvidelsen C foroven; fra C fører det bøjede Rør D ud til Siden, og i Mundingen af C passer en Kautschukprop. Apparatet anbringes nu i Damp af en kogende Vædske eller i smeltet Bly, saaledes at det faar en høj, konstant Temperatur; naar den varme Luft indendefor har sat sig i Ligevægt med Luften udenfor, fører man Røret D 's Munding ind under Vandet i et Kar og sætter et omvendt, med Vand fyldt, inddelt Glasrør hen over Mundingen. Derpaa

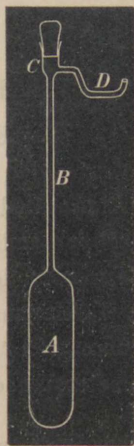


Fig. 42.

lader man en lille Glaskugle, som indeholder en vis Vægt p af den Vædske, hvis Dampe man vil undersøge, falde ned i Apparatet og lukker strax C med Proppen; Glaskuglen gaar da itu, og Vædsken fordamper; derved drives der igennem D nogen Luft ud, som bobler op igennem Maalerøret og trykker Vandet heri et Stykke ned. Ud af Apparatet er der nu aabenbart gaaet en Luftmasse, hvis Rumfang er lig Dampens Rumfang ved det Tryk (Atmosfærens Tryk) og den Temperatur, som findes i Apparatet; men denne Luftmasse har i Maalerøret faaet en anden Temperatur og et andet Tryk, ligesom den her mætter sig med Vanddampe. Man aflæser nu Barometerstanden H , maaler den lodrette Afstand h imellem Vandoverfladen i Maalerøret og i Karret og aflæser Luftens Rumfang v . Den fordrevne Luftmængde er da nu underkastet Trykket $H - \frac{h}{d} - f$, hvor d er Kvægsølvets Vægtfylde, og f er Vanddamps Maximumstryk ved den Temperatur t^0 , som haves i Maalerøret; Vægten af denne Luftmasse er altsaa lig (17)

$$\frac{a v (H - \frac{h}{d} - f)}{760 (1 + \alpha t)} \text{ Gram,}$$

hvor a er Vægten af en Kubikcentimeter atmosfærisk Luft ved 0^0 og 760^{mm} Tryk. Dampens relative Vægtfylde bliver da

$$\frac{p \cdot 760 (1 + \alpha t)}{a v (H - \frac{h}{d} - f)}.$$

Vanddamps relative Vægtfylde findes at være c. $\frac{5}{8}$.

72. En Vædskes Fordampningshastighed er bestemt ved Mængden af Damp, der i Tidsenheden forlader en Arealenhed af Vædskens Overflade. Fordampningshastigheden er forskellig for de forskellige Vædsker under ellers lige Forhold; den er størst for de mest flygtige Vædsker.

Har man Vand ved T^0 , som fordamper i et Rum med Temperaturen t^0 , og er Trykket af Vanddampene i Luften f , Barometerstanden H , saa kan man omtrentlig sætte Fordampnings-

hastigheden lig
$$k \frac{F_T \div f}{H},$$

hvor k er en Konstant, og F_T mættede Vanddampes Tryk ved den Temperatur, som Vædsken har.

Dersom Vandet har samme Temperatur som Luften, og denne er mættet med Vanddamp, har man $F_T = f$ og faar da af Formlen Fordampningshastigheden 0; d. e. Vandet fordamper ikke.

Gaar der en Luftstrøm henover en Vædskeoverflade, sker Fordampningen livligere; dette hidrører fra, at Luften ligeover Vædsken mætter sig med Damp og derved hæmmer den videre Fordampning; men ved Luftstrømmen føres disse Luftlag bort, saa at der kommer mere dampfri Luft istedetfor, og derved paaskyndes Fordampningen.

73. Varmeforbrug ved Fordampning. Vi have nævnt i 57, at al den Varme, man tilfører en Vædske, medens den koger, forbruges til Dampdannelsen. Denne Varme siges at være bunden ved Fordampningen, og den findes i bunden eller latent Tilstand i Dampene; naar disse atter fortættes til Vædske, udvikles eller frigøres den bundne Varme.

Men ogsaa naar en Vædske fordamper uden at koge, forbruges der Varme, hvorpaa man har mange Eksempler.

En flygtig Vædske, der staar hen i Luften, er paa Grund af Fordampningen altid koldere end Omgivelserne. — Svinger man en vaad Haand rundt i Luften, mærker man en kendelig Afkøling. — Ved at puste paa Overfladen af en flygtig Vædske, fremmer man Fordampningen og dermed Afkølingen. — Vandkølere ere porøse Lerflasker, i hvilket Vand holder sig koldt paa Grund af Fordampningen, der kan finde Sted gennem det porøse Ler.

Vand kan bringes til at fryse ved sin egen Fordampning; dette sker i Wollaston's Kryofor eller Frostflytter (Fig. 43). Denne bestaar af to Glaskugler A og B , forbundne ved et bøjet Rør; inde i Apparatet er der Vand, og al atmosfærisk Luft er bragt ud ved Vandets Kogning, før Apparatet blev tilsmeltet. Alt Vandet bringes nu over i den ene Kugle (A), og den anden (B) sættes ned i en Kuldeblanding; Dampene i B fortættes da, hvorved Trykket paa Vandet i A formindskes, hvilket fremkalder en yderligere Fordampning og dermed en Afkøling. Lader man derfor Apparatet blive staaende i nogen

Tid paa denne Maade, vil der ske en stadig Fortætning af Damp i *B* og en stadig Fordampning af Vandet i *A*; til Slutning er Temperaturen af Vandet i *A* sunket saa meget, at Vandet bedækker sig med en Isskorpe; ogsaa Is fordamper, saa at Isdannelsen bliver ved.

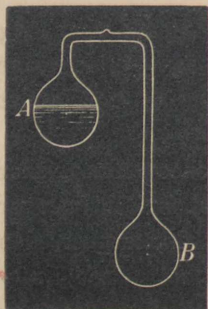


Fig. 43.

Den Mængde Varme, der forbruges til at forvandle 1 Kgm. Vædske til Damp ved samme Temperatur, kaldes Vædskens Fordampningsvarme.

74. Bestemmelse af Fordampningsvarmen og Dampes Varmefylde. Vil man finde en Vædskes Fordampningsvarme, bringer man Vædsken i Kog i en Retort og leder Dampene derfra igennem et Slangerør ned i et Kalorimeter; Slangerøret ender nederst i en Beholder, hvorfra et Rør fører ud i Luften. Kogningen finder da Sted under Luftens Tryk, og et i Retorten nedsat Thermometer angiver Temperaturen T° af de udviklede Dampe; naar disse Dampe nu træde ind i Slangerøret i Kalorimetret, fortættes de først, hvorved de afgive deres bundne Varme, og derpaa afkøles den dannede Vædske fra T° til Kalorimetrets Blandingstemperatur t_1° , hvorved der atter afgives Varme. Vægten P af den Damp, der er fortættet, finder man ved at veje den Vædske, som er bleven dannet i Slangerøret og opsamlet i Beholderen for- neden; er nu Fordampningsvarmen x , Vædskens Varmefylde c , Vægten af Vandet i Kalorimetret p , Vandværdien v , og Kalorimetrets Begyndelsestemperatur t° , saa har man

$$Px + Pc(T - t_1) = (p + v)(t_1 - t),$$

hvoraf x kan findes, naar c er bekendt.

Men vil man nu finde Fordampningsvarmen ved en anden Temperatur end Vædskens Kogepunkt under almindeligt Lufttryk, saa maa det Rør, der fra Slangerøret gik ud i Luften, sættes i Forbindelse med en Fortætnings- eller en Fortyndingspumpe, og naar man da varierer Trykket inde i Apparatet,

saa varierer ogsaa Vædsken Kogepunkt og dermed den Temperatur, ved hvilken Fortætningen sker.

Regnault fandt for Vandets Fordampningsvarme ved t°

$$606,5 - 0,708 t \text{ Varmerenheder.}$$

Jo højere altsaa Temperaturen er, ved hvilken Vædsken fordamper, desto mindre er Fordampningsvarmen. Vands Fordampningsvarme ved 0° er 606,5 Varmerenheder, ved 100° derimod 536 Varmerenheder. Vand har større Fordampningsvarme end nogen anden Vædske. Den store Varmemængde, der udvikles ved Vanddamps Fortætning, kan man benytte til Opvarmning, f. Eks. af Vædsker (i Mejerier).

Den Varmemængde, der kræves til at forvandle 1 Kgm. Vand ved 0° til Damp ved t° , er efter Regnault

$$606,5 + 0,305 t$$

idet Vandets Varmefylde ikke er ganske konstant.

Ændrer man det her omtalte Apparat saaledes, at Dampen, førend den træder ind i Kalorimetret, først opvarmes i et Oliebad til en Temperatur, der er højere end den, hvorved Fortætningen sker under det tilstedeværende Tryk, saa vil der i Kalorimetret først afgives Varme, medens Dampene afkøles til Fortætningspunktet, derpaa medens de fortættes, og endelig naar den dannede Vædske afkøles. Apparatet kan da benyttes til at finde Dampes Varmefylde (jfr. 51).

75. Kulde- eller Ismaskiner. Ligesom Varmeforbruget ved faste Legemers Smeltning og Opløsning kan benyttes til Frembringelsen af kunstig Kulde, saaledes gælder dette ogsaa Varmeforbruget ved Vædskers Fordampning; paa dette sidste grunder sig Kulde- eller Ismaskinerne, ved Hjælp af hvilke man tilstræber at afkøle enten Luft eller Vand, sidstnævnte ofte saaledes, at der dannes Is.

Principet ved disse Maskiner er, at man ved en Formindskelse af Trykket over en flygtig Vædske fremkalder en livlig Fordampning og sænker Kogepunktet, der jo er den højeste Temperatur, ved hvilken Vædsken kan eksistere som saadan. Benyttes f. Eks. Æther, saa har den sit Kogepunkt ved 35° under normalt Lufttryk, men formindskes det Tryk, den er udsat for, til $\frac{1}{10}$ Atm. Tryk, saa ligger dens Koge-

punkt ved $\div 15^{\circ}$; naar man altsaa ved en stadig Bortpumpning af Dampene fra Ætheren sørger for at holde Trykket saa lavt, vil Ætheren stadig vise en Temperatur af $\div 15^{\circ}$. I Kuldmaskinen sker der nu en Kredsproces, saa at man kun behøver en vis Mængde Æther. De Ætherdampe, man pumper bort, blive nemlig ved Hjælp af en Trykpumpe sammenpressede, saa at de igen blive fortættede, og den derved udviklede Varme bliver bortledet af Svalevand. Fig. 44 giver en ske-

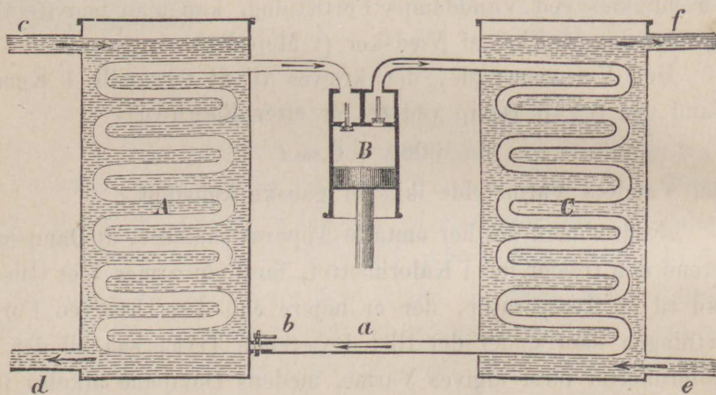


Fig. 44.

matisk Fremstilling af en saadan Maskine: *B* er en Suge- og Trykpumpe; Dampene suges fra de spiralformede Rør i »Kuldewærket« *A* og presses ind i de spiralformede Rør, hvoraf »Fortætteren« *C* bestaar; denne sidste er omgivet af Svalevand, der i en regelmæssig Strøm kommer ind ved *e* og gaar ud ved *f* efter at være opvarmet af den ved Ætherdampenes Fortætning afgivne Varme. Igennem Reguleringshanen *b* strømmer den flydende Æther derpaa over i *A*, hvor den bringes til livlig Fordampning ved det lave Tryk, som her er tilstede; Stillingen af *b* betinger Trykket i *A* og dermed tillige Temperaturen, hvortil der kan afkøles. Det Arbejde, Pumpestemplet har at udføre, afhænger aabenbart af Forskellen imellem Trykket af Ætherdampene i *C* — altsaa Maximumstrykket ved den Temperatur, som Svalevandet har — og Trykket af Ætherdampene i *A*.

Dersom man nu vil bruge Maskinen til at lave Is, saa omgives *A* med en Beholder, hvori der er en Kogsaltopløsning, og heri hænges Metalspande med Vand, hvilket da hurtig fryser til Is. Dersom man derimod kun vil afsvale Vand, lader man dette strømme ind foroven (ved *c*) i Beholderen, som omgiver *A*, og lader det strømme ud forneden (ved *d*); er det Luft, man vil afkøle, lader man Luften bevæge sig i en Strøm i samme Retning ved Hjælp af en Ventilator.

Den her beskrevne Maskine er Siebe's System.

Pictet benytter i sin Maskine Svovlsyrling, som under almindelige Forhold er en Luftart, men ved $\div 10^{\circ}$ bliver til Vædske; Svovlsyrling har altsaa under normalt Lufttryk sit Kogepunkt ved $\div 10^{\circ}$, og ved et Tryk af 3 Atmosfærer ligger Kogepunktet ved $+ 10^{\circ}$. Naar altsaa Svalevandet holdes ved 10° , saa fortættes Svovlsyrlingen i *C* ved 3 Atm. Tryk, og sørger man for, at Trykket i *A* kun bliver 1 Atm. Tryk, bliver Temperaturen her $\div 10^{\circ}$. Stemplet arbejder da imod et Overtryk af 2 Atmosfærer.

Linde endelig anvender Ammoniak, en Luftart, som skal afkøles til $\div 40^{\circ}$ for at blive til Vædske; under normalt Lufttryk koger Ammoniak altsaa ved $\div 40^{\circ}$; underkastes Ammoniak et Tryk af 3 Atm., ligger Kogepunktet ved $\div 12^{\circ}$, og ved et Tryk af 6 Atm. ligger Kogepunktet ved $+ 10^{\circ}$. Holdes Svalevandet altsaa ved en Temperatur af 10° , saa fortættes Ammoniaken i *C* ved 6 Atm. Tryk; sørges der for, at Trykket i *A* bliver 3 Atm., saa kan Afkølingen gaa ned til $\div 12^{\circ}$.

I Carré's Ismaskine, hvor der anvendes Ammoniak, frembringes den stærke Fordampning og deraf følgende Afkøling af Ammoniakvædsken ikke ved Hjælp af en Pumpe, men ved Vandets store Evne til at indsuge Ammoniakdampe. Fig. 45 viser Maskinens Indretning. Beholderen *A*

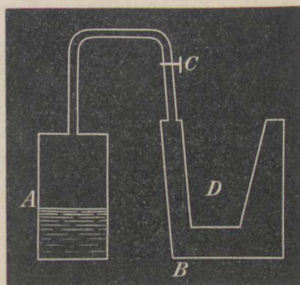


Fig. 45.

staar ved et Rør *C* i Forbindelse med Beholderen *B*, der har dobbelt Væg, saa at den i Midten danner et Kar *D*. I *A* er der Ammoniakvand, og man opvarmer nu *A* ved Hjælp af en Ovn, hvorved Ammoniaken undviger og fylder tillige Beholderen *B*, som er sat ned i koldt Vand. Naar Trykket har naaet et vist Punkt, vil Ammoniakluften i *B* fortættes til Vædske; derpaa tages Ilden under *A* bort, og *A* afkøles, hvorved Vandet genfinder sin Evne til at indsuge Ammoniak, hvorfor Ammoniakvædsken i *B* fordamper livlig, og ved denne Fordampning afkøles en Vædske (Saltvand, Vinaand), der findes i *D*, saa meget, at naar man sætter Metalspande med Vand ned i denne Vædske, saa fryser Vandet til Is.

76. Leidenfrost's Forsøg. Naar man opheder en blank Metalskaal til flere Hundrede Grader og saa hælder en lille Smule Vand derpaa, vil dette Vand ikke udbrede sig i Skaalen, saaledes som naar denne er kold, men det vil lægge sig i en Draabe (i sfæroidal Tilstand), der er i en stadig Bevægelse frem og tilbage i Skaalen. Draaben er ikke i Berøring med Skaalen, og dens Temperatur holder sig nogle Grader under Kogepunktet. At Draaben ikke berører det ophedede Metal, kan man let overbevise sig om ved at tage en Plade i Stedet for en Skaal; man kan da se ind imellem Draaben og Pladen, navnlig naar man holder et Lys paa den anden Side. Aarsagen til, at Draaben ikke er i Berøring med Pladen eller Skaalen, er dels den meget ringe Vedhængning ved den høje Temperatur, og dels Dampudviklingen fra Draaben, thi Dampene paa Draabens Underside holde Draaben svævende over sig. At Draaben fordamper, kan man se deraf, at den stadig formindskes; Varmeforbruget ved denne Fordampning bevirker, at Draabens Temperatur ikke naar Kogepunktet, thi Varmetilførselen fra Pladen er jo ved den manglende Berøring forholdsvis ringe. Lader man Skaalen med Draaben staa og afkøles i Luften, vil Draaben komme i Berøring med Skaalen, naar denne er afkølet til ca. 150° , og Draaben fordamper da med en Eksplosion.

Forsøget kan ogsaa anstilles med andre Vædsker, saaledes med draabeflydende Svovlsyrning. Svovlsyrning er under almindelige Forhold en Luftart, men ved Afkøling til $\div 10^{\circ}$,

bliver den til Vædske; har man altsaa Svovlsyringvædske ved f. Eks. $\div 20^{\circ}$ og hælder lidt deraf i en stærkt ophedet Metalskaal, vil Temperaturen kun stige til ca. $\div 12^{\circ}$ (3: 2 Grader under Kogepunktet), og lidt Vand, som bringes ind i Draaben, vil altsaa fryse. Jo lavere en Vædskes Kogepunkt er, desto lavere Temperatur kan Skaalen have, for at Fænomenet skal lykkes.

Fænomenet kan ogsaa finde Sted i Glas- og Porcellænskaale; men det kan her indtræffe, at Skaalen springer, naar den kolde Draabe kommer paa, thi paa det Sted, hvor Draaben falder, sker der en Afkøling, som ikke hurtig udjævnes, naar Skaalen er en slet Varmeleder.

Det omvendte Forsøg kan ogsaa anstilles: glødende Glas, hvidglødende Metalklumper kunne flyttes frem og tilbage i Vand, uden at dette viser nogen Opvarmning; men naar Glas- eller Metallet er blevet tilstrækkelig afkølet, kommer Vandet pludselig i Kog og kastes af Dampene imod Karrets Sider og ud af Karret.

Til Underlag for Draaben kan man i Stedet for en Skaal ogsaa bruge en anden Vædskes Overflade; saaledes kan Æther holde sig i sfæroidal Tilstand paa varmt Vand, Kviksølv o. s. v.

Paa det her omtalte Fænomen beror det, at man uden Fare kan dyppe Haanden i smeltet Bly eller Jærn og holde paa hvidglødende Jærn; Hudens Fugtighed træder da i Stedet for Draaben ved Leidenfrost's Forsøg.

77. Destillation. Herved forstaas et Legemes Fordampning og en derpaa følgende Fortætning af de udviklede Dampe.

Naar man har en Blanding af to Vædsker, hvoraf den ene er mere flygtig end den anden, kan man adskille dem paa den Maade, at man bringer Blandingen i Kog i et lukket Kar og leder Dampene i et Rør igennem et Svaleapparat (Svalerør eller Svaletønde), hvor de fortættes til Vædske; den

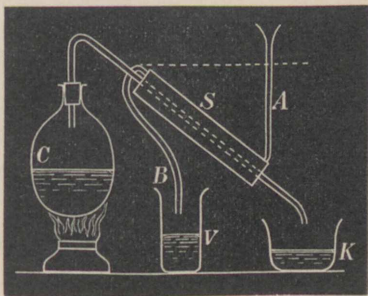


Fig. 46.

flygtigste Vædske har da fordampet livligst, saa at det Produkt, Destillatet, man faar frem ved Dampenes Fortætning, indeholder forholdsvis mere af den flygtigste Vædske, end den oprindelige Blanding gjorde.

Fig. 46 viser Indretningen af et mindre Destillationsapparat. *C* er en Kolbe, hvori den Vædske findes, som skal destilleres; i Kolbens Hals sidder der en Prop, hvori det Rør er befæstet, igennem hvilket Dampene skulle gaa bort og fortættes; Røret gaar derfor skraat nedad og er omgivet af et Svalerør *S*, der faar Tilløb af koldt Vand forneden igennem Røret *A*, medens det har Afløb foroven igennem Røret *B*; ved denne Ordning bliver Fortætningen fuldstændigst. Den ved Dampenes Fortætning frigjorte Varme opvarmer Vandet i Svalerøret, som derfor ofte maa fornyes. Destillatet løber ned i et Kar (*K*).

Paa denne Maade kan man destillere en Blanding af Vand og Vinaand; Destillatet indeholder mindre Vand end den oprindelige Blanding, og ved gentagne Destillationer bliver Vinaanden mere og mere koncentreret; fuldstændig vandfri kan Vinaanden dog ikke blive.

Det i Naturen forekommende Vand kan ogsaa destilleres i et saadant Apparat; Destillatet bliver rent Vand, medens de Stoffer, som vare opløste i Vandet, blive tilbage i Kolben. — Ude i Naturen foregaar der en Destillation i det store ved Havvandets Fordampning og Dampenes Fortætning til Regn.

Naar Dampene fortættes til et fast Legeme i Stedet for til Vædske, kaldes Processen Sublimation (Svovlets Rensning. Vanddampenes Fortætning til Is).

78. Luftens Fugtighed. Atmosfæren indeholder altid Vanddamp, som er opstaaet ved Fordampning af Jordens store Vandmasser. Luften siges at være desto fugtigere, jo nærmere de indeholdte Dampere ere ved at være mættede, og desto mere tør, jo mere Dampene fjærne sig fra Mætningspunktet. Der er derfor intet i Vejen for, at tør Luft kan indeholde mere Vanddamp end fugtig Luft, men Evnen til at optage Damp, altsaa Temperaturen, maa da være større i første end i sidste Tilfælde; ved 20° kan Luften f. Eks. op-

tage dobbelt saa meget Damp som ved 9° . Luften indeholder om Sommeren i Gennemsnit langt mere Vanddamp end om Vinteren, men Evnen til at optage Damp er større i langt stærkere Forhold, og derfor er Luften om Sommeren mere tør.

Naar Luften afkøles, vil den deri værende Damp nærme sig Mætningspunktet, og ved en af Dampmængden afhængig Temperatur begynder der derfor en Fortætning af Dampene; denne Temperatur kaldes Dugpunktet. Dugpunktet ligger lavere end Luftens Temperatur, med mindre Luften allerede er mættet med Fugtighed, thi i saa Fald er Dugpunktet lig med Luftens Temperatur. Naar Dugpunktet kun ligger lidt under Luftens Temperatur, er Luften fugtig, men jo større Forskel der er paa Luftens Temperatur og Dugpunktet, desto mere tør er Luften.

Naar man sætter en kold Vandkaraffel ind i et varmt Værelse, vil der som Regel slaa sig Dug paa Karaffen, nemlig naar dennes Temperatur ligger under Dugpunktet.

79. Ved Luftens absolute Fugtighed forstaar man Vægten af den Vanddamp, som findes i et vist Rumfang, f. Eks. 1000 Kubikfod, Luft. Den findes ved at suge Luften igennem Rør med vandsugende Midler, som da ville absorbere Luftens Fugtighed; Sugningen finder Sted ved Hjælp af en Aspirator, der væsentlig bestaar af en stor Beholder, som er fyldt med Vand, og op igennem hvilken der fører et Rør fra de Rør, som indeholde de vandsugende Stoffer; lader man nu Vandet løbe ud af Beholderen forneden, vil der blive suget Luft ind igennem Rørene. Man kan da finde de vandsugende Stoffers Vægtforøgelse og maale Rumfanget af den Luft, der er suget igennem; derved faar man Oplysning om Luftens absolute Fugtighed.

80. Ved Luftens Fugtighedsgrad forstaar man Forholdet imellem Vægten af den Vanddamp, som findes i et vist Rumfang Luft og Vægten af den Vanddamp, som vilde findes i det samme Rumfang Luft, hvis Luften var mættet med Fugtighed. Da nu Dampes Vægtfylde staar i ligefremt Forhold til Trykket, saa kan man ogsaa definere Fugtighedsgraden som Forholdet imellem Trykket (p) af de Damp, som findes i Luften, og det største Tryk (P), som Damp ved Luftens Tem-

peratur kan udøve. Det sidste Tryk (P) kan man let finde af Tabellen over mættede Vanddampes Tryk ved forskellige Temperaturer, idet man opsøger det Tryk, som svarer til Luftens Temperatur. Det første Tryk (p) kan findes ved Hygrometret eller Psykrometret. Er da baade P og p bestemt, saa findes Fugtighedsgraden lig $\frac{p}{P}$.

81. Ved Hygrometret er Fremgangsmaaden den, at man finder Dugpunktet, altsaa finder den Temperatur, ved hvilken Vanddampernes Maximumstryk netop er lig Trykket af Dampene i Luften; derefter findes p ved i den nys nævnte Tabel at opsøge det Tryk, der svarer til Dugpunktets Temperatur. Af Hygrometret haves forskellige Former:

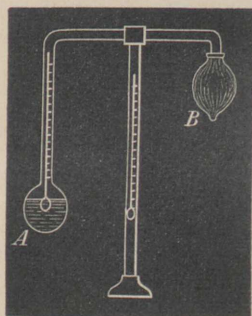


Fig. 47.

Daniell's Hygrometer bestaar af et lukket, lufttomt Glasrør, formet som Figuren viser: en vandret Del med to nedad gaaende Grene, der ende i kugleformige Beholdere. I den ene Kugle A er der Æther, i hvis Overflade findes Beholderen af et lille Thermometer; den anden Kugle B er ombundet med et Stykke fint Lærred. Befugter man nu dette med lidt Æther, vil B blive afkølet paa Grund af

Ætherens Fordampning, og de Dampe, som ere i B , ville derfor fortættes, hvilket fremkalder en Trykformindskelse og deraf følgende fortsat Fordampning af Ætheren i A . Thermometret i A vil derfor langsomt synke, og man aflæser nu Temperaturen paa dette Thermometer i det Øjeblik, A bliver bedugget; derved er Dugpunktet fundet. Et paa Apparatets Stativ anbragt Thermometer viser Luftens Temperatur.

Ved dette Apparat er der dog den Kilde til Fejl, at Væsken i A ikke helt igennem har samme Temperatur, da Fordampningen kun foregaar fra Overfladen; endvidere at Glasset er en slet Varmeleder, saa at det næppe har samme Temperatur udvendig som indvendig, og endelig at det er vanskeligt at bestemme Bedugningsøjeblikket. Disse Mangler ere søgt hævede ved

Regnaults Hygrometer. Beholderen med Ætheren (*A*) er her foruden af blankt Metal, og den er lukket med en tætsluttende Prop; i denne er der foruden et Thermometer indsat to Glasrør, eet, der ikke naar Ætherens Overflade, og eet, der gaar ned under Overfladen. Ved Hjælp af en Aspirator suges Luften ud igennem det første Rør, saa at Luften udefra vil strømme ind igennem det andet Rør, og medens den bobler op igennem Ætheren, vil den fremkalde en livlig Fordampning og deraf følgende Afkøling. For at Bedugningen lettere skal kunne iagttages, er der i Nærheden af Beholderen *A* en anden lignende, men tom Beholder *B*, ligeledes af blankt Metal.

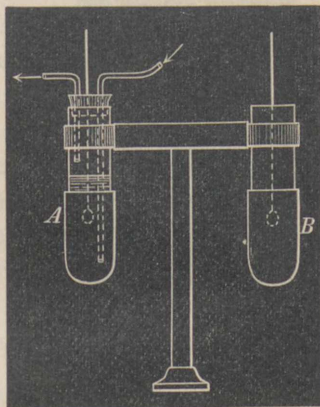


Fig. 48.

Alluard har givet Regnaults Hygrometer en lidt fuldkomnere Form (Fig. 49), idet Beholderen med Æther, som forøvrigt er firkantet i Stedet for rund, er helt af blankt Metal og paa de tre Sider er omgivet af en Ramme af blankt Metal, hvorved Bedugningen lettere vil kunne bemærkes, da Metalrammen jo ikke bedugges. Ætheren hældes ned i Apparatet igennem Røret *a*, som derpaa lukkes tæt til med en Prop; Luften suges ud igennem *b* og strømmer ind igennem *c*.

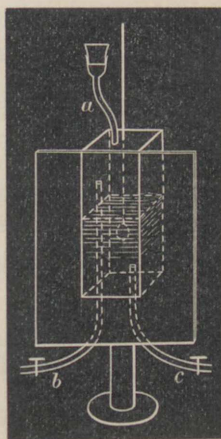


Fig. 49.

82. August's Psykrometer bestaar af to Thermometre, hvoraf det enes Beholder er ombundet med Lærred, som holdes befugtet med Vand ved Hjælp af en Væge, der gaar ned i et Kar med Vand (helst destilleret). Det tørre Thermometer viser Luftens

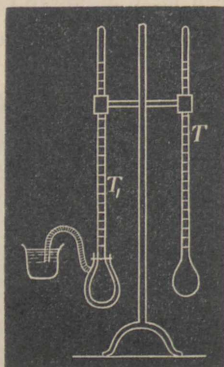


Fig. 50.

Temperatur T^0 , men det vaade vil som Regel vise en lavere Temperatur, hvilket hidrører fra Varmeforbruget ved Vandets Fordampning; det vaade Thermometer holder først op med at synke, naar den Afkøling, som Fordampningen fremkalder, holder Ligevægt med den Opvarmning, som den omgivende varmere Luft fremkalder. Det vaade Thermometers Temperatur er noget højere end Dugpunktet.

Varmetabet ved Fordampningen kunne vi sætte lig (72)

$$a \cdot \frac{F-f}{H},$$

hvor a er en Konstant, F er Vanddampes Maximumstryk ved den Temperatur (T_1), det vaade Thermometer viser, f Trykket af de i Luften værende Vanddampe, og H er Luftens Tryk. Den Varmemængde, som Thermometret i samme Tid modtager fra Luften, kan sættes lig

$$b (T - T_1),$$

hvor b er ny Konstant, og man har altsaa

$$a \frac{F-f}{H} = b (T - T_1),$$

hvoraf

$$f = F - c H (T - T_1),$$

idet $\frac{b}{a} = c$. Værdien af Konstanten c er fundet at være omtrent 0,0009, men den varierer noget med den Hastighed, hvormed Luften bevæger sig, og tillige med Fugtighedsgraden.

Man har indrettet Psykrometertabeller, i hvilke man kan finde Fugtighedsgraden, naar de to Thermometerangivelser kendes.

83. Luftarters Fortætning. Det er i 64 omtalt, at Luftarter og umættede Dampe følge de samme Love, saa at det er naturligt at betragte et luftformigt Legeme som den dampformige Tilstand af en Vædske. Det har ogsaa vist sig, at

alle Luftarter kunne bringes over i Vædskeform, kunne fortættes; for at faa en Luftart fortættet til Vædske kræves der enten en Afkøling eller en Trykforøgelse eller begge Dele i Forening.

Det har vist sig, at en Luftart for at kunne blive fortættet maa have en Temperatur, der er under en af Luftartens Natur afhængig Temperatur, den saakaldte kritiske Temperatur (Andrews, 1869); saalænge Luftarten har en Temperatur, der er højere end denne, kan den ikke blive fortættet, om der saa udøves nok saa store Tryk paa den; først naar Temperaturen er lavere end den kritiske Temperatur, kan Luftarten blive til Vædske, og jo koldere den da er, desto mindre Tryk hører der til for at opnaa Fortætningen. Kulsyrens kritiske Temperatur er 31° , saa at Kulsyre maa have en Temperatur, der er lavere end 31° , naar den skal kunne blive til Vædske. Ved 0° kan Kulsyren fortættes til Vædske ved ca. 38 Atmosfærers Tryk; har man nu saadan flydende Kulsyre, og man da opvarmer den samtidig med, at man forøger Trykket i passende Forhold, saa at Kulsyren stadig holder sig som Vædske, saa indtræder der ved 31° det mærkelige, at Vædsken pludselig gaar over i Luftform og ikke lader sig holde som Vædske, selv ved de største Tryk.

Aarsagen til, at man i lange Tider ikke kunde bringe en Del Luftarter, f. Eks. Ilt og Brint, over i Vædskeform og derfor ansaa dem for permanente, var den, at man ikke ved Forsøgene paa at fortætte dem havde afkølet dem ned under deres respektive kritiske Temperaturer, hvilke for disse Luftarter ligge meget lavt.

Vi skulle nu nævne nogle af de Fremgangsmaader, hvorved Luftarters Fortætning blev fremkaldt, ved saavel Afkøling som Trykforøgelse.

Davy og Faraday anvendte et stærk Glasrør af den i Fig. 51 viste Form; Røret tilsmeltes efterat man har bragt et Stof ind, hvoraf man kan udvikle den Luftart, hvis Fortætning tilsigtes. Dette Stof bringes over i den ene Ende af Røret, ved A, medens Rørets anden Ende,

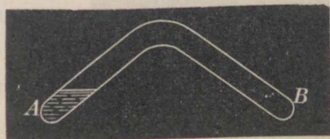


Fig. 51.

B, anbringes i koldt Vand eller en Kuldeblanding; opvarmes saa *A*, vil Luftarten blive udviklet, men da den ikke kan undvige, vokser Trykket, og dette kan da blive saa stort, at Luftarten fortættes til Vædske i *B*. Ammoniak, Klor o. s. v. fortættes paa denne Maade.

Natterer fortættede Kulsyre ved at pumpe denne ind i en lukket Jærnbeholder, der var omgivet af stødt Is; som ovenfor nævnt fortættes Kulsyren ved et Tryk af ca. 38 Atmosfærer, og højere kunde Trykket altsaa ikke drives ved den Temperatur. Aabnede man derpaa en Hane paa Beholderen, saaledes at Rummet kom i Forbindelse med den ydre Luft, vil den stærke Trykformindskelse bringe Kulsyrevædsken til at fordampe hurtig; men ved denne Fordampning afkøles den, og man ser Temperaturen falde til $\div 79^{\circ}$, saa at denne maa anses for at være Kulsyrevædskens Kogepunkt ved normalt Lufttryk; men en Del af Kulsyren er ved denne Afkøling bleven fast (Kulsyresne), og Forsøg vise, at denne faste Kulsyre bliver flydende ved $\div 58^{\circ}$, saa at vi her have et Eksempel paa, at Kogepunktet ligger under Smeltepunktet.

Fast Kulsyre kan holde sig længe; den Varme, den modtager fra Omgivelserne, anvendes til dens Fordampning. En endnu stærkere Afkøling kan man naa ved at opløse den faste Kulsyre i Æther ($\div 90^{\circ}$); bortpumper man Dampene fra denne Blanding, kan man naa ned til en Temperatur af $\div 110^{\circ}$; Faraday har ved denne Temperatur fortættet Ammoniak, Klor o. s. v. ved normalt Lufttryk.

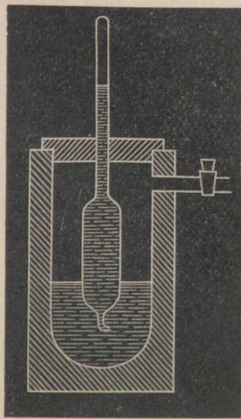


Fig. 52.

I 1877 blev Ilt fortættet ved samtidige Forsøg af Cailletet og Pictet. Cailletet's Apparat bestod af en stærk Jærnbeholder, der var lukket med en Møtrik, hvori der var befæstet et stærkt Glasrør, som var snævert paa den øverste, lukkede Del, men videre forneden, hvor Røret var aabent. Røret var ved Forsøgets Begyndelse fyldt med Ilt og nedsat i Kviksølv, som fandtes i Jærnbeholderen og var

dækket med Vand. Medens Rørets øverste Ende var omgivet af en Kuldeblanding, blev der ved Hjælp af en hydraulisk Presse udøvet stærkt Tryk paa Vandet og dermed paa Kviksølvet, som da steg op i Røret og formindskede Iltens Rumfang stærkt; et i Forbindelse med den hydrauliske Presse sat Manometer angav Trykkets Størrelse. Derpaa blev en Hane paa Røret hen til Pressen aabnet, saaledes at Trykket pludselig sank fra ca. 300 Atm. Tryk til 1 Atm Tryk; Ilten fik altsaa en pludselig Udvidelse, men derved sank Temperaturen til ned imod $\div 200^{\circ}$, og der viste sig en kendelig Fortætning af Ilten.

Ogsaa forskellige andre Luftarter bleve fortættede paa denne Maade.

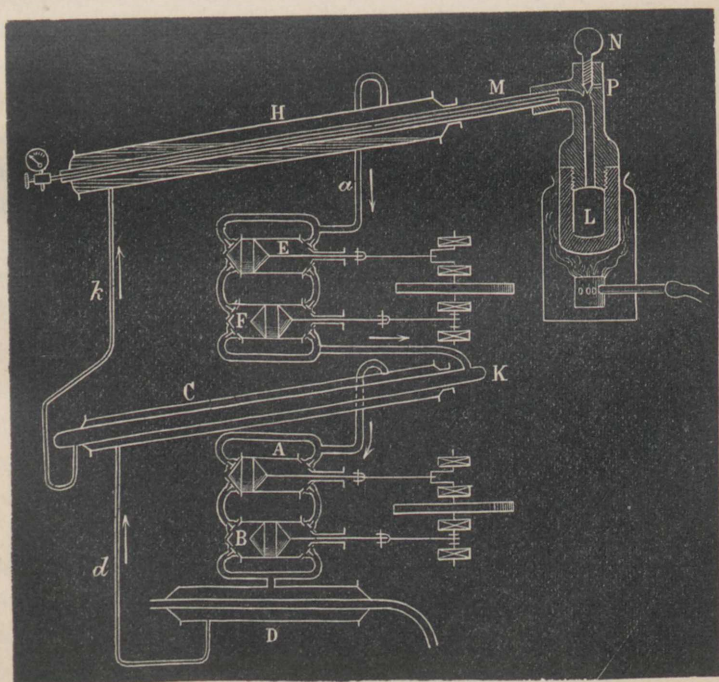


Fig. 53.

Det af Pictet anvendte Apparat er skematisk fremstillet i Fig. 53. *L* er en stærk Jærnetort, hvori der er klorsurt Kali, som ophedes og derved afgiver Ilt; denne Ilt træder ind i Kobberet *M*, som har stærke Vægge, og som ved sin

anden Ende er i Forbindelse med et Manometer. Da Ilten ikke kan undvige, vil dens Tryk stadig vokse, efterhaanden som Iltudviklingen gaar for sig. Ilten afkøles paa følgende Maade: *M* er omgivet af et andet Kobberrør, *H*, hvori der er flydende Kulsyre; Dampene herfra bortpumpes igennem Røret *a* og blive igen sammentrykkede ved Hjælp af den dobbeltvirkende Suge- og Trykpumpe *EF*; de sammentrykkede Kulsyredampe træde ind i Røret *K*, hvor de afkøles, saa at de fortættes til Kulsyrevædske, og denne træder atter over i *H* igennem Røret *k*. Afkølingen af Kulsyren i Røret *K* sker paa en lignende Maade som Iltens Afkøling i *M*, men ved Hjælp af Svovlsyrning; de herved virkende Pumper ere *AB*, og Svovlsyrningens Afkøling i *D* sker ved Hjælp af koldt Vand; igennem Røret *d* træder Svovlsyrningvædsken ind i det *K* omgivende Rør *C*. I dette Rør fandtes Temperaturen at være ca. $\div 70^{\circ}$, hvorimod den i Røret *H* var nede ved ca. $\div 130^{\circ}$. Det viste sig da, at Ilten blev fortættet til Vædske ved et Tryk af ca. 450 Atmosfærer; aabnede man saa for en Hane paa Røret *M*, strømmede der flydende Ilt ud, men den fordampede naturligvis hurtig.

Med samme Apparat fortættedes ogsaa Brint, men ved et noget større Tryk.

VII. Varme og Arbejde.

84. En Analogi imellem Varme og Lys er alt paavist under Fremstillingen af Straalevarmen; Lyset bestaar af Æther-svingninger, og det samme maa derfor ogsaa være Tilfældet med Straalevarmen; denne er altsaa en Bevægelse, og jo livligere Bevægelsen er, desto stærkere er Straalevarmen.

Men naar Straalevarmen er en Bevægelse, saa maa al anden Varme ogsaa være det, og vi skulle nu i Korthed se, hvorledes man opfatter denne Sag.

Ethvert Legeme bestaar af Molekyler eller Smaadele, adskilte ved Mellemrum; Molekylerne bestaa igen af Atomer. Vi

antage nu, at der i Legemets Indre er en vedvarende Bevægelse, og denne Bevægelse er det, vi kalde Varme; den Varmemængde, et Legeme indeholder, er lig den samlede levende Kraft i denne Bevægelse. Bevægelsen er af forskellig Art: Molekylerne kunne have en fremadskridende, en roterende og en vibrerende Bevægelse. — At afkøle et Legeme er at formindske Bevægelsens levende Kraft eller Energi, at opvarme det er at forøge den levende Kraft eller Energien.

Denne Hypotese grunder sig paa den af Mayer i 1842 opstillede almengyldige Naturlov, og som simplest udtrykkes saaledes: den i Naturen nedlagte Energimængde forbliver uforandret den samme (Loven om Energiens Vedligeholdelse). Energien kan forandres, kan optræde i forskellige Former, men den hverken forøges eller formindskes. — Vi ville herpaa nævne nogle Eksempler.

Naar et Legeme paavirkes af en konstant Kraft i Bevægelsens Retning, saa udfører Kraften derved et Arbejde, som maales ved Produktet af Kraften og den Vej, Legemet har tilbagelagt; dette Arbejde genfinde vi i den levende Kraft (det halve Produkt af Masse og Hastighedens Kvadrat), som Legemet har opnaaet, og i denne levende Kraft have vi et Maal for Legemets Arbejdsevne. Tænke vi paa et Projektil, som med en vis Hastighed, altsaa ogsaa med en vis levende Kraft træffer et Legeme, saa vil det kunne trænge ind i og maaske helt igennem dette Legeme; sker det sidste, kommer Projektilet ud af Legemet med en mindre Hastighed og altsaa levende Kraft, og det godtgøres i den mekaniske Fysik, at det stedfundne Tab i levende Kraft er lig det Arbejde, Projektilet har udført; den tabte levende Kraft genfinde vi som Varme, altsaa — efter hvad der ovenfor er sagt — som levende Kraft i en ny Form, idet baade Projektilet og det gennembrudte Legeme ere blevne opvarmede. — Slæber man en Genstand hen ad et Underlag, udføres der et Arbejde, men dette bliver omsat til Varme: ved enhver Gnidning udvikles der Varme. — I den mekaniske Fysik læres det, at ved Stød af to elastiske Legemer forandres den samlede levende Kraft ikke, hvorimod der sker et Tab i levende Kraft, naar Legemerne ere uelastiske; dette stemmer med, at der ingen Varmeudvikling finder Sted ved den første Slags

Stød, men derimod ved den sidste. — Naar Luft sammentrykkes, medgaar der dertil et Arbejde, og der sker en Varmeudvikling; naar man altsaa ved Hjælp af en Blæsebælg puster Luft hen paa en Thermometerbeholder, vil Thermometret vise, at Temperaturen stiger. Dersom man derimod ved en Hane aabner for en Beholder, hvori der er sammenpresset Luft, saa at Luften strømmer ud deraf, vil et Thermometer, der udsættes for Luftstrømmen, falde, thi nu maa Luften selv udføre et Arbejde ved at overvinde Atmosfærens Tryk, og derved afkøles den. Disse Forhold har man benyttet i en Art Kuldemaskiner, de saakaldte Luftudvidelsesmaskiner; Principet herfor er følgende: man sammentrykker en vis Mængde Luft, og denne opvarmes derved f. Eks. fra 8° til 26° ; den udviklede Varmemængde bortføres ved Svalevand, saa at den sammentrykkede Luft atter faar 8° s Temperatur; naar man derpaa lader den udvide sig til sit tidligere Rumfang, vil Temperaturen synke omtrent ligesaa mange Grader, som den før steg; Luften afkøles altsaa til $\div 10^{\circ}$. — I det pneumatiske Fyrtøj frembringes der ved stærk Sammentrykning af Luften i et cylindrisk Rør saa megen Varme, at et Stykke Fyrsvamp kommer i Glød. — Stjærneskud og Ildkugler opstaa, naar Meteoriter trænge ind i vor Atmosfære og ved dennes Modstand opvarmes saa stærkt, at de gløde.

De her nævnte Eksempler omhandle kun de tre Former for Energi: levende Kraft, mekanisk Arbejde og Varme; men Loven gælder for alle Naturfænomener, saaledes ogsaa i Elektricitetslæren. Naar man drejer Skiven i en virksom Elektriser-maskine rundt, udvikles der ved Gnidningen baade Varme og Elektricitet; men er Maskinen u virksom, vil der kun blive frembragt Varme, og Arbejdet, som kræves til Skivens Omdrejning vil da ogsaa være mindre, end naar Maskinen er virksom. — Naar en elektrisk Strøm ledes igennem et sonderdeleligt Stof, bliver Strømmen svagere, end naar et saadant Stof, alt andet lige, ikke fandtes i Ledningen; Strømmen har nemlig da et kemisk Arbejde at overvinde; de derved udskilte Stoffer fremkalde en Modstrøm (den galvaniske Polarisation), som svækker Strømmen. — Naar en elektrisk Strøm sætter et elektromagnetisk Rotationsapparat i Bevægelse, bliver Strøm-

men svagere, end naar man sørger for at holde Apparatet stille, saa at Strømmen ikke kommer til at udføre et mekanisk Arbejde; Forklaringen herpaa er den, at der ved Bevægelsen i Rotationsapparatet induceres i Ledningen en Modstrøm, som svækker den elektriske Strøm.

Vi have i de nævnte Eksempler vist, hvorledes Energien kan transformeres fra en Form til en anden, men Rigtigheden af Loven om Energiens Uforanderlighed kan jo først blive godtgjort, naar man giver sig til at undersøge Energimængderne. Det, der altsaa her bliver Spørgsmaalet om, er dette: naar et mekanisk Arbejde forvandles til Varme eller omvendt, er der da et bestemt Forhold imellem det mekaniske Arbejdes Størrelse og Mængden af Varme? Vi skulle senere vise, hvorledes man paa højst forskellige Maader har paavist, at der er et saadant Forhold; vi ville først se lidt nærmere paa Arten af de Bevægelser, som ifølge den »mekaniske Gasteori« foregaa i Luftarternes Indre.

85. I en Luftart have Molekylerne hovedsagelig en retlinjet, fremadskridende Bevægelse, og det Tryk, som en Luftmasse udøver imod sin Begrænsning, hidrører fra Stødet af Molekylerne imod Begrænsningen. Formindskes derfor Luftens Rumfang til det halve, vil Antallet af Stød imod Begrænsningen i en vis Tid blive dobbelt saa stort som før, saa at Mariottes Lov maa gælde.

Vi kunne nu tænke os hvert Molekyle omgivet af en Virkningskugle, indenfor hvilken den kan udøve en Tiltrækning paa andre Molekyler; denne Virkningskugles Radius er umaadelig lille. Naar nu et Molekyle under sin Bevægelse kommer indenfor et andets Virkningsomraade, saa vil det kunne hænde — dog forholdsvis sjældent — at begge Molekylers Bevægelsesretninger falde i samme rette Linje, og da ville Molekylerne nærme sig til hinanden med tiltagende Hastighed, støde sammen og gaa fra hinanden igen som fuldkommen spændige Kugler; efter Stødet ville Hastighederne formindskes ligesaa meget, som de før blev forøgede, og naar Molekylerne have forladt hinandens Virkningsomraade, have de atter den Hastighed, med hvilken de vare traadte ind deri. Men et saadant Stød sker kun sjældent; i Reglen vil det gaa saaledes, at de to

Molekyler bevæge sig nær forbi hinanden, og at de paa Grund af den indbyrdes Tiltrækning bevæge sig noget omkring hinanden i visse krumlinjede Baner. Medens Molekylerne ere indenfor hinandens Virkningsomraade, ville de altsaa afvige fra deres oprindelige Retninger, og først efter Udtrædelsen deraf blive Banerne atter retlinjede og gennemløbne med den oprindelige, konstante Hastighed. For at en Luftart saa temmelig nøje skal følge Mariottes og Gay-Lussacs Love, er Opfyldelsen af den Betingelse nødvendig, at Molekylernes retlinjede Veje ere meget store i Sammenligning med de krumlinjede, med andre Ord: Molekylernes Middelfafstande maa være meget store i Sammenligning med deres Virkningskugles Radius.

Tænke vi os nu en Luftart under saadanne Forhold, at dens Temperatur — altsaa dens Molekylers levende Kraft og Hastighed — bliver uforandret, medens dens Volumen gøres mindre og mindre, saa ville Molekylernes retlinjede Baner stedse blive kortere og kortere, medens de krumlinjede Baner bestandig blive de samme, da de kun ere afhængige af Hastigheden; deraf følger, at med voksende Tryk blive Afvigelserne fra Mariottes og Gay-Lussacs Love større og større, hvilket ogsaa Erfaringen har godtgjort. Nu maa det allerede i en fuldkommen Luftart kunne hænde fra Tid til anden, at et Molekyle næppe har forladt et af sine Nabomolekyler, førend det igen er kommen indenfor et andet Molekyles Tiltrækningsomraade; der følger altsaa to krumlinjede Baner lige efter hinanden, og jo tættere Luften er, desto hyppigere maa dette kunne hænde. Har nu Luftens Tæthed naaet en saadan Størrelse, at et kendeligt Antal Molekyler til enhver Tid befinder sig i denne Tilstand, saa er Luften begyndt at fortættes til Vædske, og naar Luftarten er bleven helt til Vædske, saa ere alle Molekylerne i den Tilstand, at de, naar de forlade et Molekyles Virkningsomraade, straks komme ind i et andets, og disse Omraader gennemløbes først med en tiltagende og derpaa med en aftagende Bevægelse; Molekylerne have altsaa gennemsnitlig en stor Hastighed. Kun ved Overfladen sker der en Undtagelse, thi her kan et Molekyle forlade et andets Virkningsomraade uden at komme ind i et tredies, og Vædsken fordampes altsaa.

Erfaringen lærer os, at jo varmere en Luftart er, desto bedre følger den Mariottes Lov; dette indses let efter ovenstaaende Udvikling, thi ved den højere Temperatur blive Molekylernes krumlinjede Baner mindre.

Vi ville ikke forfølge denne Udvikling videre, men bemærke kun, at Varmefænomenerne ved Fordampning, Fortætning etc. let kunne forklares ved Hypotesen.

Endnu skal blot tilføjes, at den gennemsnitlige Hastighed, med hvilken Molekylerne i Brint bevæge sig, er 1845^m (i Sekundet) ved 0^0 C.; for andre Luftarters Vedkommende kan Hastigheden ved 0^0 beregnes ved den Sætning, at Hastigheden staar i omvendt Forhold til Kvadratroden af Luftens Tæthed. For samme Luftart staa Hastighederne ved forskellige Temperaturer i ligefremt Forhold til Kvadratroden af de absolute Temperaturer. — Molekylernes Hastigheder ere altsaa meget betydelige, men deraf følger ikke, at de Veje, de gennemløbe, ere store, thi et Molekyles retlinjede Vejstykker ere i Virkeligheden korte, fordi Tiden, som medgaar dertil, er forsvindende lille; et Molekyle vil derfor i det væsentlige ikke forandre sin Plads.

86. Radiometret, opfundet af Crookes, er et Apparat, der godt gør den molekulære Bevægelses Tilstedeværelse i Luftarter. Det bestaar af en Glasbeholder med meget stærkt fortyndet Luft; paa en lodret Metalnaal hviler en lille Glashætte, som bærer 4 vandrette Platintraade, i hvis Ender der sidder en lodret stillet Platin- eller Aluminiumplade, som er sværet paa den ene Side med Kønrog; de sværtede Sider vende alle samme Vej.

Naar Radiometret udsættes for Bestraaling, kommer Vingeparatet, hvad enten det er mørke eller lyse Varmestraaler,

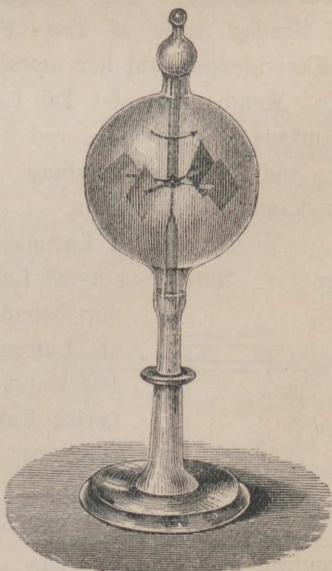


Fig. 54.

i Rotation, og denne er desto hurtigere, jo stærkere Be-
straalingen er; Rotationen sker med den blanke Side foran.
Denne Bevægelse forklares saaledes: de sværtede Sider ind-
suge mere Varme og blive altsaa stærkere opvarmede end de
blanke; naar et Luftmolekyle nu støder imod en af Vingerne,
bliver det stødt tilbage med en større Hastighed, naar Stødet
er imod den sværtede, end naar det er imod den blanke Side;
den sværtede Plade modtager derfor ogsaa en større Reaktion
i modsat Retning end den blanke, og Bevægelsen kommer i
Gang. — Holder man en stærkt afkølet Genstand i Radiometrets
Nærhed, kommer der en Rotation i Gang i modsat Retning.

87. Ved Varmens mekaniske Ækvivalent forstaas
det Arbejde, som medgaar til Frembringelsen af 1
Varmeenhed eller det Arbejde, som kan udvikles af
1 Varmeenhed. Dette Arbejde er ved mangfoldige og højst
forskelligartede Forsøg fundet at være lig c. 425 Kilogram-
meter (1350 $\mathcal{H}$), naar man ved 1 Varmeenhed forstaar den
Varmemængde, som medgaar til Opvarming af 1 $\mathcal{H}$ Vand
1 Grad); nogle af disse Forsøg saavelsom en Beregning af
Ækvivalentet skal her omtales.

Kender man det Tal 1,4, som angiver Forholdet imellem
Luftens Varmefylde c ved konstant Tryk og dens Varmefylde
 c_1 ved konstant Rumfang, saa kan man let finde Varmens
mekaniske Ækvivalent.

Vi betragte en Luftmasse i en Beholder, hvis Grundflade
er 1 $\square$ Meter, og hvori Luften er afspærret med et Stempel,

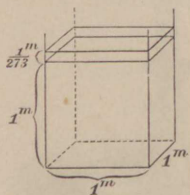


Fig. 55.

der befinder sig 1 Meter over Bunden, saa
at Luftens Rumfang er 1 Kubikmeter =
 10^6 Kubikcentimeter. Lad det være atmos-
færisk Luft ved 0° og under Normaltrykket
(760^{mm}); Luftmassen vejer da $10^6 \cdot 0,001293$
Gram = 1,293 Kilogram. Opvarmes nu denne
Luft 1° , saaledes at Trykket forbliver ufor-

andret, maa Stemplet gaa $\frac{1}{273}$ Meter udefter, og der medgaar
til denne Opvarming 1,293 c Varmeenheder; sker Opvarmingen
derimod saaledes, at Rumfanget forbliver uforandret, medgaar
der til Opvarmingen 1,293 c_1 Varmeenheder. Differensen imellem
disse to Varmemængder, altsaa 1,293 ($c - c_1$) Varmeenheder,

er da forbrugt til at udføre det Arbejde at skyde Stemplet $\frac{1}{273}$ Meter ud. Det Tryk, der hviler paa Stemplet, er lig Vægten af en Kviksølv søjle paa 1 □ Meters Grundflade og 760 mm's Højde; dette Tryk er ca. 10333 Kilogram. Arbejdet, der er udført, er altsaa $10333 \cdot \frac{1}{273}$ Kilogrammeter, og kalder man Varmens mekaniske Ækvivalent A , har man

$$A \cdot 1,293 (c - c_1) = 10333 \cdot \frac{1}{273},$$

hvoraf
$$A = \frac{10333}{273 \cdot 1,293 (c - c_1)} \text{ Kilogrammeter.}$$

Nu er $c = 0,24$, $c_1 = \frac{0,24}{1,4}$, og Beregningen giver da

$$A = \text{ca. } 425 \text{ Kilogrammeter.}$$

Ved nøjagtige Beregninger maa man selvfølgelig udregne de enkelte Størrelser med saa stor Nøjagtighed som mulig.

Hadde man ad anden Vej fundet Varmens mekaniske Ækvivalent med tilstrækkelig stor Nøjagtighed (se nedenfor), kunde man ved ovenstaaende Fremgangsmaade finde Forholdet imellem Luftens to Varmefylder, hvis dette Forhold var ubekendt.

Colding har bestemt Varmedviklingens Forhold til det forbrugte Arbejde ved at lade en Slæde, hvis Skinner vare belagte med forskellige Substanser, trække hen ad to Metal-skiner. Varmedviklingen maales ved Skinnernes Opvarmning, som igen blev beregnet af deres Forlængelse. Det fandtes, at Varmedviklingen ene og alene afgang af det Arbejde, der var forbrugt ved Gnidningsmodstandens Overvindelse.

Engländeren Joule har siden 1843 foretaget en Række omfattende Forsøg til Bestemmelse af Varmens mekaniske Ækvivalent.

1. I et Kar med Vand satte han en Fortætningspumpe og en Kobberbeholder og ved Hjælp af den første sammenpressede han nu Luft i Kobberbeholderen, indtil Trykket blev over 20 Atmosfærer. Han beregnede det Arbejde, der kræves til Sammentrykningen, og maalte den Varmemængde, der blev udviklet; herfra maa nu subtraheres den Varmedvikling, der skyldes Stemplets Gnidning i Pumpen, og som kan findes ved

særlige Forsøg; Resten af den frembragte Varme skyldes Arbejdet ved Sammentrykningen, og Varmens mekaniske Ækvi-
valent kan derved findes.

2. I et lukket Jærnkalameter (*G*) med Vand er der anbragt en lodret Aksel, til hvis nederste Ende er befæstet en vandret Metalskive, som ved Hjælp af Vægtstænger kan

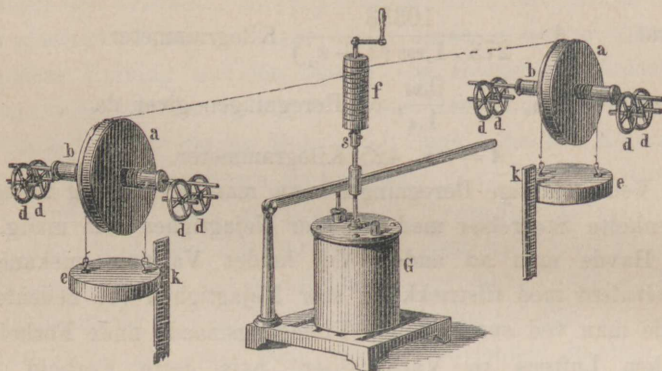


Fig. 56.

trykkes ned mer eller mindre stærkt imod en lignende Skive, der er anbragt paa Kalametrets Bund. Akslen bærer foroven en Valse (*f*), som kan skrues løs fra Akslen, og omkring hvilken der er viklet Snore, som gaa hen over to Hjul (*a*); Akslerne (*b*) for disse Hjul hvile paa Friktionshjul, og om disse Aksler er der viklet Snore, som bære to ligestore Vægte (*e*). Snorene, som gaa om Valsen *f*, ere opviklede saaledes, at naar Vægtene falde, dreje de begge *f* rundt den samme Vej. I Kalametret er anbragt et Thermometer.

Forsøget anstilles nu saaledes: Man lader de to Vægte falde og maaler paa en Maalestok *k* Faldhøjden; derpaa løses Valsen hurtig fra Akslen, hvorpaa den sidder; den drejes rundt, saaledes at Vægtlodderne løftes, fastskrues derefter igen paa Akslen, og slippes; paa denne Maade lader man Lodderne falde en Snes Gange. Under denne Bevægelse har den paa Akslen siddende Metalskive drejet sig rundt henover den faste Metalskive, og ved denne Gnidning er der udviklet Varme, som er meddelt til Vandet. Beregnes nu den udviklede Varme-

mængde og det udførte Arbejde, kan Varmens mekaniske Ækvivalent findes ved Division af det sidste med den første. Men der maa forinden foretages en Del Korrektioner paa Grund af Gnidningen udenfor Kalorimetret, den levende Kraft, som Vægtlodderne opnaa ved Faldet, etc.

Joule benyttede ogsaa Kviksølv istedetfor Vand; Metalskiverne vare da af Jærn.

3. Varmeudviklingen ved Gnidning imellem faste Legemer og Vædske maalte Joule ved sit nys beskrevne Apparat, som kun blev ændret saaledes, at Akslen i Kalorimetret har Skovlhjul i Stedet for en Metalskive; under Omdrejningen satte disse Skovlhjul Vandet eller Kviksølvet i Rotation, og Vædsken blev da gnedet imod nogle Metalskærme, der fandtes paa Kalorimetrets Indervæg.

Hirn har ogsaa anstillet en Række Forsøg over dette Emne; et af disse Forsøg var følgende. En Blyklods (E) var ophængt imellem Endefladerne af en Jærncylinder (AB) og en prismatisk Stenblok (CD); disse vare ophængte i svære Tove.

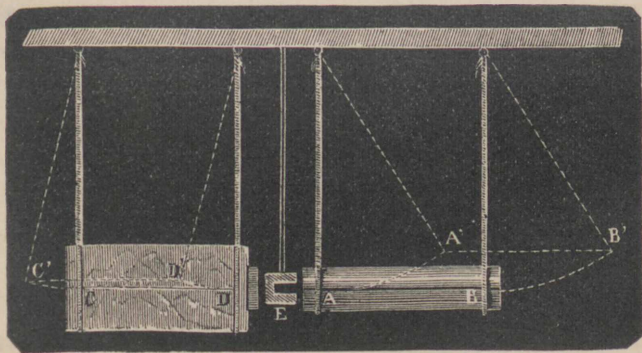


Fig. 57.

Jærncylinderen bringes ud i en skraa Stilling og slippes saa; derved falder den ned imod Blyklodsen, der igen støder imod Stenblokken, som derved løftes lidt, og Jærncylinderen faar selv et lille Tilbageslag. Ved Stødet er Blyklodsen bleven opvarmet, og er Blyets Vægt p Kgm., dets Varmefylde c , og Temperaturstigningen t^0 , saa er den frembragte Varmemængde

pct Varmeenheder. Er nu Jærncylinderens Vægt P Kgm., Stenblokkens P_1 , den lodrette Højde, hvortil Jærncylinderen blev løftet, H Meter, Tilbageslaget Højde H_2 , og den Højde, hvortil Stenblokken blev løftet, H_1 , saa er det Arbejde, der er medgaaet til Varmeudviklingen, lig $PH - P_1H_1 - PH_2 = P(H - H_2) - P_1H_1$. Man faar altsaa for Varmens mekaniske Ækvivalent

$$\frac{P(H - H_2) - P_1H_1}{pct} \text{ Kilogrammeter.}$$

Ved Forsøgene var $p = 3$ Kgm, $P = 350$ Kgm. og $P_1 = 941$ Kgm.

Hirn har dernæst benyttet Varmens Omsætning til Arbejde for at beregne Varmens mekaniske Ækvivalent; Undersøgelsen skete med en Dampmaskine. Han beregnede den Varmemængde, som findes i Dampen, der driver Stemplet fremad, og den Varmemængde, som optages af Vandet i Fortætteren; Forskellen imellem disse er den Varmemængde, som er medgaaet til det af Maskinen udførte Arbejde, hvilket Arbejde blev beregnet. Ved disse Forsøg fandt Hirn som Middeltal 413 Kilogrammeter, et Resultat, som — naar henses til de mange Fejlkilder — er særdeles godt stemmende med det ad andre Veje fundne.

VIII. Maskiner, der bero paa Varmens Arbejdsværdi.

88. En Dampmaskine bestaar af to Hoveddele: Dampkedlen, hvori den Damp udvikles, hvis Arbejdsværdi man vil udnytte, og den egentlige Maskine eller Dampværket, hvor Dampenes Arbejdsværdi bliver udnyttet. — Vi ville i det følgende kortelig beskrive Hovedindretningen af den nu i Reglen brugte Dampmaskine (James Watt).

89. Dampkedlen er en lukket Kedel, dannet af sammennittede Jærnplader og i Reglen formet som en vandret liggende Cylinder; hvor det lader sig gøre, bør den være ind-

muret, for at Varmetabet skal blive saa lille som muligt. Ildstedet kan findes under Kedlen, men findes ofte indvendig forneden i Cylinderens ene Ende; fra Ildstedet fører der da Jærnrør, de saakaldte Ildkanaler, igennem Cylinderens nederste Halvdel, tilsidst udmundende i Skorstenen. Herved vil man opnaa, at det i Kedlen værende Vand opvarmes direkte paa saa stor en Flade (Ildpaavirkningsfladen) som mulig, hvorved man jo faar størst Nytte af Varmen; Forbrændingsprodukterne ledes fra Ildstedet igennem Ildkanalerne ud i Skorstenen, og naar man skal have den fulde Nytte af Varmen, maa Forbrændingsprodukterne, naar de forlade Kedlen, ikke have en højere Temperatur end Vandet. I Virkeligheden er Temperaturen dog en Del højere, hvad den ogsaa bør være, for at Trækket igennem Skorstenen kan blive tilstrækkelig stort.

Ildstedet bestaar af to Dele: det øvre, Ildrummet, og det nedre, Askefaldet; disse to Rum ere adskilte ved Risten, der dannes af Riststænger. Den aabne Del af Risten er, naar der brændes Kul, mindst $\frac{1}{4}$ af Ristens Areal, og naar der brændes Brænde, mindst $\frac{1}{5}$. Luften kommer op igennem Risten fra Askefaldet, og den Hastighed, hvormed Risten passerer, varierer i Reglen imellem 1 og 2 Meter, saa at man kan beregne den Luftmængde, der i en vis Tid passerer Risten. Denne Luft bestaar jo væsentlig af Ilt og Kvælstof, og af dens Vægt udgør Ilten omtrent $\frac{2}{9}$. Kun Ilten anvendes til Forbrændingen, og 1 Kgm. Kulstof forener sig ved Forbrændingen med $2\frac{2}{3}$ Kgm. Ilt til Kulsyre; der skal altsaa tilføres ca. 12 Kgm. atm. Luft til Forbrænding af 1 Kgm. Kul. Røgen fra 1 Kgm. Kul vil derfor veje 13 Kgm., hvis kun den til Forbrændingen fornødne Luftmængde var tilført. Disse 13 Kgm. Røg indeholde, naar de forlade Ildstedet, den ved Forbrændingen udviklede Varme, som — naar det er det bedste Stenkul — udgjør ca. 7000 Varmeenheder; da nu Røgens Varmefylde er ca. $\frac{1}{4}$, saa finder man Temperaturen x , med hvilken Røgen forlader Ildstedet, af Ligningen

$$13 \cdot \frac{1}{4} \cdot x = 7000,$$

og man faar

$$x = \text{ca. } 2150^{\circ}.$$

Dersom Røgen træder ud i Skorstenen med 300° 's Temperatur, saa medtager den omtrentlig Varmemængden

$$13 \cdot \frac{1}{4} \cdot 300 = 975 \text{ Varneenheder.}$$

Men Varmetabet er dog i Virkeligheden betydelig større, thi der passerer mindst dobbelt saa meget Luft igennem Ildstedet, som der er nødvendig til Forbrændingen, og Forholdene stille sig derved anderledes. Gaar der saaledes 24 Kgm. Luft igennem Risten, medens 1 Kgm. Kul forbrænder, saa vejer Røgen 25 Kgm., og dens Temperatur, naar den forlader Ildstedet, er

$$\text{ca. } \frac{7000}{25 \cdot \frac{1}{4}} = \text{ca. } 1120^{\circ}.$$

Den tabte Varmemængde er, hvis Røgen gaar ud i Skorstenen med en Temperatur af 300° , omtrent lig

$$25 \cdot \frac{1}{4} \cdot 300 = 1875 \text{ Varneenheder,}$$

altsaa omtrent dobbelt saa stor som før. Man ser altsaa, at Forbrændingen bør ske med den mindst mulige Luftmængde.

Skorstenen tjener baade til at lede Røgen bort og til at tilvejebringe det fornødne Træk. Ildkanalerne have tilsammen et Tværsnit, der paa intet Sted er mindre end det aabne Ristareal, og dette gælder ogsaa Skorstenens Tværsnit; dette sidste er altid mindst foroven. Jo højere Skorstenen er, desto bedre virker den til at skaffe Lufttrækket tilveje; er Skorstenen lav, saaledes som den f. Eks. maa være paa Lokomotiver, saa hjælper man paa Sugningen enten ved at sende en Dampstraale fra Kedlen op igennem Skorstenen, eller ved at blæse Luft op igennem Ildstedet ved Hjælp af en Ventilator.

Vandet fylder omtrent $\frac{2}{3}$ af Kedlens Rum; det maa staa saa højt, at det fuldstændig dækker Ildkanalerne, thi ellers ville disse let komme i Glød, og der vil da komme en pludselig Dampudvikling med en saadan Voldsomhed, at Kedlen uundgaaelig vilde sprænges. Vandhøjden i Kedlen iagttages paa Vandstandsroret, et lille Glasrør, hvis øverste Ende gaar ind i Damprummet, og hvis nederste Ende gaar ind i Vandrummet; i dette Rør vil Vandet stille sig lige saa højt som i Kedlen. Til yderligere Sikring er der paa Kedlen nogle smaa Rør med Haner; naar en Hane aabnes, skal der enten

komme Vand eller Damp ud, alt efter den Plads, Røret har paa Kedlen.

Paa Kedlen findes endvidere en Sikkerhedsventil (60) og et Manometer; dernæst et Mandehul, et af en fastskruet Plade dækket Hul, der er saa stort, at en Mand derigennem kan komme ned i Kedlen og rense den for Kedelsten.

Den i Kedlen udviklede Damp føres igennem Damp-røret hen til den egentlige Maskine.

90. Maskinen. Dampen ledes fra Kedlen igennem Damprøret til Gliderkassen (*A*), en Jærnkasse, hvis ene Sidevæg er plan; fra denne Væg udgaar der tre Rør, nemlig eet i Midten (*BC*) og to, Dampgangene (*D* og *E*), lige langt derfra hver paa sin Side. Disse Dampgange føre hen til den øverste og den nederste Del af Dampcylinderen (*F*), som er en nøjagtig udboret Metalcylinder; i denne kan et Stempel (*S*) bevæge sig lufttæt op og ned, og Stempelstangen gaar lufttæt ud igennem en i Cylinderens Laag anbragt Stoppebøsse eller Pakdaase. I Gliderkassen kan en Skaal, Glideren (*G*), med en plansleben Rand glide op og ned ad den plane Flade i Gliderkassen; den har en saadan Størrelse og gives saadanne Stillinger, at den altid lukker for *BC*'s Munding og tillige for Mundingen af en af de to Dampgange.

Lad os antage, at Maskinen er i Gang, og at Glideren har den i Figuren angivne Stilling. Dampen, som strømmer ind i Gliderkassen, vil da gaa igennem *E* ind under Stemplet og drive dette tilvejs; den over Stemplet værende Damp gaar da ud af Cylinderen igennem Dampgangen *D* ind i Gli-

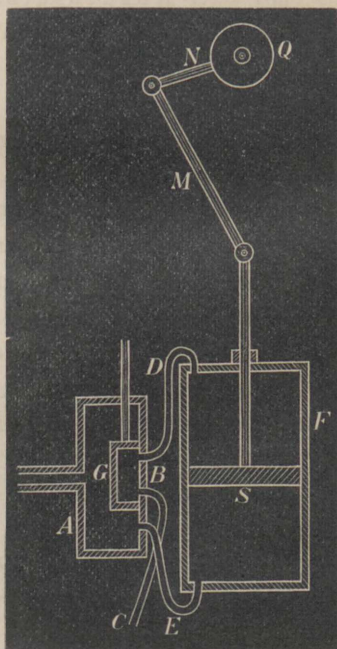


Fig. 58.

deren og derfra ud igennem Røret *BC*. Naar Stemplet er kommet helt op, trækkes Glideren ned (dette besørger Maskinen selv ved Hjælp af en excentrisk Skive), og Dampen i Gliderkassen vil da bane sig Vej igennem Dampgangen *D* ind over Stemplet og trykke dette ned, og den under Stemplet værende Damp søger saa ud igennem *E* og videre igennem Glideren og Røret *BC*. Flyttes altsaa blot Glideren i de rette Øjeblikke, vil Stemplet gaa taktfast op og ned.

Røret *BC*, igennem hvilket den brugte Damp strømmer ud, kan udmunde i Luften, og Maskinen kaldes da en Højtryksmaskine, fordi Dampen, som driver Stemplet afsted, da maa overvinde 1 Atmosfæres Tryk (foruden betydelige Gnidningsmodstande); men *BC* kan ogsaa gaa ned til en Fortætter eller Kondensator, som bestaar af en lukket Kasse, der er omgivet af koldt Vand; herved ville Dampene for Størstedelen fortættes, især da der ogsaa strømmer koldt Vand ind i Fortætteren, og det derved dannede Vand pumpes ud ved Hjælp af en Pumpe, der kaldes Luftpumpen, fordi den tillige udpumper den Luft, som kommer ind i Kassen. En saadan Maskine er en Lavtryksmaskine; Stemplet har her at overvinde Dampenes Modtryk, som dog kun er en forholdsvis lille Brøkdel af 1 Atmosfæres Tryk, fordi det afhænger af Temperaturen i Fortætteren (ca. 40°). Luftpumpen pumper Vandet over i Varmtvandskassen, og herfra pumper en Trykpumpe, Fødepumpen, det tilbage til Kedlen igen. Alle disse Pumper drives af Maskinen selv.

For at drage den fulde Nytte af Dampen kan man indrette Glideren saaledes, at den spærrer af for Damptilstrømningen til Cylinderen, naar Stemplet er kommet omtrent $\frac{1}{4}$ eller $\frac{1}{3}$ af sin Vej; Stemplet drives da videre ved Dampenes Udvidekraft. Ved denne Ordning sparer man Damp og altsaa Brændsel. Maskinen siges da at arbejde med Ekspansion.

Stemplets op- og nedadgaaende Bevægelse kan man faa omdannet til en roterende Bevægelse paa en Maade, der er skitseret i Fig. 58. Stempelstangens øverste Ende er ved Drivstangen *M* forbundet med Krumtappen *N*, der sidder paa Akslen *Q*, og denne vil da blive drejet rundt ved Stemplets Bevægelse. Paa Akslen sidder der, i Reglen naar

Maskinen staar paa Land, et Svinghjul, hvorved forstaas et stort Hjul med en svær Hjulkrans; dette Svinghjul drejes altsaa rundt med Akslen og hjælper paa Grund af Inertien Maskinen ud over de to døde Punkter, d. v. s. de Stillinger, hvor Drivstangen ligger i Forlængelsen af eller hen over Krumtappen. — Hvor der intet Svinghjul er, maa Akslen drejes rundt af to Krumtappe, af hvilke den ene er i sin gunstigste Stilling, naar den anden er i et af sine døde Punkter.

Undertiden bliver Stemplets op- og nedadgaaende Bevægelse overførte til Akslen ved Hjælp af Maskinbommen eller Balansen, en Jærnvægtstang, der kan vugge om en Akse i Midten. Denne Balanses ene Endepunkt er ved et Led forbundet med Stempelstangens Endepunkt, medens Balansens andet Endepunkt fører Drivstangen (*M*), som griber ind i den paa Akslen (*Q*) anbragte Krumtap (*N*). Denne Indretning findes paa Lavtryksmaskiner, og de forskellige Pumper, som saadanne Maskiner have at drive, have deres Stempelstænger befæstede til Maskinbommen.

Den excentriske Skive (Fig. 59), som skal sørge for Gliderens Bevægelse, har følgende Inddeling. Paa Akslen (*Q*), som drejes rundt af Maskinen, sidder en cirkelrund Jærnske (S), men med sit Centrum udenfor Akslens Midtlinie; omkring denne Jærnskeve er der lagt en Metalring (*R*) med

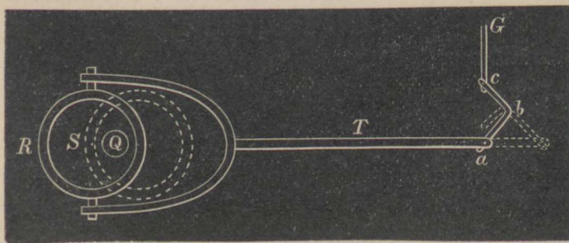


Fig. 59.

en Fals paa Indersiden, hvori Skivens Kant ligger, saa at Ringen ikke kan glide af Skiven, medens Skiven derimod kan glide rundt i Ringen. Til Ringen er Stangen *T* befæstet, og *T*'s Endepunkt griber ind i Vinkelvægtstangen *abc* ved Punktet *a*, medens Punktet *c* er i Forbindelse med Gliderstangen (*G*).

Det vil nu let indses, at Stangen T under Maskinens Omdrejning faar en Bevægelse, der væsentlig er frem- og tilbagegaaende i sin egen Længderetning, saa at abc kommer til at vugge omkring b , og medens Maskinen gaar een Gang rundt, føres Gliderstangen een Gang op og ned.

Til en Dampmaskine hører en Regulator, som skal regulere Dampstrømmen fra Kedlen til Gliderkassen. Watt's Centrifugalregulator (Fig. 60) har følgende Indretning.

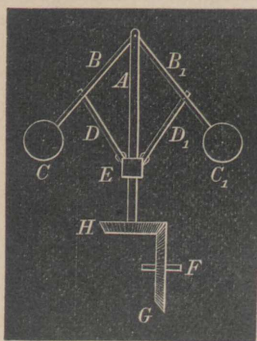


Fig. 60.

Ved Hjælp af en Remskive eller paa anden saadan Maade sørger man for, at Maskinens Aksel under sin Omdrejning drejer den vandrette Aksel F af det koniske Tandhjul G rundt; F griber ind i Tandhjulet H , hvis Akse er lodret, og hvortil den lodrette Stang A er befæstet. Til A er der foroven hængslet to Metalstænger, B og B_1 , som bære de svære Metalkugler C og C_1 ; E er en Ring, der kan glide op og ned ad A , og som ved de to Led D og D_1 er

hængslet til Stængerne B og B_1 . Er nu Maskinen i Gang, slaa Kuglerne ud paa Grund af Centrifugalkraften, og Ringen løftes; jo hurtigere Maskinen gaar, desto mere løftes Ringen. Denne Ring er ved Hjælp af Vægtstænger sat i Forbindelse med et Spjæld, der sidder inde i Dampprøret, og ved Hjælp af hvilket Damptilstrømningen kan varieres. Forbindelsen er nu ordnet saaledes, at jo højere paa Stangen A Ringen kommer, desto mere vil Spjældet lukke for Damptilstrømningen. Faar Maskinen altsaa en for hurtig Bevægelse, saa hæmmes Damptilstrømningen, og har Maskinen en for langsom Bevægelse, saa fremmes den. Apparatet søger saaledes at regulere Maskinens Gang.

Paa Lokomotivet ledes Forbrændingsprodukterne fra Ildstedet samtidig igennem en Mængde Ildkanaler ud i Skorstenen, saa at Ildpaavirkningsfladen er stor. Dampen samler sig i en paa Kedlen anbragt Kuppel og kan, naar en Ventil aabnes, fra denne Kuppel strømme ned i Gliderkassen og derfra til Dampcylindren. Paa Lokomotivet er der to Damp-

cylindre med tilhørende Gliderkasser, een paa hver Side af Lokomotivet, og i Reglen lige under Skorstenens Plads. Fra Stempelstængerne føre Drivstænger hen til Krumtapper, som sidde paa det midterste Par Hjul under Lokomotivet; Krumtappene sidde saaledes for hinanden, at den ene er i det døde Punkt, naar den anden er i sin gunstigste Stilling. Naar Dampen er bleven brugt i Cylinderen, strømmer den ud i Luften igennem Skorstenen og letter derved Trækket igennem denne.

Ved en Mekanisme kan man flytte Glideren fra een Stilling til en anden, hvorved man er istand til at lede Dampen ind i Cylinderen igennem den Dampgang, hvortil Adgangen fra Gliderkassen før var lukket, og som altsaa sidst tjente til at lede Dampen ud igennem Glideren og Udblæsningsrøret i Skorstenen. Foretages altsaa denne Flytning af Glideren, vil Lokomotivet gaa den modsatte Vej, naar der næste Gang slippes Damp fra Kuppelen ned til Maskinen.

91. Det Arbejde, Maskinen udfører under sin Gang, kan beregnes paa følgende Maade under den Forudsætning, at der ingen Ekspansion anvendes. Lad det være en Højtryksmaskine, hvor Dampen i Kedlen har et Tryk af 6 Atmosfærer; Modtrykket, som Stemplet har at overvinde for at drive Dampen ud i Luften, være $1\frac{1}{4}$ Atm., og der bliver da $4\frac{3}{4}$ Atm. Tryk tilbage. Dette giver, idet vi regne med danske Maal, for hver Kvadrattomme af Stemplets Areal et Tryk af $4\frac{3}{4} \cdot 14\frac{1}{2} \mathcal{A} = c. 67 \mathcal{A}$. Er Stemplets Areal 40 Kvadrattommer, saa bliver det samlede Tryk lig 2680 $\mathcal{A}$, og Arbejdet, som udføres under een Omdrejning af Maskinen, er altsaa $2 \times 2680 \times$ Cylinderens Længde; naar denne Længde f. Eks. er 1 Fod, saa bliver dette Arbejde lig 5360 $\mathcal{A}'$. Maskinens Arbejdsydelse i hvert Sekund faar man da ved at tælle Antallet n af Omdrejninger i 1 Minut og multiplicere de 5360 $\mathcal{A}'$ med $\frac{n}{60}$.

Dersom n er lig 60, bliver det i 1 Sekund udførte Arbejde lig 5360 $\mathcal{A}'$.

Maskinen siges at være paa 1 Hestekraft, naar der i hvert Sekund udføres et Arbejde af 480 $\mathcal{A}'$ (eller 75 Kilogrammeter, naar vi regne med de franske Maaleenheder); den ovennævnte Maskine er altsaa paa $\frac{5360}{480} = 11\frac{1}{3}$ Hestekraft.

Forsøg have vist, at der for hver Hestekraft maa være en Ildpaavirkningsflade af 6 à 12 Kvadratfod, og at der for hver Hestekraft bruges c. 40 $\mathcal{H}$ Vand i Timen. Kulforbruget varierer imellem 6 og 10 $\mathcal{H}$ Kul pr. Time for hver Hestekraft, alt efter Maskinens Art, Godhed og Størrelse.

92. Varmluftmaskiner eller kaloriske Maskiner. I disse Maskiner er det varm Luft, som er den bevægende Kraft, i Stedet for Damp; opvarmes en Luftmasse til c. 300°, faar den omtrent en dobbelt saa stor Spænding som ved almindelig Temperatur, og kan da drive et Stempel fremad i en aaben Cylinder; lader man saa den varme Luft strømme ud, naar Stemplet har naaet sin yderste Stilling, bliver Spændingen lig 1 Atmosfære, og Stemplet vil blive ført tilbage af Svinghjulet. Der slippes saa igen varm Luft ind, o. s. fr. Dette er Principet i Ericsons Maskine, som senere er bleven modificeret af Andre, bl. a. saaledes, at der stadig anvendes den samme Luftmasse, som skiftevis opvarmes og afkøles (lukkede Maskiner).

I den lille Industri ere disse saavel som de følgende Maskiner ganske praktiske.

Gaskraftmaskiner eller Gasmotorer. I disse Maskiner frembringes Stemplets Bevægelse ved Eksplosion af en Blanding af Gas og atmosfærisk Luft (1 Del Gas, 9 Dele atm. Luft). Eksplosionen kan enten frembringes ved Hjælp af en elektrisk Gnist fra et Ruhmkorffs Induktionsapparat (Lenoir's Maskine) eller — som nu altid — ved Hjælp af et stadig brændende Gasblus, som ved Maskinens Bevægelse antænder en Gasblanding i de rette Øjeblikke (»Ottos nye Gasmotor«, Langyes' og Bishop's Motorer).

I Petroleumsmotorer benyttes som Drivkraft den Varme, der udvikles ved Forbrænding af en Blanding af Luft og fint fordelt Petroleum (Brayton's Motor).

IX. Kilder til Varmen.

93. Kemiske Processer. Naar to eller flere Stoffer indgaa en kemisk Forbindelse med hinanden, sker der en Varmeudvikling; naar et Stof adskilles i sine Bestanddele, finder der et Varmetab eller Varmeforbrug Sted. Ofte er Forholdet saaledes, at et Stof, der indtræder i den kemiske Forbindelse, samtidig udskilles af en anden kemisk Forbindelse; der finder i saa Tilfælde baade en Varmeudvikling og et Varmeforbrug Sted; den samlede Varmeudvikling bliver da lig den algebraiske Sum af de enkelte Varmeudviklinger (o: Varmeforbrugene regnes med negativt Fortegn).

Varmeudviklingen ved to Stoffers Forening er altid den samme, hvorledes end Forbindelsen sker (Hess's Lov); der er altsaa samme Varmeudvikling ved Dannelsen af Kulsyre, enten man lader Kulstof forbrænde straks til Kulsyre, eller det først forbrænder til Kulilte, der kun indeholder den halve Mængde Ilt, og Kulilten derefter til Kulsyre.

Den her nævnte Varmeudvikling ved kemiske Processer kaldes en Forbrænding; ofte kaldes den først en Forbrænding, naar der kommer en Lysudvikling til. I det daglige Liv forstaar man ved en Forbrænding den Forening, der finder Sted af Kulstoffet og Brinten i vore Brændsels- og Belysningsmaterialier med Atmosfærens Ilt, naar en bestemt Antændelsestemperatur er tilvejebragt.

Den ved Forbrændingen udviklede Varmemængde kan man bestemme ved at lade Forbrændingen foregaa i et af Vand omgivet Rum; Vandet modtager da den udviklede Varme, og denne bestemmes som ved de almindelige kalorimetriske Maalinger. Idet man ved et Stofs Brændværdi forstaar den Varme, der udvikles ved Forbrænding (med Ilt) af 1 Kgm. af Stoffet, har man fundet følgende Brændværdier:

Brint	Trækul	Gaskul	Grafit	Diamant
34200	8080	8047	7797	7776.

Vore almindelige Brændselsmaterialier indeholde Aske, d. v. s. ubrændbare Stoffer; jo større Askemængden er, desto mindre bliver Brændværdien. Hvad Træ angaar, saa er dets

Brændværdi størst, naar Træet er tørt, thi dels hører Vandet til de ubrændbare Stoffer, dels vil det, naar Træet brænder, forbruge Varme til sin Fordampning, hvilken Varme altsaa gaar tabt. De forskellige Slags Træ have i tør Tilstand omtrent samme Brændværdi, nemlig cr. 2900 Varmeenheder; ligestore Rummaal af forskellige Træsarter udvikle altsaa Varmemængder, der staa i ligefremt Forhold til Vægtfylderne.

94. Dyrisk Varme. Denne er egentlig et Eksempel paa den foregaaende Maade at faa Varme paa. Menneskets Temperatur er c. 37° , Pattedyrenes imellem 37° og 40° , Fuglenes lidt højere. Aarsagen til denne indre Varme er Varmeudviklingen, som finder Sted ved den Forbrænding, hvorved Kulstoffet og Brinten i det fra Hjertet til Lungerne kommende, venøse Blod forener sig med den igennem Lungerne indaandede Ilt fra Atmosfæren, ved hvilken Proces Blodet omdannes til arterielt Blod. Blodets Kulstof og Brint kommer fra Næringsmidlerne. Den i Legemet udviklede Varme tabes ved Fordampning af Fugtighed igennem Huden, ved Udstraaling og Bortledning af Varme til Genstande udenfor og endelig ved Omsætning til det Arbejde, som Organismen udfører. Derfor trænger et Menneske, der arbejder, til mere Næring end et, der hviler, og Aandedrættet er livligere hos det første.

95. Mekanisk Arbejde. Varmeudviklingen ved dette er omtalt i det foregaaende og forbigaas derfor her.

Varmeudviklingen af den elektriske Strøm er en Varmeudvikling ved kemiske Processer, dersom Strømmen frembringes af galvaniske Apparater, og en Varmeudvikling ved mekanisk Arbejde, naar Strømmen frembringes af Dynamo-Maskiner.

96. Solvarmen. Den vigtigste Kilde til Varme paa Jorden er Solen. Denne udstraaler Varme til Himmelfrummet i alle Retninger, og en lille Del af denne Varme træffer Jorden.

Mængden af den Straalevarme, som Jorden modtager fra Solen har man bl. a. maalt ved Hjælp af Pouillet's Pyreheliometer (Fig. 61). Dette bestaar af en flad, cylindrisk Kasse af tyndt Metal, som er fyldt med Vand og anbragt paa den ene Ende af en lang Stang vinkelret paa denne; paa Stangens anden Ende er der en Skive, som er ligesaa stor som Kassen. Stangen er befæstet til et Stativ paa en saadan

Maade, at den kan drejes hen til hvilken Stilling, man vil; langs Stangen findes et Thermometerrør, hvis Beholder er anbragt i Metalkassens Vand. Metalkassen er oversmurt med Kørnøg paa den yderste Flade, den, som skal vendes imod Solen, men er blankt poleret paa de øvrige for at hæmme Varmestraalingen.



Fig. 61.

Naar Instrumentet skal bruges, stilles det i klart Solskin saaledes, at Solstraalerne falde vinkelret paa den svættede Flade; dette vil finde Sted, naar Slagskyggerne af Kassen og den nævnte Skive falde sammen. Man iagttager da, hvor stærk en Opvarmning Vandet faar i Løbet af 5 Minutter og beregner den i denne Tid modtagne Varmemængde; derpaa sætter man en Skærm for, saa at Bestraalingen hører op, og maalet den Afkøling, der finder Sted i de næste 5 Minutter paa Grund af Varmetab til Omgivelserne; et saadant Varmetab fandt jo ogsaa Sted, da Bestraalingen foregik, og maa altsaa

adderes til den maalte Varmeudvikling for at give den sande Varmeudvikling. — Nogen Straalevarme er imidlertid bleven indsuget i Atmosfæren; ved Forsøg over Bestraalingens Styrke ved forskellige Stillinger af Solen over Horisonten saavelsom ved Forsøg i forskellige Højder over Jordoverfladen har man beregnet Atmosfærens Indflydelse. Ialt indsuger Atmosfæren 25 à 30 pCt. af Straalevarmen, for et bestemt Sted mest ved Solens Op- og Nedgang, mindst ved Middagstid.

Ved saadanne Forsøg har man fundet, at den Varmemængde, som Jorden modtager fra Solen i Løbet af et Aar, er saa stor, at den kunde smelte en Isskorpe omkring Jorden paa 100 Fods Tykkelse, hvis Varmen var fordelt ligelig over det hele.

Midten af Solskiven udstraaler mere Varme end Steder, der ligger længere fra Midten; mindst Varme udstraale Steder ved Solranden. Dette maa hidrøre fra en Indsugning i Solens Atmosfære.

Ogsaa Maanen sender Straalevarme til Jorden, hvilket kan iagttages ved Hjælp af meget fintmærkende Thermo-Multiplikatorer; Fuldmaanens Varmeudstraaling er dog kun c. $\frac{1}{80000}$ af Solens.

Om Aarsagen til Solvarmen er der forskellige Hypoteser; Solvarmen er saa stor, som om der paa hver Kvadratmeter af Soloverfladen blev brændt c. 7000 Kgm. Kul i Timen, hvilket altsaa er en enorm Varmeudvikling. — Ifølge R. Mayer's Teori vedligeholdes Solvarmen af de Meteoritmasser, som i stort Antal falde ned paa Solen, og hvis Bevægelser omdannes til Varme; derved maatte dog Solens Masse vokse, og dens Rotationstid aftage kendelig i Tidernes Løb, men noget saadant har ikke fundet Sted. Langt sandsynligere er den af Helmholtz fremsatte Anskuelse, at Solvarmen vedligeholdes ved den stadige Fortætning af Solmassen. Ifølge Laplace's Teori ere jo Himmellegerne i vort Solsystem dannede ved Fortætning af en stor Taagemasse, og det rimelige er, at denne Fortætning endnu langt fra er tilendebragt; vi vide jo, at der i Solatmosfæren findes Metaldampe, saa at Temperaturen ved Soloverfladen maa være meget høj; Solens Tæthed er kun $\frac{1}{4}$ af Jordens, og rimeligvis fortsættes Fortætningen stadig væk,

hvorved uhyre Masser styrtede ind imod Solen og derved frembringe den store Varmendvikling.

Af Solvarmen afhænger alt Plante- og Dyreliv paa Jorden. Planterne bruge Solvarmen til deres Vækst, d. e. til Udskillelse af det i Atmosfærens Kulsyre værende Kulstof. Planterne afgive igen Næring for Mennesker og Dyr, og den Arbejdskraft, som disse yde, hidrører altsaa fra Solvarmen. — Naar vi brænde et Stykke Træ eller Kul, uddrage vi af Stoffet netop den Mængde Solvarme, som i sin Tid er forbrugt til Plantens Vækst og ved Forbrændingen udvikle vi den samme Mængde Kulsyre, som der i sin Tid blev unddraget Atmosfæren.

Vinden og det rindende Vands Bevægskraft har ogsaa sit Udspring fra Solvarmen.

